



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA

LETÍCIA DE FREITAS VIEIRA

**A MINERAÇÃO NO MUNICÍPIO DE CAUCAIA – CEARÁ: UMA PROPOSTA DE
ZONEAMENTO AMBIENTAL MINERÁRIO**

FORTALEZA
2019

LETÍCIA DE FREITAS VIEIRA

A MINERAÇÃO NO MUNICÍPIO DE CAUCAIA – CEARÁ: UMA PROPOSTA DE
ZONEAMENTO AMBIENTAL MINERÁRIO

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Geografia. Área de concentração: Dinâmica Territorial e Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Antônio Jeovah de Andrade Meireles.

FORTALEZA

2019

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Universitária

Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

- V716m Vieira, Leticia de Freitas.
A mineração no município de Caucaia – Ceará: uma proposta de Zoneamento Ambiental Minerário /
Leticia de Freitas Vieira. – 2020.
94 f. : il. color.
- Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências, Programa de Pós-Graduação
em Geografia, Fortaleza, 2020.
Orientação: Prof. Dr. Antônio Jeovah de Andrade Meireles.
1. Mineração. 2. Impacto ambiental. 3. Ordenamento territorial. I. Título.

CDD 910

LETÍCIA DE FREITAS VIEIRA

A MINERAÇÃO NO MUNICÍPIO DE CAUCAIA – CEARÁ: UMA PROPOSTA DE
ZONEAMENTO AMBIENTAL MINERÁRIO

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Geografia. Área de concentração: Dinâmica Territorial e Ambiental.

Aprovada em: ___/___/_____.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Antônio Jeovah de Andrade Meireles (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Frederico de Holanda Bastos
Universidade Estadual do Ceará (UECE)

Prof. Dr. Luis Ricardo Fernandes da Costa
Universidade Estadual de Montes Claros (UNIMONTES)

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer pela elaboração deste trabalho primeiramente a mim, que me auto desafiei com essa missão de realizar um trabalho onde eu pudesse contribuir para a sociedade e de alguma forma retribuir o investimento feito em mim.

Gostaria de agradecer a Deus e aos meus pais pela oportunidade da vida, em especial um agradecimento a minha mãe Jerlândia que mesmo sem entender direito o que eu fazia, me apoiou, me deu puxão de orelha quando foi necessário e sempre acreditou em mim.

Ao professor Jeovah Meireles que sempre foi tão gentil, que desde os trabalhos da iniciação científica na graduação até o trabalho de mestrado, sempre se mostrou ser além de orientador, foi amigo e incentivador da minha carreira acadêmica, profissional e aconselhador na vida pessoal.

Aos professores que aceitaram estar na banca de qualificação e defesa, Rubson Maia onde por mais que não tenha me orientado diretamente, sempre me acrescentou com excelentes contribuições durante a vivência do laboratório. Frederico de Holanda, que aceitou contribuir com o meu trabalho, e Luís Ricardo que é um ser humano onde eu me espelho como uma referência em um bom profissional e uma pessoa de um coração bondoso, obrigada!

Aos meus amigos que sempre estiveram ao meu lado Júnior, Samuel e Raina que estamos juntos nessa desde a graduação. Aos amigos que chegaram depois mas que tem um lugar especial guardado no coração, Caroline Lima (obrigada por tudo!), Osmar Neto e Joy (Jocélia).

As pessoas que consolidei amizade após ingressar no mestrado, Hudson, Lícia, Larissa Neris e Victor Hugo, foi muito bom vivenciar esses dois anos de mestrado juntos! Um agradecimento a todos os outros colegas da turma de Mestrado 2017.2.

Um agradecimento aos colegas do Laboratório de Geomorfologia da UFC, em especial ao Roberto Helber, Wesley Rodrigues, Pedro Edson, Raianny Ferreira, Mickaelly Braga, foram vivenciados bons tempos! Ao Henrique Sampaio por todo companheirismo, parceria, orientação durante todos esses anos, essa pesquisa também é sua! Obrigada!!!

Ao Luiz Eduardo que soube ser tão sensível e gentil em me aguentar nessa reta final da pesquisa, e sempre esteve me incentivando e não deixou o barco afundar, obrigada baby!

A FUNCAP pelo financiamento da pesquisa e ao Programa de Pós Graduação em Geografia da UFC, em especial ao Erandi, e professores Adryane e Christian.

RESUMO

Os impactos ambientais causados por mineração são cada vez mais recorrentes por conta da crescente demanda de bens minerais e a falta de planejamento nas áreas onde são escolhidas para minerar. A rigidez locacional apresenta-se como um problema, visto que os minerais são recursos de natureza local, sem a possibilidade de alternativa e muitas vezes únicos em uma só região. Nesse sentido, é fundamental a abordagem integrada, evidenciando os processos de licenciamento, da aplicação das condicionantes socioambientais, a operação da minerado e a fiscalização. A área de estudo é delimitada pelo município de Caucaia, que faz parte da Região Metropolitana de Fortaleza (RMF). O município é diversificado geologicamente o que favorece a extração mineral, já que os maiores consumidores encontram-se a poucos quilômetros, a capital Fortaleza e o Complexo Industrial e Portuário do Pecém (CIPP). A pesquisa tem como objetivo o diagnóstico ambiental do município, discutir os impactos ambientais causados pela extração mineral correlacionando os impactos com os conflitos do uso e ocupação do solo. Elaboração do Zoneamento Ambiental Minerário para delimitar áreas propícias ou não à mineração de acordo com a Vulnerabilidade natural da área. Os procedimentos metodológicos para alcançar os resultados foram as metodologias de Avaliação de Impactos Ambientais (AIA), Vulnerabilidade Natural de Crepani et al (1996) e Zoneamento Ambiental Minerário (TANNO & SINTONI 2003). Como resultado foram identificadas três zonas preferenciais ou não à mineração. As zonas preferências são correlatadas a ambientes mais estáveis onde o potencial mineral é alto e foram identificados poucos conflitos de uso e ocupação do solo. Zonas controladas são ambientes onde existem um ou outro conflito de ocupação do solo ou são ambientes onde o potencial mineral é baixo. Zonas bloqueadas são referentes a áreas onde há unidades de conservação, terras indígenas, quilombolas, assentamentos rurais, área urbana e ambientes vulneráveis, indicando áreas onde a atividade de mineração não deve acontecer. Considerando a metodologia proposta os resultados obtidos possibilitaram a análise dos impactos ambientais e a proposta de zonas para a mineração possibilitando um planejamento estratégico para uma melhor gestão do uso e ocupação do solo a fim de minimizar os impactos socioambientais.

Palavras-chave: Mineração. Impacto ambiental. Ordenamento territorial.

ABSTRACT

The environmental impacts caused by mining are increasingly recurring due to the growing demand for mineral resources and the lack of planning in the areas where they are chosen to mine. Locational rigidity is a problem, as minerals are resources of a local nature, with no possibility of alternative and often unique in a single region. Knowing this, the integrated approach is essential, highlighting the licensing processes, the application of social and environmental conditions, the operation of the mining and the inspection. The study area is delimited by the municipality of Caucaia, which is part of the Fortaleza Metropolitan Region (RMF). The city is geologically diverse, which favors mineral extraction, since the largest consumers are located a few kilometers away, the capital Fortaleza and the Pecém Industrial and Port Complex (CIPP). The research aims the environmental diagnosis of the municipality, discuss the environmental impacts caused by mineral extraction correlating the impacts with conflicts of land use and occupation. Elaboration of Environmental Mining Zoning to delimit areas favorable or not to mining according to the natural vulnerability of the area. The methodological procedures to achieve the results were the Environmental Impact Assessment (EIA), Crepani et al (1996) Natural Vulnerability and Mineral Environmental Zoning (TANNO & SINTONI 2003) methodologies. As a result, three mining or non-mining zones were identified. Preferred zones are correlated to more stable environments where mineral potential is high and few land use and land use conflicts have been identified. Controlled zones are environments where there is one or another land tenure conflict or environments where mineral potential is low. Blocked zones refer to areas where there are protected areas, indigenous lands, quilombolas, rural settlements, urban areas and vulnerable environments, indicating areas where mining activity should not take place. Considering the proposed methodology the obtained results allowed the analysis of the environmental impacts and the proposal of zones for the mining allowing a strategic planning for a better management of the use and occupation of the soil in order to minimize the social and environmental impacts.

Keywords: Mining. Environmental impact. Land use planning.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	– Mapa de localização da área de estudo	13
Figura 2	– Produção bruta dos principais minerais em 2017 no Ceará	16
Figura 3	– Principais impactos ambientais e suas consequências ao meio ambiente	26
Figura 4	– Localização dos pontos visitados em campo	32
Figura 5	– Mapa Geológico do município de Caucaia – CE	55
Figura 6	– Mapa Geomorfológico do município de Caucaia	56
Figura 7	– Mapa de Solos do município de Caucaia – CE	57
Figura 8	– Mapa de precipitação dos meses de janeiro a junho do município de Caucaia – CE	58
Figura 9	– Mapa de precipitação dos meses de julho a dezembro do município de Caucaia – CE	59
Figura 10	– Mapa de Vegetação e Uso do município de Caucaia – CE	60
Figura 11	– Mapa de declividade com as poligonais de áreas de fase de mineração do município de Caucaia – CE	61
Figura 12	– Área desmatada em extração de areia, ao fundo, presente da vegetação remanescente (2017)	63
Figura 13	– Camada de solo sendo retirada. Sendo possível verificar restos de arvores e raízes que foram suprimidos (2017)	64
Figura 14	– Afloramento do lençol freático por conta das escavações em extração de areia (2017)	65
Figura 15	– Imagem aérea de extração de areia (2017)	66
Figura 16	– Alteração morfológica causada pelas escavações (2017)	67
Figura 17	– Nova frente de lavra sendo preparada. Primeiro passo é fazer a supressão da vegetação para fazer planejamento das bancadas da extração (2018)	69

Figura 18 – Extração de brita em forma de bancadas com a presença de tratores e caminhões (2018)	70
Figura 19 – Matriz de interação entre os aspectos e os impactos da atividade de extração de brita	71
Figura 20 – Mapa de Vulnerabilidade Natural do município de Caucaia – CE	74
Figura 21 – Mapa de Uso e Ocupação do solo no município de Caucaia – CE	80
Figura 22 – Mapa de Zoneamento Ambiental Minerário do município de Caucaia – CE.....	82

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Índices do mapeamento geológico de acordo com Crepani (1996)	36
Tabela 2 – Índices de declividade do terreno	37
Tabela 3 – Índices de vulnerabilidade do relevo	38
Tabela 4 – Índice de intensidade pluviométrica	39
Tabela 5 – Índices de vulnerabilidade dos solos	40
Tabela 6 – Índices de vulnerabilidade da vegetação	41
Tabela 7 – Índices de vulnerabilidade da vegetação	42
Tabela 8 – Tabela de classificação do Zoneamento Ambiental Minerário	81
Tabela 9 – Tabela das áreas do zoneamento e suas descrições	83

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
2	OBJETIVOS	15
2.1	Objetivo Geral	15
2.2	Objetivos específicos	15
3	PRODUÇÃO MINERAL NO BRASIL	16
4	LICENCIAMENTO AMBIENTAL NA MINERAÇÃO	18
5	MINERAÇÃO EM REGIÕES METROPOLITANAS	20
5.1	Ordenamento territorial	21
6	MINERAÇÃO NA REGIÃO METROPOLITANA DE FORTALEZA	22
6.1	Localização das extrações minerais	23
7	MINERAÇÃO NO MUNICÍPIO DE CAUCAIA	24
7.1	Insumos minerais em Caucaia	25
8	IMPACTOS AMBIENTAIS NA MINERAÇÃO	26
9	DEGRADAÇÃO AMBIENTAL E MINERAÇÃO	29
10	METODOLOGIA	30
10.1	Procedimentos metodológicos	30
10.1.1	<i>Etapa de reconhecimento da área</i>	30
10.1.2	<i>Atividade de campo</i>	30
10.2	Etapa de Gabinete	33
10.2.1	<i>Geoprocessamento</i>	33
10.3	Avaliação dos Impactos Ambientais	34
10.3.1	<i>Metodologia de listagem (Check-list)</i>	35
10.3.2	<i>Matrizes de interações</i>	35
10.3.3	<i>Mapas de superposição (Overlays)</i>	36
10.4	Vulnerabilidade natural	35
10.5	Zoneamento Ambiental Minerário	42
11	CARACTERIZAÇÃO AMBIENTAL DA ÁREA DE ESTUDO	44
11.1	Complexo Ceará e Superfície de Aplainamento	44
11.2	Granitoides Diversos, Complexo Tamboril-Santa Quitéria – Maciços Estruturais até 500m e acima de 500m	46

11.3	Magmatismo Cenozoico – Cones vulcânicos	48
11.4	Depósitos Cenozoicos – Formas litorâneas	49
11.5	Coberturas Coluvio-Eluviais	51
11.6	Paleodunas e Dunas móveis, semifixas e fixas	51
11.7	Depósitos aluviais – Planície Fluvial	53
12	IMPACTOS AMBIENTAIS OCASIONADOS PELA MINERAÇÃO	62
12.1	Impactos ambientais decorrentes da extração de areia	62
12.2	Impactos ambientais decorrentes da extração de brita	68
13	VULNERABILIDADE NATURAL	72
13.1	Ambientes Modernamente Estáveis	75
13.3	Ambientes Moderadamente Estável/Vulnerável	75
13.3	Ambientes Moderadamente Vulneráveis	76
14	ZONEAMENTO AMBIENTAL MINERÁRIO	78
14.1	Uso e ocupação do solo em Caucaia	78
14.2	Proposta de Zoneamento Ambiental Minerário para Caucaia	81
14.3	Zonas Preferencias para Mineração	84
14.4	Zonas Controladas para Mineração	84
14.5	Zonas Bloqueadas para Mineração	85
15	CONSIDERAÇÕES FINAIS	86
	REFERÊNCIAS	88

1 INTRODUÇÃO

O conceito de impacto ambiental é definido por uma infinidade de autores que trabalham na temática ambiental. A princípio, trazemos a definição de impacto ambiental da Resolução do Conama art.1 de 23.01.1086 que diz:

Qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente, causada por qualquer forma de matéria ou energia resultante das atividades humanas que, direta ou indiretamente, afetam: I – a saúde, a segurança e o bem-estar da população; II – as atividades sociais e econômicas; III – a biota; IV – as condições estéticas e sanitárias do meio ambiente; V – a qualidade dos recursos ambientais (RESOLUÇÃO CONAMA Nº 001, de 23 de janeiro de 1986).

Para esta pesquisa, o conceito de Impacto ambiental é a alteração feita por ações antrópicas sobre o meio ambiente que geram impactos negativos ou positivos. Definido por (SÁNCHEZ, 2008, p. 32) “é o resultado de uma ação humana, que é a sua causa”.

Há uma estreita relação entre o tamanho da mina com o impacto no ambiente, quando analisada levando em conta o sistema de drenagem. Quanto mais intensivo¹ é o processo de exploração da mina, maior é a degradação do ambiente (BERNHARDT et al. 2012; MARET et al. 2002; PETTY et al. 2010). Outro tipo de relação é entre o método de lavra a céu aberto ou subterrâneo com o tipo de material que é explorado, influenciando na qualidade da água, elevando os índices de turbidez, que ocasionam na diminuição da luminosidade e alteração ecológica do conjunto de águas superficiais e subsuperficiais que ficam à jusante da lavra, como também pela contaminação causada por efluentes da mineração, tendo como exemplo óleos, graxas, sedimentos diversos (ALMEIDA 2002; MECI & SANCHES 2010; CAVANAGH et al. 2015).

Além dos impactos ambientais, a mineração acarreta também em problemas sociais, muitas vezes por conta do crescimento desordenado das populações e por falta de planejamento do poder público. A proximidade de minas com áreas urbanas torna-se cada vez mais habitual, muitas vezes essas moradias são dos próprios funcionários da mina, que procuram um local para morar próximo ao trabalho (PONTES et al 2013). A localização de pedreiras para a construção civil, também se dá em locais próximos aos centros urbanos, onde estão os maiores consumidores, assim, barateando os custos de transporte Bacci et al (2013). Essa proximidade de moradores em local de mineração, causam conflitos, pois a extração de minério gera impactos a saúde e ao bem-estar dessas comunidades.

A mineração no Brasil é uma atividade importante para a economia nacional e

¹ A intensa atividade minerária em um local, gerando inúmeros tipos de impactos ambientais e de diversas intensidades, maior será a chance de degradação ambiental.

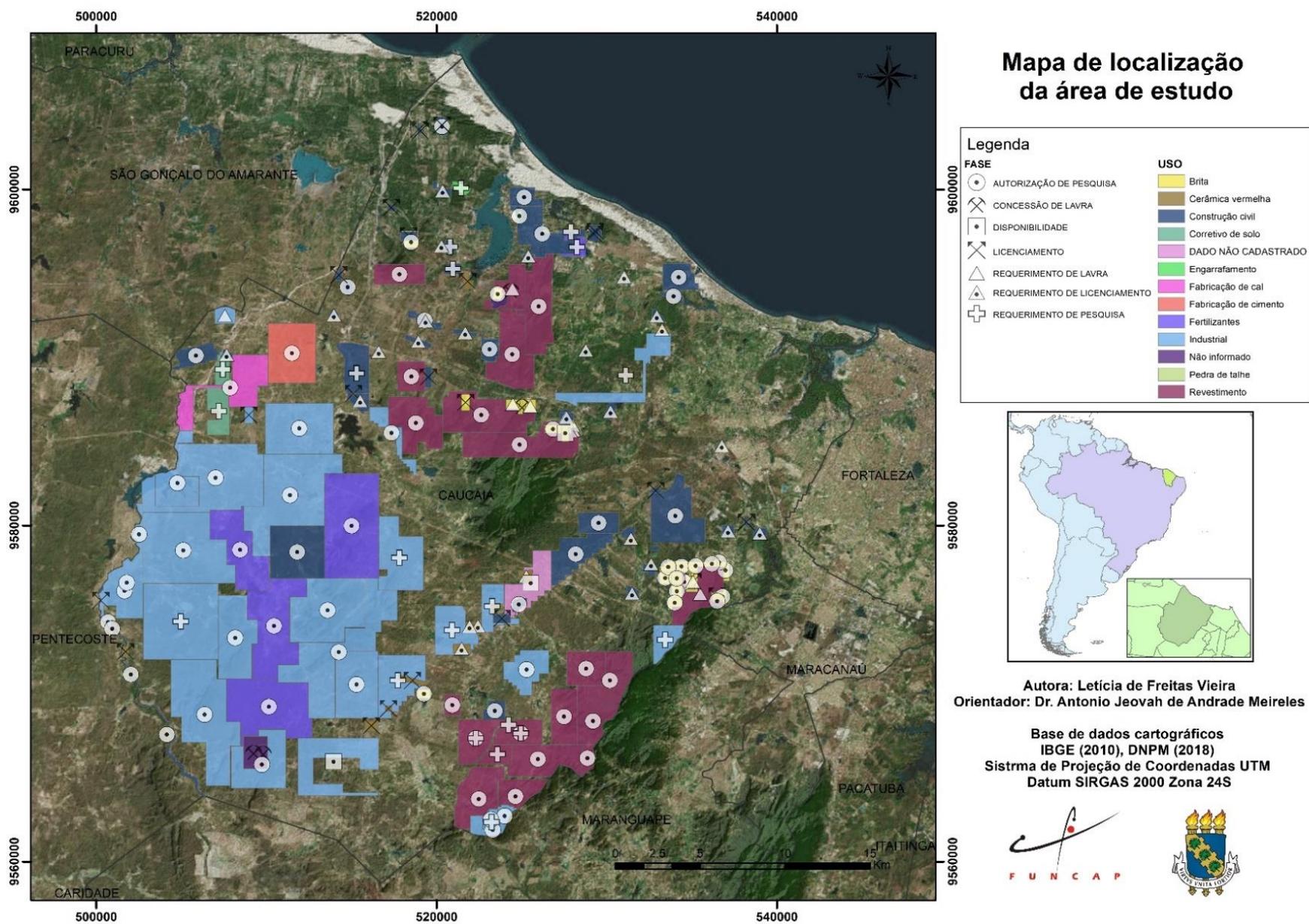
internacional, em razão das exportações terem peso significativo na economia (LOPES,2013). De acordo com o Plano Nacional de Mineração 2030 as exportações de produtos minerais do Brasil, excluindo petróleo e gás mineral, teve um crescimento em média de 20% no intervalo entre 1994 – 2008 no qual o saldo da balança comercial foi de US\$ 17 bilhões. O Brasil já começa a aparecer com destaque internacional na produção mineral, principalmente na produção de minério de ferro. Conforme o Valor de Produção Mineral (VPM) a produção mineral do Brasil em 2017 foi estimada em R\$ 100 bilhões (DNPM 2017).

No Ceará, entre os anos de 2012 a 2016 houve um crescimento significativo na produção mineral, que foi de R\$ 393.730.443 à R\$ 672.742.841 respectivamente (DNPM, 2016). Quantia baixa visto o valor total da produção nacional e que poderia ser maior em razão da grande reserva potencial no Estado. O Ceará, um Estado diversificado geologicamente tem como reserva de mineral lavrável, cobre, ferro, manganês, areias, argilas, calcário, magnesita, fosfato, gipsita, grafita, mica, arenito, granito, gnaiss, quartzito, basalto, urânio e entre outros minérios (DNPM, 2016).

A área de estudo é o município de Caucaia que faz parte da Região Metropolitana de Fortaleza (Figura 1), e vem evidenciando nos últimos anos um crescimento populacional que causou problemas de expansão urbana e uso e ocupação do solo. Caucaia é um município diversificado geologicamente, o que propicia a extração mineral. Os tipos de minérios que podem ser extraídos de Caucaia foram descritos por Brandão (1995) onde foram encontrados água mineral, amianto, argila, areia, calcário, cobre, manganês, diatomito, fonólito, granito, titânio, níquel e vanádio.

A proximidade com a capital do Estado do Ceará Fortaleza, a especulação urbana no litoral caucaiense e o Complexo Industrial e Portuário do Pecém (CIPP) aumentam a demanda por bens minerais como, agregados da construção civil, rochas ornamentais, industrial, fertilizantes agrícolas, corretivos de solo e engarrafamento de água mineral (Figura 1) e por conta disso surge a necessidade de um melhor planejamento dessas áreas que são mineradas e áreas iminentes a atividade minerária.

Figura 1 – Mapa de localização da área de estudo



Fonte: Elaborado pela autora.

A proposta do Zoneamento Ambiental Minerário (ZAM) é basicamente um planejamento do ordenamento territorial no que concerne a mineração. O ZAM foi elaborado através de um conjunto de diretrizes, a caracterização do meio físico, e critérios relacionados com o potencial geológico para mineração, parcelas do território em estudo oneradas na forma de leis (APP e Unidades de Conservação), áreas especialmente reservadas (terras indígenas, quilombolas, área de marinha e outras), zoneamento do uso e ocupação do solo, perímetros urbanos e leis do parcelamento do solo, perfil socioeconômico da região e caracterização do setor produtivo mineral. O ZAM ofereceu o subsídio base para a elaboração de um Plano Diretor Minerário. O ideal seria se o poder público incluísse a mineração no planejamento municipal, como forma do uso e ocupação do solo, assim, definir políticas públicas integradas com os demais tipos de usos do solo e, dessa forma, associar programas e ações socioeconômicas e ambientais no planejamento territorial em todas as etapas do processo de mineração. Trata-se de um território em processo diverso de mineração e com elevado potencial mineral, o que já torna urgente territorializar ações e medidas para enfrentar os impactos socioambientais causados pela mineração (TANNO & SINTONI 2003).

Chiodi et al (1982) já indicavam a importância do planejamento ambiental voltado para a mineração: identificar a capacidade do solo e constatar quais as metas que o poder público definiu; levando em consideração o uso do solo, expansão urbana e as necessidades básicas da comunidade em relação aos recursos naturais. O planejamento é importante para que o mal uso dos recursos não inviabilize o uso dos demais sistemas socioambientais. Nesse sentido, como objetivo desse estudo, foi fundamental a definição dos parâmetros básicos geoambientais para a elaboração do Zoneamento Ambiental Minerário, e, dessa forma, auxiliar nos planejamentos estratégicos e em futuros planos diretores.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Elaboração de uma proposta de Zoneamento Ambiental Minerário através da correlação do potencial minerário, potencial/vulnerabilidade ambiental e o uso e ocupação do solo. Com a finalidade de subsidiar futuros trabalhos de planejamentos estratégicos do território e o Plano Diretor Minerário municipal.

2.2 Objetivos específicos

Diagnosticar os aspectos físicos de Caucaia e constatar quais área com os melhores potenciais minerais e ambientais e quais as áreas com maior instabilidade ambiental;

Identificar os impactos ambientais originados durante as minerações em funcionamento e em lavras desativadas;

Realizar um Zoneamento Minerário do município de Caucaia em: Zonas Preferenciais para Mineração, Zonas Controladas para Mineração e Zonas Bloqueadas para Mineração, instituindo assim, cenários para o planejamento futuro.

3 PRODUÇÃO MINERAL NO BRASIL

De acordo com Farias (2002), o setor mineral do Brasil é composto por 95% de pequenas e médias mineradoras, isso implica em atividades informais, muitas vezes não legalizadas o que pode acarretar em danos ao meio ambiente. Essas áreas foram classificadas como “áreas de mineração clandestinas”.

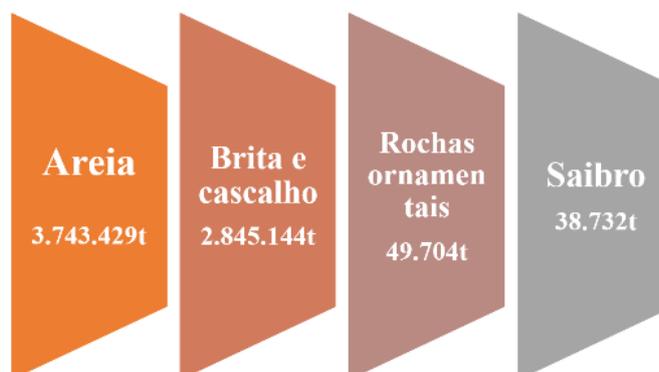
Segundo Ferreira e Oliveira (2009), o setor de agregados da construção civil, areia e brita, em 2008 chegou a uma produção de 300 a 234 milhões de toneladas respectivamente. E de acordo com o IBRAM (2011), em 2022 poderá alcançar 807 milhões de toneladas no Brasil.

O setor mineral no Brasil representa 20% das exportações sendo assim, destacando-se internacionalmente na economia mineral. Internamente, contribui com 4,2% no PIB nacional, gerando um milhão de empregos diretos. Os minerais mais exportados são: nióbio, minério de ferro, bauxita, manganês entre outros (BRASIL, 2010).

De acordo com o relatório Plano Nacional de Mineração 2030 (BRASIL, 2011) os cenários idealizados foram de que a produção de bens minerais básicos baseados nos valores de produção em 2008 cresça entre três a cinco vezes. Agregados e rochas ornamentais cresceriam de 496 mt e 7,80 mt à 1524 mt e 22,4 mt respectivamente.

Conforme o Anuário de Mineral Estadual Ceará de 2018 utilizando o ano base de 2017 a produção bruta de areia foi na ordem de 3.743.429t, saibro 38.732t. brita e cascalho 2.845.144t e rochas ornamentais (granito e gnaisses) 49.704t (Figura 2).

Figura 2 – Produção bruta dos principais minerais em 2017 no Ceará



Fonte: Anuário Mineral Estadual do Ceará (ANM, 2019) (adaptado pela autora).

Os valores em reais da produção bruta e beneficiada dos principais minerais foram de: areia 44.921.153R\$, calcário 98.817.812R\$, ferro 742.771R\$ rochas britadas e cascalho

81.816.307R\$, rochas ornamentais 63.105.063R\$ e saibro 107.270R\$. Por um outro lado no Estado do Ceará o porte das minas, em sua grande maioria continuam sendo de micro e pequeno porte (BRASIL, 2018).

O município de Caucaia ficou entre as cidades com alta produção mineral em 2017, os valores alcançaram patamares entre de 10 a 100 milhões de reais. A quantidade de minas regularizadas ficou entre 6 a 10 minas e é o município com a maior quantidade de empreendimentos minerários com um total de cinco usinas (BRASIL, 2018)

Todas essas informações sobre produção mineral atestam a importância da atividade para o país, e mostraram que, por parte do Estado, incentivos para que a atividade cresça cada vez mais. Portanto o planejamento ambiental e territorial dessas áreas, juntamente com o licenciamento ambiental bem aplicado, as condicionantes das licenças implantadas e monitoradas e fiscalização, são procedimentos importantes para que os impactos negativos da atividade sejam mitigados e que haja, mesmo que de forma utópica, uma boa relação mineração-meio ambiente-sociedade. É evidente que para esse processo amplo de territorialização mineral em Caucaia, parâmetros como justiça ambiental e respeito às populações étnicas e tradicionais, sejam prioritários na proposição de políticas públicas e no licenciamento mineral.

4 LICENCIAMENTO AMBIENTAL NA MINERAÇÃO

O licenciamento ambiental é um instrumento importante na política ambiental, tem o caráter preventivo pois visa impedir que o empreendimento cause impactos ambientais negativos. A licença ambiental é exigida por parte do governo para qualquer atividade que utilize dos recursos naturais e que de alguma forma possa oferecer riscos ao meio ambiente e a sociedade (SÂNCHEZ, 2008).

Nas atividades de mineração a concessão das outorgas de pesquisa, lavra e licenciamento são regidas pelas resoluções CONAMA nº 09 de 06 de dezembro de 1990 para o licenciamento ambiental de extração mineral das classes I, III a IX e para o licenciamento ambiental de extração mineral da classe II, CONAMA nº 10 de 1990, de 06 de dezembro de 1990 (BRASIL, 1990).

O licenciamento é dividido em dois tipos de classes de jazidas, as classes I, III a IX: minerais metalíferos, jazidas de fertilizantes, combustíveis fósseis sólidos, rochas betuminosas e pirobetuminosas, gemas e pedras ornamentais, minerais industriais e jazidas de água mineral. E jazidas de classe II são: substâncias minerais de emprego imediato na construção civil (BRASIL, 1968).

O licenciamento para a mineração se dá de forma diferente entre os dois tipos de classes de jazidas. As classes I, III, a IX passam pelos seguintes passos: requerimento de pesquisa; autorização de pesquisa (a autorização da pesquisa é dada pelo DNPM e tem validade de 2 e 3 anos); requerimento de lavra e concessão de lavra. As jazidas da classe II passam pelo processo de licenciamento ambiental básico com apresentação de documentos solicitados, podendo ou não ser obrigada a fazer um EIA/RIMA (Estudo de Impacto Ambiental / Relatório de Impacto Ambiental), o processo é realizado juntamente com o órgão ambiental competente. No caso de dispensa, deverá ser apresentado o Relatório de Controle Ambiental – RCA, elaborado de acordo com as diretrizes do órgão competente (NUNES, 2011)

São exigidos as três modalidades de licenças: LP (Licença Prévia), LI (Licença de Instalação) e LO (Licença de Operação) de acordo com a resolução do CONAMA 237/97. No requerimento da LI deve ser apresentado o Plano de Controle Ambiental – PCA, contando os projetos que minimizarão os impactos ambientais avaliados na fase da LP. Se for necessário desmatamento, deverá também ser apresentado a autorização de desmatamento do IBAMA e do órgão ambiental responsável no Estado.

Com a concessão da LI o empreendedor deverá fazer o pedido de portaria de lavra

na fase de pesquisa. A LO será concedida após o período de pesquisa de lavra e o envio dos relatórios para a Agencia Nacional de Mineração – ANM (NUNES, 2011)

5 MINERAÇÃO EM REGIÕES METROPOLITANAS

A mineração em regiões metropolitanas é uma atividade bastante encontrada na maioria das RM's do Brasil. Existem vários fatores que trazem essa condição. Em sua maioria das vezes por conta da alta demanda pelos bens minerais na capital e nas grandes cidades, materiais para a construção civil como brita, areia, cal e rochas ornamentais. Outro fator que condiciona a essa atividade é a necessidade das áreas fonte desses materiais estarem próximos aos consumidores. Por se tratar de um minério de baixo valor comercial, faz-se necessário que a extração esteja próxima do consumidor final para baratear os custos.

Além do mais, todo empreendimento minerário revela diretrizes e restrições, diretrizes podem ser o aproveitamento do depósito mineral, oferta de produtos compatíveis com o mercado, valorização do material útil contido no depósito mineral, assimilação do empreendimento com a economia da região, rentabilidade adequada à atração de capital e harmonização da extração mineral com o uso e ocupação do solo e o meio ambiente. As restrições podem ser voltadas para a dimensão do mercado, quantidade e qualidade das reservas/vida útil do depósito mineral, fatores tecnológicos, locacionais e ambientais (BATISTA, 2010)

Essas diretrizes e restrições estão associadas diretamente ao planejamento dessas extrações, leis ambientais e planejamentos urbanos que não incluem a atividade minerária fazem com que esses empreendimentos não sejam alocados ou sejam feitos de forma desordenada causando problemas ambientais, sociais e econômicos.

A extração de agregados da construção civil tem uma importância relevante para a economia, crescimento e desenvolvimento das cidades, os produtos gerados a partir dos agregados são responsáveis por construir habitações, escolas, estradas, hospitais e infraestruturas em geral (RUIZ, 1989; SILVA, 1995)

A expansão urbana também está associada à proximidade das extrações com centros urbanos, tanto pelo fato da ocupação desordenada causada pela falta de planejamento do poder público, como também pela atividade de mineração atrair muitos trabalhadores em busca de emprego, e com isso vai se criando a necessidade de instalar vilas próximas as minerações.

É entendido que a questão dos conflitos no uso e ocupação do solo da mineração com os centros urbanos são resultados da falta de interesse do poder público em aceitar que a mineração é uma atividade importante, e que anda de mão dadas com a degradação ambiental, e por conta disso, a falta da inclusão da atividade nos planejamentos da cidade faz com que

acarrete em diversos conflitos.

5.1 Ordenamento Territorial

Para isso o Ordenamento Territorial (OT) visa sanar problemas de ordem social, urbana e ambiental, gerando assim, um planejamento estratégico empenhado na sustentabilidade ambiental, uso e ocupação do solo de forma racional, e aprimoramento da exploração dos recursos minerais. Calases, *et al* (2008) enfatiza a importância de políticas públicas em conjunto com a produção de agregados em RM's, meio ambiente e o uso do solo, para a obtenção de mudanças efetivas e benéficas para todos os setores.

Buscando o equilíbrio e o disciplinamento entre o uso racional dos recursos naturais, possibilitando o melhor uso do espaço geográfico sob o ponto de vista ambiental, econômico e social, valorizando as potencialidades e respeitando as limitações, o Ordenamento Territorial traz consigo esses fundamentos (OGATA, 2005). Becker (1991) complementa que o OT tem uma visão metodológica macro espacial, tratando o território de forma integral, e que o OT é um tipo de ordenamento mais aplicável a grandes áreas como as regiões Amazônica e Nordeste.

O Ordenamento Territorial voltado para mineração tem função importante de subsidiar os conflitos causados pelas atividades com outros tipos de uso e ocupação do solo, de forma equilibrada, o OT busca compreender de forma orgânica e disciplinada o histórico das ocupações e das atividades naquele local, para trazer soluções de forma que não prejudique áreas especiais como Unidades de conservação, Terras Indígenas, Quilombolas entre outros e que a atividade de mineração aconteça de forma economicamente sustentável (CALAES et al 2003).

6 MINERAÇÃO NA REGIÃO METROPOLITANA DE FORTALEZA

A região Metropolitana de Fortaleza é composta por dezenove municípios, correspondendo a uma área total de 7.440,087 km². População estimada para a RMF é de 4.061.744 habitantes (IBGE, 2017).

A RMF encontra-se com uma realidade parecida com as demais RM's do Brasil, alta demanda por produtos minerários, principalmente os agregados para construção civil, por conta da alta demanda desses insumos. A expansão do mercado mobiliário, reforma em aeroporto, rodovias e portos além da criação constante de novos empreendimentos turísticos, movem a RMF a consumir de forma vastas esses insumos.

Batista (2010) elencou quais são as oportunidades, fraquezas ou ameaças na produção de agregados na Região Metropolitana de Fortaleza, são elas, oportunidades: a produção dos agregados estão a um intervalo curso das extrações em relação aos centros consumidores, em uma raio de distância máxima de 30km dentro da RMF, sendo assim, os custos com transportes são poucos, promovendo um valor baixo aos minerais. Condições litológicas favoráveis a extração desses minerais, o complexo de maciços costeiros ofertando rocha para britagem, os depósitos de areias e as planícies fluviais fornecendo areia e argila. Condições favoráveis em infraestrutura de energia e malha viária, além da Zona de Processamento e Exportações (ZPE) juntamente com o Completo Industrial e Portuário do Pecém (CIPP) beneficiando a atividade através do consumo dos insumos.

As fraquezas e ameaças encontradas por Batista (2010) foram: ausência de incentivos por parte do poder público em incluir a atividade de mineração nos seus planejamentos, principalmente nos Planos Diretores Municipais, condições regulatórias onde as leis ambientais são bastante restritivas para as atividades minerárias, instabilidade econômica em investimentos no setor e expansão desordenada que causa problemas sociais que chegam a prejudicar de forma operacional e custos no arrendamento do solo.

Em relação ao planejamento estratégico para a mineração relacionando com o uso e ocupação do solo, a Agencia Nacional de Mineração fez a atualização em 2019 do Plano Diretor de Mineração da Região Metropolitana de Fortaleza. O Plano está em conformidade com as questões ambientais, sociais e econômicas da RMF. O último plano tinha sido feito em 1998 e uma atualização dele era exigida pelo fato do crescimento da região fazendo com que a demanda por recursos naturais fosse ampliada.

Os títulos minerários da RMF cresceram por conta da demanda por mais insumos como pelo fato de terem entrado mais municípios na RMF. O maior número de títulos

minerários é de agregados da construção civil, mais de 80% de licenciamentos para esse fim. Caucaia é o município com maior número de alvarás de pesquisa e Aquiraz contém o maior número de licenciamentos. As concessões de lavra não são concentradas em um único município, mas a maior quantidade de áreas requeridas está em Chorozinho e Maracanaú com produção de areia e granito respectivamente (ANM, 2019).

6.1 Localização das extrações minerais

Extração de areia é responsável por 56% das extrações na RMF, argila 20% e saibro 12%. Essas atividades acontecem ao longo das planícies de inundação dos principais rios da RMF, que são depósitos formados em geral de areias médias e grossas de coloração clara. As areias vermelhas são encontradas nos depósitos da Formação Barreiras. A produção de areia fina é localizada nas paleodunas e dunas, só que por conta da especulação imobiliária voltada para o turismo fez com que essas extrações caminhassem para dentro do território.

Exploração de argila para indústria da cerâmica vermelha ocorre nos leitos dos rios, as cavas apresentam em média de 1,5m de profundidade. As indústrias de cerâmicas estão concentradas nos municípios de Aquiraz, Cascavel, Chorozinho, Guaiuba, Itaitinga Maracanaú e São Gonçalo do Amarante.

O beneficiamento é uma atividade mais voltada para os materiais britados. Caucaia e Itaitinga são os municípios com maior presença de extração de brita e beneficiamento.

A produção de água mineral corresponde a 54,67% da produção mineral da RMF. A captação e envasamento da água mineral é realizada nos municípios de Horizonte, Fortaleza, Aquiraz e São Gonçalo do Amarante, sendo Horizonte com a maior produção (57%).

7 MINERAÇÃO NO MUNICÍPIO DE CAUCAIA

Caucaia é um dos municípios que integram a Região Metropolitana de Fortaleza, e a mineração neste município é caracterizada em sua maioria por extração de agregados da construção civil. Pela sua localização privilegiada sendo vizinha a capital Fortaleza, e fazendo parte do Complexo Industrial e Portuário do Pecém, Caucaia se torna peça chave no fornecimento de minerais para a construção civil.

Caucaia detêm do maior número de alvarás de pesquisa mineral na RMF (30%) onde maior parte dos pedidos de pesquisas são voltados para extração de areia (ANM, 2019).

Esse dado deve ser levado em consideração quando se é mostrado um interesse de investimento por parte dos empreendedores do setor mineral em Caucaia por meio da pesquisa. Na ordem, após a pesquisa deve ser feito o pedido de lavra ou licenciamento para a extração. Se existem muitas pesquisas, existirão mais extrações e o Estado deve estar preparado de forma a planejar o território para receber esses empreendimentos.

No Plano Diretor de Caucaia não foi observado direcionamentos sobre a atividade, apenas breves observações quanto a legislação ambiental e licenciamento do empreendimento, isso indica que não há planejamento de Ordenamento Territorial para o município envolvendo a atividade de mineração que é bastante presente. Atualmente, já são evidenciados problemas de conflitos sociais e ambientais com a atividade, e se não houver um planejamento para essas áreas que estão sendo pesquisadas e futuramente lavradas os conflitos propenderão a continuar e aumentar conseqüentemente.

Hoje em dia Caucaia é responsável pela maior produção de rocha britada na RMF (56,61%) e está entre um dos maiores produtores de bens minerais da RMF, pois junto com Horizonte, são responsáveis por 65% da produção. A arrecadação do CFEM² de Caucaia em 2016 foi de 640.129,04 reais (seiscentos e quarenta mil cento e vinte e nove reais e quatro centavos) ficando entre um dos maiores arrecadadores de CFEM da RMF (ANM, 2019). A divisão do CFEM é para os Estados e Municípios relacionados ao local de exploração do minério. Esse recurso pode ser direcionado em projetos que beneficiem a comunidade local, melhoria de infraestrutura, saúde, educação e ações para qualidade ambiental.

Esse repasse do CFEM aos estados e municípios não deve ser apenas como forma de arrecadação de imposto, mas o Estado deve compensar os impactos ambientais e sociais ocasionados da exploração mineral no território (THOMÉ, 2010)

² CFEM – Compensação Financeira Pela Exploração de Recursos Minerais. Toda e qualquer pessoa física ou jurídica habilitada a extrair substâncias minerais, para fins de aproveitamento econômico.

Em relação à geração de empregos diretos, Caucaia tem o maior número de empregos no setor de pedra britada e cerâmica vermelha entre os municípios da RMF, mas existe uma tendência à diminuição desses empregos por conta do aumento em deixar as extrações automatizadas. Quando esses empregos acontecem em lavras que não são licenciadas, a qualidade do trabalho diminui, tornando em subemprego. Além da periculosidade que o setor possui.

7.1 Insumos minerais em Caucaia

As principais áreas encontradas para a extração de pedra britada estão nos maciços de Juá, Conceição, Camara e Cajazeiras. Foram definidas nove áreas propícias para a extração em um total de reserva de 359.637.829,50 toneladas. Nessas áreas são extraídos os blocos de rochas, onde em alguns casos a indústria transforma em vários tamanhos de brita, até o pó de brita que podem ser utilizados para obras no Porto do Pecém e Mucuripe, espigões ao longo do litoral de Fortaleza e Caucaia, fundições, pavimentação, peças de concreto, pisos, pilares, pré-moldados entre outras utilidades para a construção civil.

As extrações de areia fina localizam-se nos depósitos de dunas fixas e paleodunas que estão sobpostos a Formação Barreiras. Algumas extrações também fazem o processo de lavra na Formação Barreiras para extrair a “areia vermelha” e “arisco”. Com especificações variadas os usos são em sua maioria na indústria da construção civil para agregado miúdo, matéria prima para indústria de vidro, siderúrgica, abrasivo, cerâmica, cimento e outros e também é usada no tratamento de águas de esgotos.

A produção de argila é naturalmente encontrada nos leitos dos rios, em Caucaia, encontra-se produção de argila próximo ao rio Ceará e rio Cauípe.

Saibro é o produto da alteração da rocha por conta da decomposição química e física da rocha. As extrações de saibro no município são encontradas principalmente entre os rios Cauípe e Juá.

Ocorrências de calcários são encontradas em lentes encaixadas de biotita-gnaisses, anfibólio-gnaisses e migmatitos do Complexo Ceará. Estão predominantemente na localidade de Sítios Novos. Existem concessões de lavra para extrair o calcário, mas o empreendimento está paralisado.

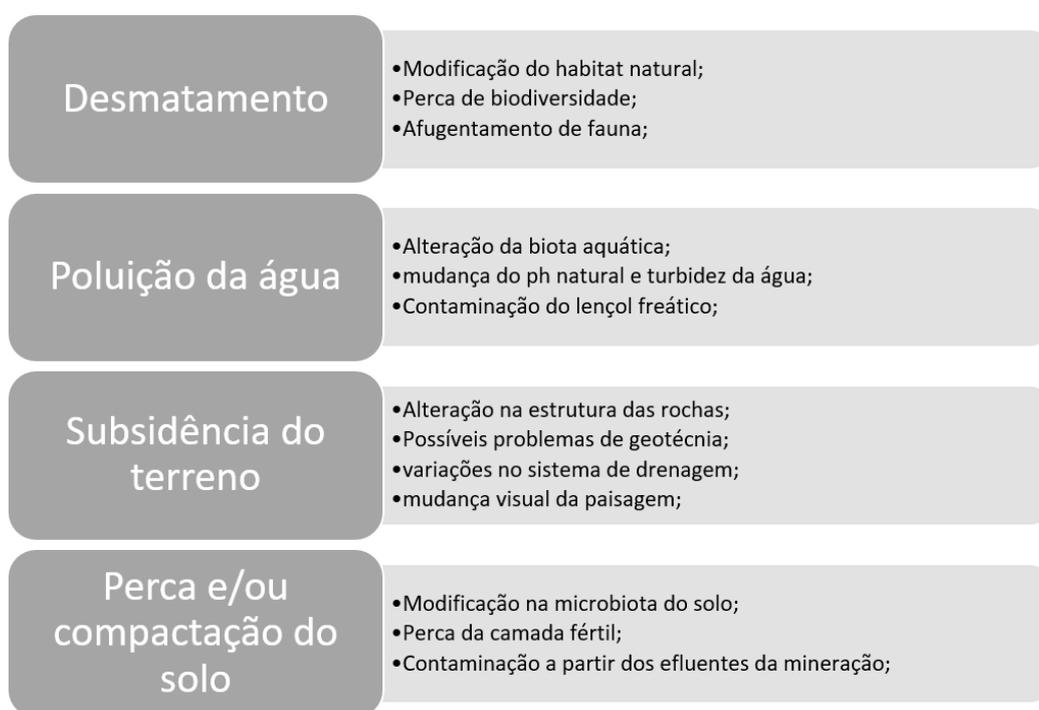
Até então em Caucaia, não existem pedidos legais de extração de rochas ornamentais e extração e envasamento de água mineral.

8 IMPACTOS AMBIENTAIS NA MINERAÇÃO

A mineração é uma atividade básica para a humanidade, além de ser uma das mais importantes para a economia é também uma das mais impactantes, alterando o meio ambiente de forma irreversível, além de ser uma atividade com recursos não renováveis (SILVA, 2007).

Os principais impactos ambientais causados por conta da mineração são: retirada da vegetação, poluição da água, do ar e sonora; subsidência do terreno; vibrações do terreno, incêndios e rejeitos de material radioativo (CPRM, 2002; BACCI, LAMDIM e ESTON, 2006) (Figura 3).

Figura 3 – Principais impactos ambientais e suas consequências ao meio ambiente



Fonte: CPRM, 2002; BACCI, LAMDIM e ESTON, 2006; SILVA, 2007 (adaptado pela autora).

Sobre os tipos de impactos causados pela mineração, o trabalho de Silva (2007) traz um apanhado de impactos dos mais diversos tipos. Extração de carvão mineral a céu aberto, que por meio do contato da água da chuva sobre os rejeitos contamina a drenagem pelo lençol freático. As atividades de mineração de ouro, chumbo, zinco e prata onde há contaminação de arsênio no solo e na água. Os agregados da construção civil, onde os impactos mais observados são na alteração da paisagem e do ecossistema local.

Rocha e Sousa (2010) afirmaram que na produção de rochas ornamentais, em suas variadas etapas, a produção de rejeitos chega a ordem de 30% a 40%. No beneficiamento das

rochas ornamentais, um dos maiores impactos encontrados é a lama de rejeito (água, granalha, cal e rocha moída). A lama é normalmente armazenada em barragens, muitas das vezes diretamente sob o solo que absorve parte dos efluentes da mineração, alcançando o lençol freático integrados com as bacias hidrográficas, alterando a biota aquática e a qualidade da água. Impactos ambientais de elevada magnitude relacionados com interferências na qualidade de vida das populações ribeirinhas, afetando áreas agricultáveis, açudes e cidades ao longo da bacia hidrográfica afetada.

A água também pode ser contaminada por substâncias que fazem parte do processo de extração por meio de lixiviação, com efluentes como óleos, graxas, resto de combustível, dejetos humanos e metais pesados. Além dos outros impactos, não menos importantes, como desmatamento, vibrações, poeira e impacto visual.

Para as extrações minerais a céu aberto, a camada superficial do solo, que também é a mais fértil, precisa ser retirada, e muitas vezes é perdida ou se transforma em rejeito, restando os horizontes mais profundos que sofrem com os processos erosivos. Pode acontecer de os rejeitos tóxicos da mineração se misturarem com o solo, contaminando-o e tornando-o infértil.

Em algumas extrações de areia, essa remoção do solo é feita por completo até chegar no lençol freático, ocasionando assim, problemas de evaporação de água potável, e elevação do nível do aquífero. Foram também expostos à contaminação por meio de óleo combustível dos tratores que fazem as remoções do minério. Um outro grave problema relacionado à extração de areia é quando o empreendedor decide parar e não fazer recuperação ambiental (possivelmente a recuperação necessária para o processo de licenciamento). Com as cavas abertas e abandonadas, o lençol freático normalmente aflora (principalmente na mineração de areia), e, ao ser exposto, a água oxida os minerais de sulfeto, reduzindo o Ph e assim, disponibilizando contaminantes tóxicos para a biota aquática (LOPES et al. 1999, MCCULLOUGH & LUND 2006, MODIS et al. 1998, BACHMANN et al. 2001, RAMSTEDT et al. 2003, DENIMAL et al. 2005, PELLICORI et al. 2005, SHEORAN; SHEORAN 2006, NEIL et al. 2009).

Trabalhos como de Almeida (2002); Tubbs et al (2011) e Vieira (2016) discutem os impactos da mineração de areia sobre o meio ambiente, focando nos problemas ocasionados com a exposição do lençol freático através das aberturas de cavas.

A definição das alterações ecossistêmicas são exigências nos estudos de impactos ambientais da mineração. Foram normalmente relacionados com a redução e destruição do habitat natural, morte de espécimes de fauna e flora terrestre e aquática, afugentamento da

fauna, interrupção nos corredores de fluxos gênicos e entre outros. Pode-se citar aqui o acidente com a Barragem de Fundão em Mariana, ocorrido em novembro de 2015 que foi classificado como o maior desastre socioambiental ocorrido no Brasil, o impacto foi devastador levando a extinção de espécies da fauna local (FARIA, 2015; BERTOLIN, 2018)

Problemas para as áreas urbanas próximas às minerações foram recorrentes, principalmente as do tipo de agregados para a construção civil (próximo dos principais consumidores, assim barateando os custos). Do mesmo modo aconteceram problemas de rigidez locacional, quando o minério só é encontrado em uma única área, impedindo assim a realocação da lavra, e, por vezes, essas áreas estão próximas a núcleos urbanos. Dessa forma, foi possível avaliar que o licenciamento normalmente leva em conta exclusivamente o consumo pelo mercado, minimizando os danos socioambientais.

Degradação ambiental causada por extração de saibro implica em vários problemas ambientais por conta de ser um mineral de baixo valor agregado, onde é bastante exigido no mercado da construção civil. Trata-se de um produto mineral dominado por pequenas e médias mineradoras. Os pequenos empreendedores encontram dificuldade em seguir a legislação ambiental, quanto as formas menos impactantes na extração mineral e na recuperação do ambiente após o término da extração. O saibro é um composto mineral utilizado na construção civil e é referente ao manto de intemperismo e parte do solo, quando retirado para usos na construção civil. O processo de mineração praticamente impossibilita de recuperação ambiental já que a vegetação é retirada para a exploração do solo, perdendo assim, todo o substrato fértil.

Em um trabalho realizado por Brollo et al (2005) foram estudadas áreas de mineração de Saibro em São Paulo, onde foram identificados níveis de degradação ambiental. Os autores concluíram que a maior parte das áreas exploradas está em degradação ambiental, onde a vegetação não conseguiu se regenerar e desencadeando movimentos de massa e demais processos de instabilidade geotécnica. Nas áreas recuperadas (recomposição da geometria e topografia da frente de lavra, introdução de cama de solo, drenagem, entre outras técnicas de recuperação de lavras abandonadas), foram introduzidas novas sucessões de vegetação que alcançaram estágio avançado de recuperação. Desta forma, evidenciando a importância do planejamento ambiental na mineração, para que no futuro essas áreas consigam se recuperar.

9 DEGRADAÇÃO AMBIENTAL E MINERAÇÃO

De acordo com a Política Nacional do Meio Ambiente (PNMA, 1981) a degradação ambiental é definida como a alteração adversa das características do meio ambiente.

Os modelos de desenvolvimento econômico dos últimos séculos usaram os recursos naturais de forma intensa, levando o meio ambiente a processos de degradação ambiental, poluição, perda de biodiversidade e ao esgotamento das reservas naturais e minerais.

A perda das características físicas, biológicas e químicas do meio ambiente inviabilizam o uso dos recursos naturais, impossibilitando os processos naturais que possibilitam a retomada da qualidade ambiental, acarretando a degradação do meio ambiente (SANCHEZ, 1998).

A degradação ambiental na mineração está relacionada intrinsecamente com os impactos ambientais em todas as etapas. Brollo et al (2005) correlacionou que as áreas onde as técnicas para a extração foram realizadas prioritariamente por processos mecânica (sem o uso de explosivos, por exemplo) e menos invasiva a regeneração do ambiente ocorreu de forma mais rápida. Já em lavras onde as técnicas de extração eram através de explosivos, por exemplo, a área encontrava-se em processo mais lento de recuperação.

A recuperação ambiental na mineração acontece a partir do momento onde há o exercício de tentativas para restauração do ambiente como, recriar a topografia original, colocar de volta a camada de solo e replantar as espécies de plantas nativas. Essas ações são vistas como uma tentativa de recuperação, visto que a mineração é um tipo de atividade intensamente degradadora que o ambiente não consegue se regenerar por completo (ultrapassando, dessa forma, a resiliência) (BITAR, 1997).

10 METODOLOGIA

Com as bases teóricas definidas, principalmente as relacionadas com os danos socioambientais e as atividades de recuperação das lavras abandonadas, de perspectiva holística, sistêmica e integrativa, aliadas aos procedimentos metodológicos definidos para esta pesquisa, fundamentaram os objetivos estabelecidos, principalmente a proposta do zoneamento ambiental minerário do município de Caucaia.

Os procedimentos metodológicos foram aplicados de modo a definir a seguinte ordem na elaboração do banco de dados da pesquisa: Reconhecimento da Área; Etapa de Gabinete; Avaliação de Impactos Ambientais, Vulnerabilidade ambiental e Zoneamento Ambiental Minerário.

10.1 Procedimentos metodológicos

10.1.1 Etapa de reconhecimento da área

O reconhecimento da área de estudo foi realizado por dois estágios que ocorreram de forma simultânea: as atividades de campo e as leituras sobre a temática mineral. Durante as primeiras atividades de campo, foram observados os aspectos ambientais e sociais, e se a realidade do objeto de estudo coincidia com os documentos estudados, afim verificar se os objetivos da pesquisa, juntamente com os procedimentos metodológicos seriam coerentes para chegar aos resultados esperados.

10.1.2 Atividade de campo

As atividades de campo priorizaram, inicialmente, visitas aos variados tipos de mineração. No momento foram visitadas extrações de areia, arisco³, saibro e granito (Figura 4). Durante o campo foi aplicado um *check list* experimental de impactos negativos e positivos, testando assim a aplicabilidade da metodologia.

Na atividade de campo foi utilizado um *drone Phantom 4pro* para a captação das imagens com alta resolução, e a facilidade registrar aspectos ambientais em locais onde seria praticamente impossível o acesso humano. O drone tem embarcado um dispositivo de GPS

³ Arisco é um material arenoso com um pouco de liga em sua composição. Utilizado na construção civil na preparação da argamassa.

(*global positioning system*) onde todas fotos contêm coordenadas em UTM (Universal Transversa de Mercator).

Durante os campos foram possíveis algumas entrevistas informais, sem perguntas pré-estabelecidas com funcionários e proprietário das empresas de mineração, e com algumas pessoas que moram ao redor, afim de entender melhor a dinâmica local e pontos de vista diferentes sobre a extração mineral.

10.2 Etapa de gabinete

Na etapa de gabinete além das leituras de referencial teórico e a elaboração do texto da dissertação, foram produzidos os mapas, figuras e gráficos, análises de amostras de campo, espacialização dos dados dos procedimentos da Avaliação de Impactos Ambientais e a execução dos métodos de vulnerabilidade para alcançar o Zoneamento Ambiental Minerário.

10.2.1 Geoprocessamento

Nessa etapa foram elaborados dados primários a partir dos trabalhos de campo e de processamento de dados em um SIG. O SIG utilizado no trabalho é o ArcGis 10.4 com a licença de operação do Departamento de Geografia da Universidade Federal do Ceará. Todos os mapas foram editados e elaborados no Sistema de Coordenadas UTM Zona 24S e com o Datum SIRGAS 2000. A escala dos mapas finais ficou entre 1:240.000 a 1:250.000.

Os dados secundários coletados da área foram das plataformas governamentais, principalmente no Sistema de Informações Geográficas da Mineração (SIGMINE), sistema esse que é alimentado pelo DNPM (Departamento Nacional de Produção Mineral) órgão responsável pela autorização de outorgas para mineração. No SIGMINE são encontrados todos os processos atuais no território nacional, os dados foram extraídos por Estado e depois feito o tratamento dos mesmo em um ambiente SIG, desta maneira foi possível a espacialização dos processos no território.

Para a elaboração dos mapas ambientais foram utilizadas as seguintes bases teóricas e cartográficas.

Divisão estadual e municipal a partir dos dados do IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística) de 2010, a imagem de radar ALOS Palsar (fevereiro de 2011) disponibilizada gratuitamente no site <https://vertex.daac.asf.alaska.edu/> de resolução espacial 12,5, foi processada e feito um *hillshad* para conseguir o efeito de textura do relevo. Esses itens são encontrados em todos os mapas ambientais

Para o mapa geológico foi utilizado o mapeamento feito por Cavalcante (2003) com escala de 1:500.000, a folha geológica Baturité – SB.24-X-A-I com escala 1:100.000 (PINÉO & ZWIRTES 2013).

No mapa geomorfológico os autores utilizados como critério para escolha das formas foram Claudino-Sales (2016), Maia e Bezerra (2014), Brandão (1995) e Souza (1988).

A partir da imagem ALOS Palsar, foi extraído curvas de nível com intervalo de 12 metros, respeitando a resolução da imagem. Na compilação dos dados também foi levado em consideração os aspectos geológicos na determinação dos limites de algumas unidades. A partir das curvas e as bases teóricas citadas acima, foi possível a compartimentação do relevo.

O mapa de precipitação foi elaborado a partir de imagem de radar CHIRPS, esse radar foi desenvolvido pelo Serviço Geológico dos Estados Unidos (USGS), o produto é disponível pela Universidade da Califórnia, Santa Barbara. O produto é uma combinação dos dados de satélites geoestacionários, *National Climatic Data Center* (NCDC), modelos atmosféricos do satélite NOAA *Climatic Forecast System Versão 2* (CFSv2) e observações in situ. A série histórica dos dados foi de 1981 a 2017. A resolução espacial da imagem é de 5 quilômetros (TOTÉ et al 2015).

Em relação ao mapa de solos foi elaborado a partir do mapeamento exploratório feito por Jacomine (1972) sendo executada a atualização da nomenclatura e também foi utilizada a folha SA 24 do IBGE (2014). Foi aplicado o padrão de cores de acordo com o SIBCS (Sistema Brasileiro de Classificação de Solos).

No mapa de drenagem foi utilizado a drenagem extraída pela SRH (Secretaria de Recursos Hídricos, 2012) e sobreposto ao *hillshad* está a *World Imagery Basemap*, imagem de satélite de alta resolução, recurso este disponibilizado dentro do *software* Arcgis.

O mapa de vegetação foi elaborado a partir da folha SA 24 do IBGE (2015). A legenda do mapa foi estabelecida em fazer uma relação entre a taxonomia e o uso do solo.

10.3 Avaliação dos Impactos Ambientais

Baseado em Sánchez (2008), existem vários métodos para a Avaliação dos Impactos Ambientais (AIA), os principais são: Metodologias espontâneas (Ad Hoc), Metodologia de Listagem (Check-list), Matrizes de Interações (Networks), Metodologias quantitativas, Modelos de simulação, Mapas de superposição (Overlays), Projeção de cenários, entre outras. A avaliação de impactos ambientais consiste em processos que se correlacionam de maneira coerente, afim de verificar se a viabilidade ambiental, com objetivo de mensurar as limitações do projeto e facilitar a gestão ambiental do empreendimento.

Os métodos de AIA que serão utilizados no trabalho consistem na Metodologia de listagem (Check-list) e Matrizes de Interações baseada em Sánchez (2008) e Mapas de superposição (Overlays).

10.3.1 Metodologia de listagem (Check-list)

De acordo com Cunha & Guerra (1999), o *Check-list* consiste na identificação e enumeração dos impactos. A partir de estudos realizados por especialistas do meio físico, biológico e antrópico, os impactos deverão ser relacionados com os aspectos e as atividades do empreendimento, devendo ser classificados como pontos negativos e positivos de acordo com a transfiguração causada pelo antrópico.

10.3.2 Matrizes de interações

Segundo Cunha & Guerra (1999), as matrizes de interações são técnicas bidimensionais que relacionam os fatores do empreendimento com o meio ambiente. As matrizes surgem da necessidade de cumprir vazios que o *Check-list* não é capaz de cumprir. A matriz mais difundida até hoje é a matriz de Leopold, que foi elaborada em 1971 para o Serviço Geológico dos Estados Unidos. A matriz de Leopold compõem-se basicamente de elencar elementos entre ações antrópicas com os fatores ambientais e a geração dos aspectos, ocasionando os impactos. A valorização dos impactos, positivos ou negativos é moderadamente empírica. A matriz a ser utilizada será a adaptada por Sánchez e Hacking (2002), os autores trazem o conceito de aspecto ambiental para dentro da matriz.

10.3.3 Mapas de superposição (Overlays)

Basicamente uma superposição de mapas onde, os aspectos ambientais são ordenados e sobrepostos um sob o outro, com diferentes tipos de sombreamento: geologia, relevo, hidrografia, clima, solos, vegetação, fauna e uso do solo. (ABSY et al 1995).

Esse mapa é utilizado para interagir os elementos ambientais e criar uma síntese da situação ambiental da área, podendo ser elaborado a partir do conceito de vulnerabilidade ou do potencial dos recursos ambientais (CUNHA & GUERRA, op. cit.).

Os Overlays auxiliam na etapa de sobreposição dos índices de vulnerabilidade.

10.4 Vulnerabilidade natural

A metodologia de vulnerabilidade a ser utilizada no trabalho será a idealizada por

Crepani *et al* (1996) desenvolvida pelo INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) que fez parte do Roteiro Metodológico para o Zoneamento Ecológico Econômico da Amazônia Legal, como instrumento de planejamento e ordenamento. Foi elaborada uma classificação do grau de vulnerabilidade de cada unidade ambiental, baseado nos processos de pedogênese e morfogênese de Tricart (1977). A vulnerabilidade é disposta em 3 valores (1 – estável; 2 – intermediário; 3 – instável) para cada unidade da paisagem, geologia, geomorfologia, solos, clima e vegetação onde prevê um total de 21 classes. A partir desses valores é possível diagnosticar se aquela área está susceptível à vulnerabilidade natural ou à estabilidade natural.

Essa metodologia será de suma importância para se alcançar os diagnósticos das zonas mineradas e na elaboração do Zoneamento Ambiental Minerário.

Para a obtenção das informações das unidades de paisagens foi feito um levantamento bibliográfico e cartográfico, onde estão descritos os processos naturais de cada ambiente e o resultado do mapeamento. Esse resultado é encontrado no capítulo oito “**Caracterização ambiental da área de estudo**”.

Geologia

O mapeamento da vulnerabilidade ambiental na geologia da área de estudo foi elaborado a partir da cartografia realizada pela autora e baseada em Cavalcante (2003); Pinéo & Zwirtes (2013). Os índices foram escolhidos utilizando a tabela encontrada na metodologia do Crepani *et al* (1996) que leva em consideração o grau de intemperismo das rochas, encontrados nas litologias mapeadas. Na tabela 1 a seguir encontram-se os índices de acordo com a litologia identificada na área.

Tabela 1 – índices do mapeamento geológico de acordo com Crepani (1996)

Índices do mapeamento geológico	
Paragnaisses, ortognaisses, metabásicas e metacalcários	1,0
Paragnaisses, micaxistos e metacalcários	1,0
Quartzitos	1,0
Rochas calcissilicásticas	1,0
Paragnaisses e granitoides	1,1
Granitoides diversos	1,1
Tefritos, fonólitos, traquitos	1,4
Metalultramáficas	1,5

Metacalcários	2,3
Arenitos e conglomerados	2,5
Areias	3,0
Argilas, areias argilosas e cascalhos	3,0
Sedimentos argilo-arenosos	3,0

Fonte: Elaborado pela autora.

Geomorfologia

No mapeamento dos índices para o relevo, foram levados em consideração dois critérios encontrados na metodologia, declividade do terreno e amplitude altimétrica do relevo.

De acordo com Crepani *et al* (1996) a declividade do terreno é determinante para a vulnerabilidade natural por conta da relação, onde maior for a declividade do terreno, maior vai ser a energia e velocidade de transporte de massas, blocos, e das águas pluviais, sendo as forças principais na erosão e modelagem do relevo. Dessa forma, a correlação da vulnerabilidade com a declividade se proporcionaliza por meio de, quanto maior for o grau de declividade do terreno, maior será a vulnerabilidade.

Para a declividade do terreno foi utilizado a imagem de radar *ALOS Palsar* e a ferramenta *slop*. Na tabela 2 estão as classes da declividade do terreno utilizadas no mapeamento.

Tabela 2 – Índices de declividade do terreno

Índices de declividade do terreno		
Classes morfométricas	Declividade (%)	Valores de vulnerabilidade
Muito baixa	<2	1,0
Baixa	2-6	1,5
Média	6-20	2,0
Alta	20-50	2,5
Muito alta	>50	3,0

Fonte: Crepani *et al* (1996) elaborado pela autora

A amplitude altimétrica é o indicador da energia potencial, através da correspondência entre, maior amplitude altimétrica corresponde no maior potencial de energia

das águas pluviais que caem nos pontos mais altos do relevo, adquirindo mais energia cinética em direção aos pontos mais baixos, proporcionando assim, maior capacidade de erosão. A relação com a vulnerabilidade é estabelecida a partir dos valores da amplitude, onde, maior a amplitude altimétrica, maior será o valor de vulnerabilidade e nos locais de menor amplitude altimétrica, menor será a vulnerabilidade.

O índice de amplitude altimétrica foi elaborado também a partir da mesma imagem utilizada no índice de declividade, e feito um processamento no Arcgis chamado relevo relativo, onde é gerado um grid de pontos e polígonos com informações altimétricas extraídas do raster. Posteriormente é feita uma interpolação desses pontos e polígonos, gerando assim, os valores da amplitude do relevo. Na tabela 3 estão os valores encontrados através desse processamento e os índices que eles receberam. Após os processamentos, os resultados foram somados e divididos por dois, gerando assim o índice de vulnerabilidade do relevo.

Tabela 3 – Índices de vulnerabilidade do relevo.

Índices de amplitude do relevo	
Amplitude do relevo (m)	Vulnerabilidade
21 – 29,5	1,1
29,5 - 39	1,2
39 - 48,5	1,3
48,5 - 58	1,4
58 - 67,5	1,5
67,5 – 77	1,6
77 – 84,5	1,7
84,5 – 94	1,8
94 – 103,5	1,9
103,5 – 113	2,0
113 – 122,5	2,1
122,5 – 132	2,2
132 – 141,5	2,3
141,5 – 151	2,4
151 – 160,5	2,5

160,5 – 170	2,6
170 – 179,5	2,7
179,5 – 189	2,8
189 – 200	2,9
>200	3,0

Fonte: Crepani *et al* (1996) elaborado pela autora

Pluviosidade

A precipitação pluviométrica tem importância na vulnerabilidade pois trata-se dos condicionantes principais da morfogênese e pedogenese: dependendo da intensidade pluviométrica, e estando diretamente associada à declividade e à altitude do relevo, geologia, solos e vegetação. A precipitação na metodologia é trabalhada na perspectiva do poder de impacto no solo, causando erosão ou não.

Para o mapeamento da vulnerabilidade climática da área foi feita uma adaptação na metodologia. Por conta da área de estudo estar inserida num contexto de grande volume de precipitação concentrado num período do ano, e estiagem no restante do ano, seria inexequível aplicar os índices para todos os meses do ano. Então, foi feita uma média anual da precipitação de acordo com uma série histórica de 30 anos (1981 a 2017) para então ser aplicado os valores da metodologia. A seguir, na tabela 4 estão os valores médios de precipitações e os índices utilizados

Tabela 4 – Índice de intensidade pluviométrica

Índice de intensidade pluviométrica	
Intensidade pluviométrica (mm/ano)	Vulnerabilidade
<50	1,0
50 -75	1,1
75 – 100	1,2
100 – 125	1,3

Fonte: Crepani *et al* (1996) elaborado pela autora

Solos

O solo é caracterizado pelo autor como o fator resultante das ações intempéricas da chuva, do relevo, das rochas e do tempo. Os solos são classificados de acordo com a sua erodibilidade, capacidade de um determinado solo resistir a erosão (CREPANI *et al* 1996).

Para a determinação dos valores de vulnerabilidade, o autor considerou o grau de desenvolvimento ou maturidade dos solos e dividiu os tipos de solo/ associação de solos em três tipos: unidade de paisagem natural estável, intermediária e vulnerável. Na tabela 5 a seguir estão as unidades de paisagem natural, os tipos de solos e o grau de vulnerabilidade encontrados na área de estudo.

Os índices foram inseridos nos tipos de solos encontrados no mapeamento feito pela autora com base em: Jacomine (1972) e folha SA 24 do IBGE (2014).

Tabela 5 – Índices de vulnerabilidade dos solos

Índices de vulnerabilidade dos solos		
Unidade de paisagem natural	Tipo de solo	Vulnerabilidade
Unidade de paisagem natural intermediária /	Argissolos Amarelo	2,0
	Argissolos Vermelho-amarelo	2,0
	Luvisolos	2,0
	Planossolos Nátrico	2,0
Unidade de paisagem natural instável	Neossolos Litólicos	3,0
	Neossolos Quartzarênicos	3,0
	Sedimentos de Dunas	3,0

Fonte: Crepani *et al* (1996) elaborado pela autora

Vegetação

A vegetação é entendida como um fator importante na preservação do solo e relevo da ação das chuvas. Como um fator resultante de todas as outras unidades de paisagem, a vegetação tem a função do equilíbrio pedogenético e ecológico do ambiente.

Para a metodologia é utilizado o parâmetro de densidade de cobertura vegetal, e também é separada por classe de unidades de paisagens natural, que são: cobertura vegetal estável, cobertura vegetal moderadamente estável, cobertura vegetal medianamente estável ou

vulnerável, cobertura vegetal moderadamente vulnerável e cobertura vegetal vulnerável.

O mapeamento da vegetação foi feito a partir dos critérios de taxonomia e uso do solo, encontrados na folha SA 24 do IBGE (2015). A seguir a tabela 6 com as unidades de paisagem natural, o tipo de vegetação e o grau de vulnerabilidade.

Tabela 6 – Índices de vulnerabilidade da vegetação

Índices de vulnerabilidade da vegetação		
Unidade de paisagem natural	Tipo de vegetação	Vulnerabilidade
Cobertura vegetal moderadamente estável	Floresta estacional semidecidual	1,4
	Savana estépica florestada	1,7
Cobertura vegetal medianamente estável ou vulnerável	Savana arborizada	2,0
	Savana estépica com palmeiras	2,0
	Savana estépica arborizada	2,1
	Floresta estacional decidual	2,1
Cobertura vegetal moderadamente vulnerável	Savana parque sem floresta de galeria	2,3
	Savana estépica parque	2,4
	Formação pioneira arbórea	2,8
	Campinarana e estepe de porte arbustivo	2,8
Cobertura vegetal vulnerável	Formação pioneira marinha	3,0
	Influência urbana	3,0

Fonte: Crepani *et al* (1996) elaborado pela autora.

Uso e Ocupação do solo

O mapeamento do uso e ocupação do solo foi feito a partir dos seguintes elementos: área urbana, vegetação de porte arbóreo, vegetação de porte arbustivo e solos exposto, vegetação de várzea e mangue, dunas móveis, área de proteção ambiental (APA),

terras indígenas, quilombolas, assentamentos rurais e unidades de conservação. Os índices foram classificados de 1 a 3 sendo, 1 áreas que podem ter atividade de mineração, 2 áreas intermediárias e 3 áreas impróprias para a mineração.

Na tabela 7 está a classificação dos índices de acordo com o uso e ocupação do solo.

Tabela 7 – Índices de vulnerabilidade do uso e ocupação

Uso e ocupação do solo	Classificação
Vegetação arbustiva e solo exposto	1
Vegetação arbórea	2
Vegetação de várzea e mangue	3
Campo de dunas	3
Terras indígenas	2
Área de Proteção Ambiental (APP)	3
Ferrovias transnordestina	3
Unidades de conservação	3
Quilombolas	2
Assentamentos rurais	2

Fonte: Crepani *et al* (1996) elaborado pela autora

Potencial mineralógico

O potencial mineralógico foi elaborado a partir dos dados feitos pela ANM (2019) para o Plano Diretor de Mineração para a Região Metropolitana de Fortaleza. Nesse estudo eles classificaram áreas com alto e baixo potencial mineralógico de acordo com a geologia e a capacidade de extração do minério. Todas as litologias com alto potencial foram classificadas com índice 1 indicando que aquela área é propícia à mineração e no restante do território foi colocando um índice de valor 3, indicando não haver interesse mineralógico. As litologias com potencial para a mineração que estão em Caucaia são: areia fina, areia grossa, argila, saibro, calcário, fonólito e rochas graníticas.

10.5 Zoneamento Ambiental Mineralógico

A metodologia de Zoneamento Ambiental Mineralógico consiste na concepção de um

prognóstico da área em zonas propícias ou não a mineração. A elaboração é a partir de um conjunto de ferramentas: inventários e mapeamentos; e diagnóstico técnico-econômico do setor mineral. Nos inventários e mapeamentos devem ser elaborados: caracterização do meio físico e Infraestrutura; zoneamento institucional (parcelamento do uso do solo); diagnóstico do uso e ocupação do solo; potencial geológico para mineração; paisagens e monumentos naturais notáveis; susceptibilidade do meio físico e biótico. No que abrange ao diagnóstico técnico-econômico do setor mineral devem ser elencados: levantamento de dados do perfil socioeconômico da região, levantamento da situação técnica, legal e ambiental das atividades de mineração e métodos de lavras (TANNO & SINTONI 2003).

O parcelamento do território em zonas deverá ser de forma escalonada, de acordo com a vulnerabilidade, uso do solo, e as limitações ambientais para atividades extrativistas minerais. Segundo, Tanno & Sintoni (2003), o resultado é a compartimentação da área em: zonas preferenciais para a mineração (superfícies mais adequadas ao desenvolvimento de áreas mineradas, por conta da compatibilidade técnica, ambiental e socioeconômica); zonas controladas para mineração (superfícies mais limitadas a mineração, com um maior controle dos empreendimentos e imposições de maiores limitações); zonas bloqueadas para mineração (superfícies onde por conta das limitações ambientais ou pelo uso do solo naquela região, não é permitida a mineração).

Com o resultado da vulnerabilidade natural a partir da aplicação dos índices de Crepani (1996) foi possível fazer a somatória com o resultado do uso e ocupação do solo e o potencial minerário resultando assim no zoneamento ambiental minerário.

11 CARACTERIZAÇÃO AMBIENTAL DA ÁREA DE ESTUDO

As estruturas geológicas, a influência climática sobre as mesmas e os relevos que são originados por esses dois fatores, são os componentes fundamentais para os estudos ambientais. Na sequência, temos o sistema de drenagem o qual é responsável por esculpir boa parte das paisagens, a origem dos solos e seu desenvolvimento que dão suporte à vegetação e, conseqüentemente, as atividades do homem formam assim todo o conjunto.

Nessa sessão será descrito os elementos abióticos e bióticos que formam as unidades de paisagens.

11.1 Complexo Ceará e Superfície de Aplainamento

Caucaia tem a maior parte do seu território composto por rochas do *Complexo Ceará* que é dividida em duas unidades, Independência e Canindé. Em sua maioria sendo constituídas por quartzitos, micaxistos, metalultramáficas, rochas calcissilicásticas, paragneisses, ortogneisses, metabásicas e metacalcários e granitoides diversos (Cavalcante 2003). Essas rochas foram originadas a partir da metamorfose que ocorreu por conta da colisão brasileira, aproximadamente 630 – 610 Ma (BARBOSA & MAIA, 2018). Essas unidades compõem o que é entendido de forma generalizada por rochas do embasamento cristalino, elas circundam os corpos graníticos e respondem em forma de relevo com uma forma levemente ondulada e pequenas cristas residuais. A superfície de aplainamento é exposta através de pedimentos bastante dissecados e com um leve caimento topográfico no sentido dos vales e ao litoral.

Na área de estudo o Complexo Ceará encontra-se em conformidade com a área equivalente a *Superfície Erosiva*, são áreas mais rebaixadas pelo alto grau de erosão. Barbosa & Maia (2018) encontraram uma concordância entre a alta densidade de lineamentos estruturais de orientação NE-SW e a fragilidade da rocha, facilitando a intensa dissecação do relevo.

Esse ambiente também foi descrito por acentuadas variações litológicas e processos morfogênicos intensos. Condições climáticas de semiaridez que causam a intermitência da drenagem e, assim, altas taxas de evaporação e, por conta da litologia e estrutura, essa drenagem apresentou um controle estrutural nas áreas mais fraturadas. Pouca

intemperização do manto para a formação de solos espessos e assim uma dificuldade em sustentar um porte de vegetação mais denso, predominando a caatinga.

A caracterização climática da área de estudo, é bem parecida com todo o comportamento climático estadual, definida pela sazonalidade das precipitações e por elevadas temperaturas durante o ano, baixas amplitudes térmicas e atividades de vários sistemas atmosféricos, como a massa de ar equatorial e tropical, estabelece o clima como tropical equatorial com até 6 meses secos (MAGALHAES & ZANELLA, 2011).

O principal sistema atmosférico responsável pela quadra chuvosa é a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) que atua no hemisfério sul durante os meses de fevereiro a maio. Por conta da irregularidade de temperaturas no Oceano Pacífico, os fenômenos *El Niño* e *La Niña* têm uma associação direta com a intensidade de chuvas originadas pela ZCIT. Em Caucaia as temperaturas médias são em torno de 26° a 27,5° e médias pluviométricas em média de 1300 mm, de acordo com a série histórica de 1988 a 2017 (SNIRH, 2018). Esse comportamento climático se aplica a todos os ambientes estudados.

O sistema de drenagem, escoamento superficial e as águas subterrâneas no ambiente da Superfície Erosiva foram condicionados em maior parte pelas falhas e lineamentos que estruturaram a superfície. Os rios foram em sua maioria encaixados nessas falhas e seguem a direção preferencial NE-SW, como o caso do rio Ceará que se encontra na região bastante fraturada (BARBOSA & MAIA 2018).

Nos terrenos das rochas correspondentes ao Complexo Ceará, a impermeabilidade é muito baixa, a infiltração das águas pluviais só ocorrerem em zonas fraturadas. Os sedimentos acumulados sobre as rochas intemperizadas podem armazenar água, dependendo da sua espessura, para eventuais captações. Esses eluviões funcionam também como um sistema de recarga para as zonas fraturadas subjacentes (Brandão, 1995).

Bianchi et al (1984) afirmou que os poços na região do Complexo Ceará, na Região Metropolitana de Fortaleza (RMF) tem uma vazão de 2,0m³/h frequentemente com alto teor de sais dissolvidos.

A formação dos solos está intrinsecamente relacionada com o clima, organismos vivos, material de origem, relevo e tempo. No ambiente de clima semiárido, a alta atividade intempérica, baixa atividade bioclimática e baixa umidade atmosférica. Solos comumente fracos ou pouco evoluídos, usualmente com boa fertilidade natural e predominantemente rasos e pouco profundos (50 a 100cm), geralmente com a presença de pedregosidade e afloramento de rochas (PEREIRA & SILVA, 2005).

Como dito anteriormente, os solos foram geralmente rasos a médio, e comumente com ausência do horizonte A, que os deixou mais susceptíveis à erosão superficial. Os solos encontrados no município de Caucaia, segundo o mapeamento de Jacomine (1973) e do IBGE folha SA24 (2014) foram: Argissolo amarelo distrófico, Argissolo vermelho amarelo, Luvisolo crômico, Planossolo nátrico, Planossolo háplico, Neossolo litólico estrófico, Neossolo quartzarênico e os sedimentos inconsolidados quartzarênico.

A vegetação predominante encontrada nesse ambiente é a caatinga de porte arbustivo e herbáceo, com caducifolia durante os períodos de estiagem, por estabelecer uma relação intrínseca entre a geologia, os tipos de solo, a declividade do relevo e o clima. Esse tipo de vegetação, tem formação xerófila lenhosas geralmente espinhosas, com características de folhas pequenas providas de espinhos e xilopódios (MOTA, 2005).

A caatinga se diferencia de acordo com o ambiente, locais onde há mais disponibilidade hídrica, e solos mais espessos e férteis, a caatinga se apresenta de forma arbórea, alguns exemplos de espécies são: angico, pau branco, aroeira, imburana e pereiro. Em ambientes onde predominam os processos morfogenéticos, a caatinga assume um papel mais arbustivo, espécies do tipo: marmeleiro, feijão bravo, jurema preta e jurubeba.

11.2 Granitoides Diversos, Complexo Tamboril-Santa Quitéria – Maciços Estruturais até 500m e acima de 500m

Os granitoides diversos são compreendidos como granitoides brasileiros de associação biotita-granito, monzogranitos, sienitos, quartzomonozonitos e granitos porfiríticos, onde a intrusão do magma está associada ao conjunto de falhas dúcteis (CAVALCANTE, 2003). Com gênese descrita por Vasconcelos et al., (2004) entre 560 – 540 Ma.

A presença de litologias metamórficas no topo dos Maciços é detalhada por Saraiva Junior (2009) onde indica que todas as litologias metamórficas adjacentes ao corpo granítico brasileiro foram soerguidas simultaneamente no cretáceo, num período de calma tectônica, conduzindo assim as rochas metamórficas e o granitoide em cotas elevadas.

A cota desses Maciços referentes ao granitoide, não ultrapassou à 500m, sendo assim, por mais que haja uma proximidade com o litoral e um maior acúmulo de umidade, a altimetria relativamente baixa, propicia a um ambiente próximo ao da Superfície Erosiva.

O granitoide Santa Quitéria, que pertence ao Arco Magmático Santa Quitéria no

Domínio Ceará Central (FETTER et al., 2003). Nascimento et al., (1981) já caracterizaram a área do Complexo Tamboril-Santa Quitéria com individualização litológica, constituída predominantemente por granitos e migmatitos. Tem sua gênese associada ao metamorfismo de alto grau gerado entre 650 – 610 Ma (COSTA et al., 2010). Cavalcante (2003) descreve que a unidade é formada por associação granito-migmatítica com presença de enclaves de anfibolitos, rocha cálcio-silicática e paragneisses de idade Neoproterozoica (FETTER et al. 2003 e CASTRO, 2004).

No trabalho elaborado por Barbosa & Maia (2018) foram identificados lineamentos estruturais nesse setor, em sua maioria de direção NE-SW, N-S e NW-SE e em quantidades baixas, em relação ao entorno mais rebaixado, correspondendo assim uma maior resistência à erosão.

Esses granitoides refletem na paisagem de diversas formas, como um Maciço estrutural com cota acima de 500m, em cristas residuais, pequenos inselbergues e na área de estudo também é encontrado na forma de Superfície Erosiva em uma cota mais elevada do que a Superfície Erosiva do Complexo Ceará, essa diferença altimétrica pode ser compreendida pelo fato das rochas que compreendem o granitoide Santa Quitéria serem mais resistentes à erosão.

Os relevos correspondentes aos Maciços Estruturais próximos ao litoral, foram esculpidos durante as mudanças climáticas do cenozoico, principalmente nas mudanças climáticas do período úmido para seco (CLAUDINO-SALES e PEULVAST, 2007).

As chuvas orográficas nos setores dos Maciços estruturais estabelecem um regime pluviométrico mais intenso, na ordem de 1.200 – 1.400 mm por ano e baixas temperaturas e ventos adiabáticos, por conta da altitude (Brandão 1998; Magalhães e Zanella 2011). Por mais que o setor oeste do Maciço de Maranguape que fica em Caucaia seja mais baixo, o mesmo tem um comportamento parecido com todo o resto do Maciço, influenciado o clima local.

Os sistemas atmosféricos causadores de chuvas são mais atuantes nessa região por conta da proximidade com o litoral e também há uma maior concentração de umidade. Isso faz com que haja uma maior ação do intemperismo químico e, assim, proporcionando a formação de solos mais espessos como o Argissolo Vermelho-Amarelo que dão sustentação a um tipo de vegetação mais densa e arbórea do tipo ombrófila na porção barlavento do Maciço. Na porção sotavento, especificamente na parte que compreende o município de Caucaia, há uma alternância entre uma vegetação de floresta ombrófila e manchas de caatinga e a presença de solos do tipo Neossolo Litólico Eutrófico (BRANDÃO, 1998).

Nos Maciços Estruturais de até 500m também são encontrados os Neossolos Litólicos, muito influenciado pela sua altimetria mais baixa, e assim, o porte da vegetação já torna-se menor e menos densa, prevalecendo a caatinga.

O sistema de drenagem é similar ao da superfície erosiva, com os principais rios encaixados nas zonas de falhas, e a rede de drenagem seguindo a orientação preferencial dos fraturamentos, NE-SW, por conta do embasamento litológico ser de rochas ígneas, a permeabilidade das águas pluviais são quase nulas, favorecendo o escoamento superficial. A diferença se dá pelo fato dos Maciços apresentarem uma caracterização climática diferenciada do entorno, como dito anteriormente, a formação de solos mais espessos e um maior acúmulo de depósitos colúvio-eluviais favorecem a um maior armazenamento de água.

As principais bacias hidrográficas da região pertencem à bacia metropolitana e são compostas pelos rios: Rio Ceará, com sua drenagem sendo alimentada pela superfície erosiva, e boa parte vinda dos Maciços estruturais. O Riacho Juá, com a nascente no Maciço Estrutural do Juá/Conceição, e algumas drenagens sendo alimentadas pelo Maciço de Camará. Riacho Cauípe a oeste do Maciço Conceição a drenagem ao chegar no barreiras, toma forma de um grande lagamar, tendo um papel importante na ecologia local e para a captação de água das comunidades do entorno. Nas áreas de baixo curso desses riachos são encontrados extensos carnaubais e na proximidade com o oceano, onde há o contato direto das marés, as vegetações de mangue (MOTA, 2005).

Nas encostas desses Maciços, são encontrados processos de movimentações de massa como blocos de rochas e solos que foram intensificados pela atividade antrópica, como a plantação do tipo morro acima e atividade mineradora, fazendo assim com que o ambiente se torne mais instável. As movimentações intensificam quando as chuvas atuam de forma intensa sobre essas áreas.

11.3 Magmatismo Cenozoico – Cones vulcânicos

O Vulcanismo Messejana foi um evento vulcânico ativado no cenozoico, que compreende em *necks* de fonólitos, ocorrido no paralelo de 4° sul, denominado por alguns autores como *hotspot* Fernando de Noronha (ALMEIDA, 1986; ALMEIDA, 2006; CHANG et al. 1992; DAVIES, 1988; MIZUSAKI et al., 2002).

Almeida et al. (1988) e Sleep (2003) consideram que esse tipo de vulcanismo, esteve relacionado com a reativação de falhas e cisalhamento. Nascimento et al (1981)

fizeram um estudo geocronológico sobre esse evento e através de datações Rb/Sr e k/Ar indicaram datas próximas a 34 Ma.

Esse vulcanismo é composto por *plugs* e domos de rochas alcalifonolíticas, tefriticas e fonotefriticas, piroclásticos e diques alcalinos (ALMEIDA, 2006). Os vulcanismos mostram-se na paisagem geralmente com forma de *necks* ou *plugs* sobressaindo topograficamente.

Os *necks* após sofrerem as ações dos processos denudacionais, transforma-se em relevos de forma cônica, circular e elipsoidal, porém, nem todas ocorrências do magmatismos têm morfologias que ressaltam no relevo e nem são de grande porte, o que dificulta seu mapeamento.

O exemplo mais claro e evidente de cone vulcânico em Caucaia, é o Pão de Açúcar, que fica localizado na margem esquerda no sentido N-S da BR 220.

A localização geográfica do vulcanismo incluso no Complexo Ceará e Complexo Tamboril-Santa Quitéria, majoritariamente na Superfície de Aplainamento e no mesmo regime climático, faz com que suas características ambientais sejam muito análogas, com o predomínio da caatinga, Neossolos Litólicos e a drenagem feita por riachos de pequeno porte e intermitentes.

11.4 Depósitos Cenozoicos – Formas litorâneas

Formação Barreiras – Tabuleiro Costeiro Dissecado

A Formação Barreiras é associada a depósitos sedimentares areno-argilosos de coloração avermelhada creme ou amarelada, de granulometria fina a média, com presença de horizontes conglomeráticos e níveis lateríticos. Foi observada em alguns níveis de cascalhos uma estratificações cruzada e paralela e presença de granudecrescência (BRANDÃO, 1995). Através da revisão bibliográfica de Sousa (2002) considera-se que a Formação Barreiras é de idade Miocênica entre 18 Ma – 22 Ma. Os processos que levaram à sua origem foram relacionados a processos predominantemente continentais onde os sedimentos foram depositados em forma de leques aluviais durante um regime de clima semiárido de chuvas torrenciais e onde o nível do mar estava mais baixo que o atual (BIGARELLA, 1975).

Na área de estudo a Formação Barreiras foi localizada em uma área paralela a linha de costa, em partes mais estreitas entre os sedimentos mais recentes e o embasamento cristalino e, em partes mais largas, como no contato direto com o Maciço de Camará,

indicando de forma clara que a área fonte dos sedimentos foi originada dos Maciços costeiros. Reflete em forma de tabuleiro, relativamente plano com pequenas ondulações correspondentes a depósitos mais recentes, e também manifestou-se como falésias vivas na praia de Iparana, Caucaia/CE.

A caracterização climática nos ambientes mais próximos à linha de costa é um pouco diferenciada dos ambientes interioranos. Por conta da influência marítima a pluviosidade e a umidade foram mais representativas. Sistemas atmosféricos como os Vórtices Ciclônicos de Ar Superior (VCAS), Complexos Convectivos de Mesoescala (CCMs), Distúrbios Ondulatórios de Leste (DOL), Linhas de Instabilidade e as brisas marítimas atuam de forma mais intensa nessa faixa litorânea, promovendo chuvas fora da quadra chuvosa (ZANELLA, 2005; MAGALHAES & ZANELLA, 2011).

As temperaturas também são mais amenas na região litorânea com as médias de mínima de 26°C a 27°C e máximas de 31°C e 32°C e pluviosidade com média anual de 1.200 a 1.400 mm (BRANDÃO, 1998).

O sistema de drenagem nos depósitos da Formação Barreira se comportou de forma diferenciada dos terrenos cristalinos. Por conta de uma maior permeabilização, o escoamento superficial é caracterizado por rios de padrão mais meandrante, nos períodos mais chuvosos, a carga de sedimentos aumenta, favorecendo a formações de depósitos aluvionares próximos aos vales dos rios. O armazenamento das águas subsuperficiais na Formação Barreiras são encontrados em maior parte nos níveis mais arenosos. O aquífero do Barreiras é bastante heterogêneo, com espessura variando entre 10 a 100m, para a porosidade efetiva de 10% foi calculada a reserva de 2.755×10^6 m³ (MOTA, 2005).

Há uma grande demanda por água no aquífero através de poços, por conta do adensamento urbano e instalações portuárias e industriais.

Os solos foram derivados dos sedimentos argilo-arenosos, predominantemente solos do tipo Argissolo Amarelo Distrófico e os Neossolos Quartzarênico. Em algumas áreas esses solos apresentaram-se de forma coesa com problemas de natureza física e química (LIMA et al, 2004).

O Argissolo Amarelo Distrófico tem características de solos profundos e geralmente são bem drenados e muito intemperizados. Neossolos Quartzarênicos são de espessura média a alta, excessivamente drenados e predominantemente constituídos de grãos de quartzo, pouco desenvolvidos (PEREIRA & SILVA 2005).

Na faixa litorânea a vegetação encontrada comporta-se de forma heterogênea, nos

tabuleiros costeiros, são identificadas as florestas estacionais semidecíduais que foram denominadas de “mata de tabuleiro” por conta da espacialização geográfica ser correlata à forma geomorfológica dos tabuleiros costeiros (FERNANDES 1990; FIGUEIREDO, 1997).

O porte é predominantemente arbóreo acompanhado de espécies arbustivas e herbáceas. As espécies mais encontradas são: cajueiro, imburana, jatobá, murici, língua de vaca, pau d’arco roxo, peroba, araticum, marmeleiro e juazeiro (CASTRO, MORO & MENEZES, 2012).

Castro, Moro e Menezes (2012) encontraram na mata de tabuleiro gêneros de espécies de ambientes mais secos e gêneros de ambientais mais úmidos, concluindo assim, que nessa região litorânea há a possibilidade maior de misturas de táxons por conta de condições climáticas, onde não é tão úmido quanto áreas de floresta atlântica e nem tão seco, quanto áreas de caatinga.

11.5 Coberturas Colúvio-Eluviais

As coberturas Colúvio-Eluviais são sedimentos encontrados de forma irregular, sempre próximas à fonte, que no caso da área de estudo, são as rochas do embasamento cristalino e da Formação Barreiras, esses pacotes sedimentares não ultrapassam três metros de espessura, sendo comparadas com “ilhas” pela sua descontinuidade. Às vezes pode-se encontrar grãos de quartzo, feldspato e estruturas gnáissicas que comprovam a pouca intemperização afirmando a permanência do clima semiárido e a proximidade com a área fonte. Esses sedimentos são morfologicamente tabuleiros planos e topograficamente mais baixo que a superfície cristalina (BRANDÃO op. cit.).

Esses sedimentos são caracterizados como areno-argiloso de cor alaranjado e avermelhado, com granulação fina a média com presença de horizonte laterizado (BRAGA et al, 1977).

Essas pequenas ilhas têm o mesmo comportamento ambiental do seu entorno, sendo assim, não havendo necessidade para uma caracterização mais aprofundada de todos os ambientes, pois os mesmos já foram descritos acima.

11.6 Paleodunas e Dunas móveis, semifixas e fixas

Sobre a Formação Barreiras são encontradas as Paleodunas, que são ambientes de

areais bem selecionadas de grãos finos, por vezes são sedimentos inconsolidados mas também são encontrados com certo grau de compactação e apresentando um início de processo pedogenético, embora incipiente, favorecendo a formação de um horizonte superficial e a fixação de vegetação arbórea e arbustiva (SOUZA, 2000).

São classificados como sedimentos siltosos, quartzosos e quartzo-feldspáticos com coloração amarelada, alaranjada e acinzentada. Apresentam-se topograficamente como dunas de forma parabólicas que podem ser visualizadas sem muito esforço (Brandão op. cit.). Tudo indica que essas dunas foram depositadas durante as mudanças climáticas e eustáticas do Pleistoceno e Holoceno quando o nível do mar estava mais baixo (MEIRELES, 1991).

As dunas móveis são os sedimentos de origem marinha e terrestre que migram através da energia dos ventos e da deriva litorânea. São formadas por grãos de quartzo bem selecionados finos a médios esbranquiçados e amarelados. Em grande parte, não há presença de vegetação pela alta intensidade nos processos eólicos, dificultando a edafização (OLIVEIRA, 1998; BRANDÃO op. cit.).

O regime climático nesse ambiente já apresenta fatores mais intensos quanto ao regime de chuvas e ventos por conta da maior proximidade com o oceano. Os ventos em toda a zona litorânea do Ceará e, especificamente, em Caucaia têm direção NE e E com velocidade média entre 3 a 4 m/s no primeiro semestre do ano, influenciado pela presença da ZCIT, no segundo semestre do ano, os ventos tem direção SE e ESE com médias de velocidade entre 4 a 5 m/s (MEIRELES, SILVA & THIERS, 2006).

A orientação dos ventos e sua velocidade têm influência direta na formação e manutenção dos campos de dunas. Durante o primeiro semestre do ano com a diminuição dos ventos, as dunas migram de forma mais lenta, e nas dunas fixas o processo de edafização acontece de forma mais acelerada por conta da influência das chuvas e a estabilização das dunas, propiciando o acúmulo de sedimentos. No segundo semestre do ano quando as chuvas cessam, e os ventos de NE predominam com maior velocidade, as dunas móveis e semifixas atuam de forma mais acelerada no transporte dos sedimentos (MEIRELES, 2012).

As paleodunas, dunas fixas e móveis, se comportam como uma das principais morfologias acumuladoras de água subterrânea. Isso se dá pelo fato das dunas representarem depósitos arenosos com alto poder de infiltração da água pluvial.

Foi estimado para os campos de dunas da RMF (Região Metropolitana de Fortaleza) uma reserva de água de $55,0 \times 10^6$ m³/ano (BIANCHI et al, 1984). Alguns estudos trazem que o aquífero dunar compreende uma área de 1.100 km², a recarga do aquífero está

totalmente ligada ao regime pluviométrico (MOTA, 2005). A profundidade média do nível freático na área do Pecém, onde podemos trazer como exemplo para a área de estudo por conta da proximidade está entre 4,9m até 31,8m (TEIXEIRA & LOUSADA, 2013).

Além das águas subterrâneas são encontradas na região as lagoas interdunares que estão associadas às chuvas e à recarga do lençol freático, onde no primeiro semestre do ano essas lagoas estão cheias, fazendo parte do sistema de drenagem, alimentando alguns rios ou como no lagamar do Cauípe, rompendo os cordões de areia na faixa de praia e fazendo contato direto com a água do mar. No segundo semestre do ano essas lagoas secam completamente ou ficam com o nível baixo, perdendo o contato com a água salgada.

Os solos encontrados nesse setor de dunas e paleodunas são os Neossolos Quartzarênicos, e sedimentos quartzosos inconsolidados de acordo com o mapeamento feito por Jacomine (1972) e a folha do IBGE. A formação de solos nessa região foi proporcionada por conta da estabilização das dunas pela fixação por vegetação, e assim, o acúmulo de matéria orgânica. No decorrer dos anos os solos vão passando por processos de edafização e assim tornando-se mais profundos.

A vegetação encontrada na área é chamada comumente de vegetação de restinga, em sua maior parte de porte herbáceo e arbustivo e alguns exemplos de porte arbóreo, as espécies encontradas são: hortênsia, cajueiro, salsa, salsa da praia, capim açu, cansanção, leiteira e murici (CASTRO, MORO & MENEZES, 2012).

11.7 Depósitos aluviais – Planície Fluvial

As principais drenagens de Caucaia que são os rios Ceará, Cauípe e Juá, fazem parte da Bacia Metropolitana.

Depósitos Aluviais são sedimentos predominantemente por areias, cascalhos, argilas e siltes, que foram depositados pelos rios, sedimentos lacustres e estuarinos. Nas áreas de terreno cristalino os sedimentos encontrados nos depósitos aluviais têm granulometria mais grossa enquanto nas planícies de inundação próximo ao litoral, esses sedimentos são mais finos.

Nas planícies fluviomarinhas são encontradas algumas características de processos com agentes fluviais e marítimos (SOUZA, 2000). Nas lagoas são encontrados materiais pelíticos e grande quantidade de matéria orgânica.

Nas áreas das planícies fluviomarinhas são encontrados sedimentos mais siltico-

argilosos e ricos em matéria orgânica. O contato da água doce com água marinha constantemente faz com que haja a floculação de argilas, possibilitando a um ambiente propício a fixação de mangue (BRANDÃO, 1995).

Os vales das planícies fluviais em Caucaia têm o mesmo comportamento dos vales dos grandes rios do Estado. Suas nascentes encontram-se nos maciços residuais, nas superfícies de aplainamento os vales tem larguras quase que inexpressivas, e vão alargando e formando as planícies quando encontram a Formação Barreiras.

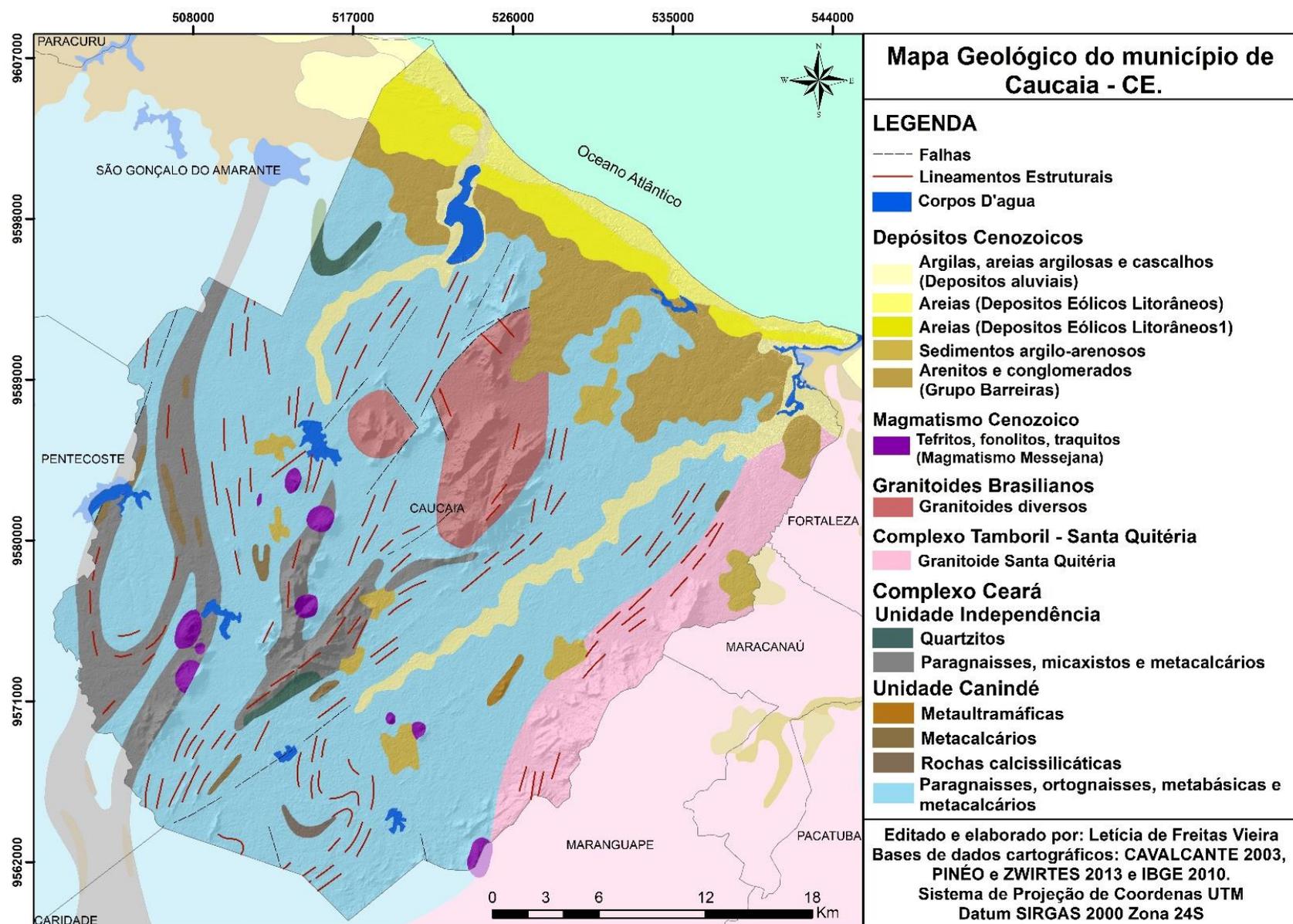
Nas planícies fluviais são encontrados solos do tipo Planossolo Nátrico, que são mediamente profundos e de textura majoritariamente argilosa e em alguns pontos, pode apresentar problemas de salinização. Encontram-se manchas de Neossolos flúvicos mais próximos dos rios, que são oriundos dos sedimentos depositados pelo mesmo, em maior parte são sedimentos argilosos, siltosos e arenosos. Por conta da localização são mais utilizados para agricultura e irrigação (PEREIRA & SILVA, 2005).

As condições climáticas dessas áreas serão as mesmas da superfície de aplainamento e com pequenas alterações quando os rios chegam mais próximo ao litoral. O regime de chuvas vai influenciar diretamente nas condições ambientais dos vales fluviais. No primeiro período do ano com a atuação da ZCIT, o aporte hídrico fica maior, aumentando a vazão dos rios, ao fim da quadra chuvosa no setor mais seco e de rochas do embasamento cristalino os rios secam. No setor dos tabuleiros e planícies por conta da geologia sedimentar, os rios ainda conseguem manter água por mais tempo, por conta da infiltração e o sistema de aquíferos.

Por razões de maior disponibilidade hídrica, as planícies fluviais comportam uma vegetação diferenciada das outras áreas, são encontradas formações vegetacionais semicaducifólias ou perenes, com preponderância de carnaubais (MENEZES, ARAÚJO E ROMERO, 2014).

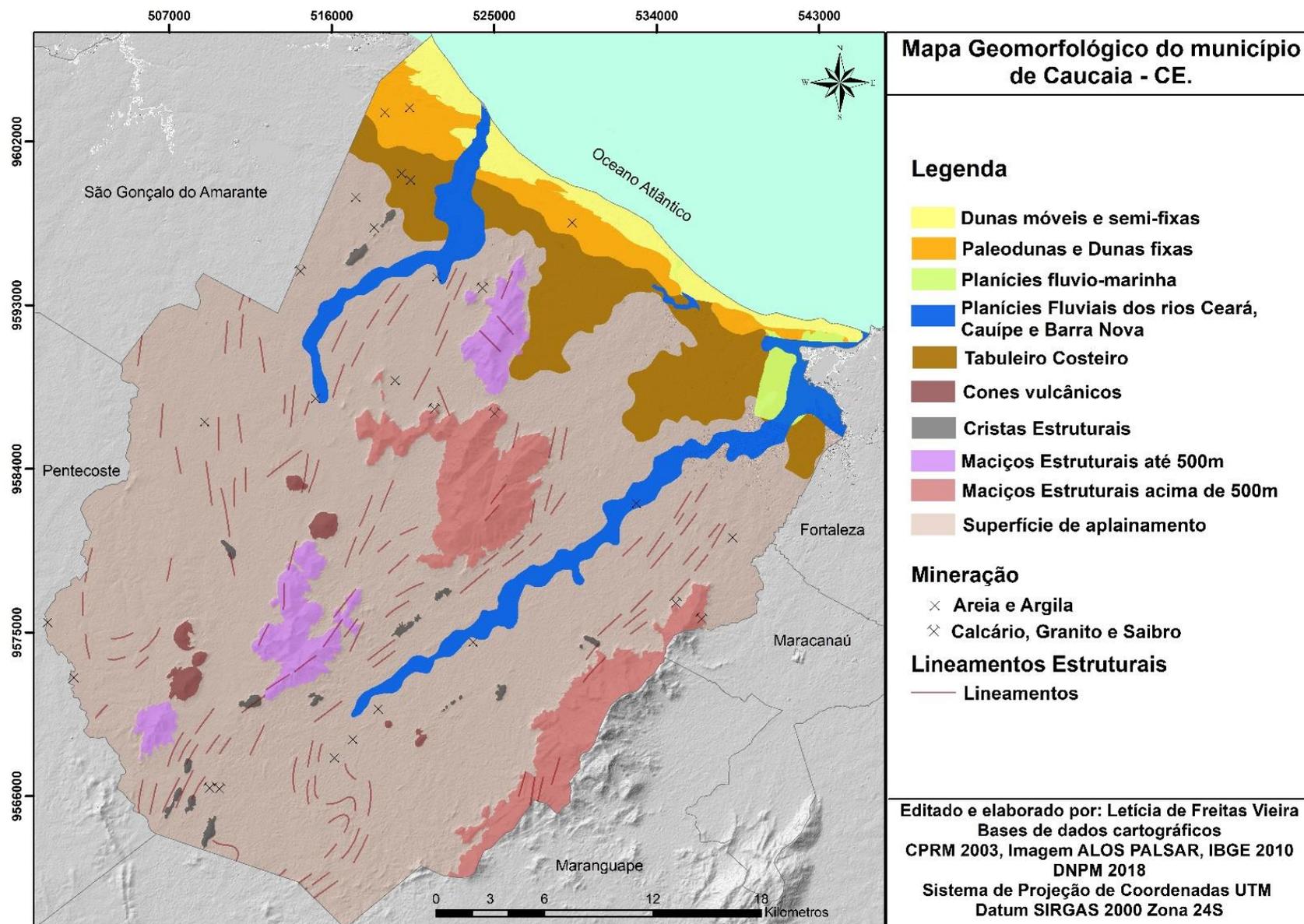
Nos setores fluviomarinhas, por conta da influência marinha, a vegetação de mangue apresenta um porte mais arbustivo, com características adaptáveis às condições ambientais, como raízes suportes, ou pneumatóforos (raízes que absorvem oxigênio do ar). As espécies encontradas são: mangue preto (siriúba ou canoé), mangue vermelho, mangue branco e mangue botão (PEREIRA & SILVA, 2005).

Figura 5 – Mapa Geológico do município de Caucaia – CE



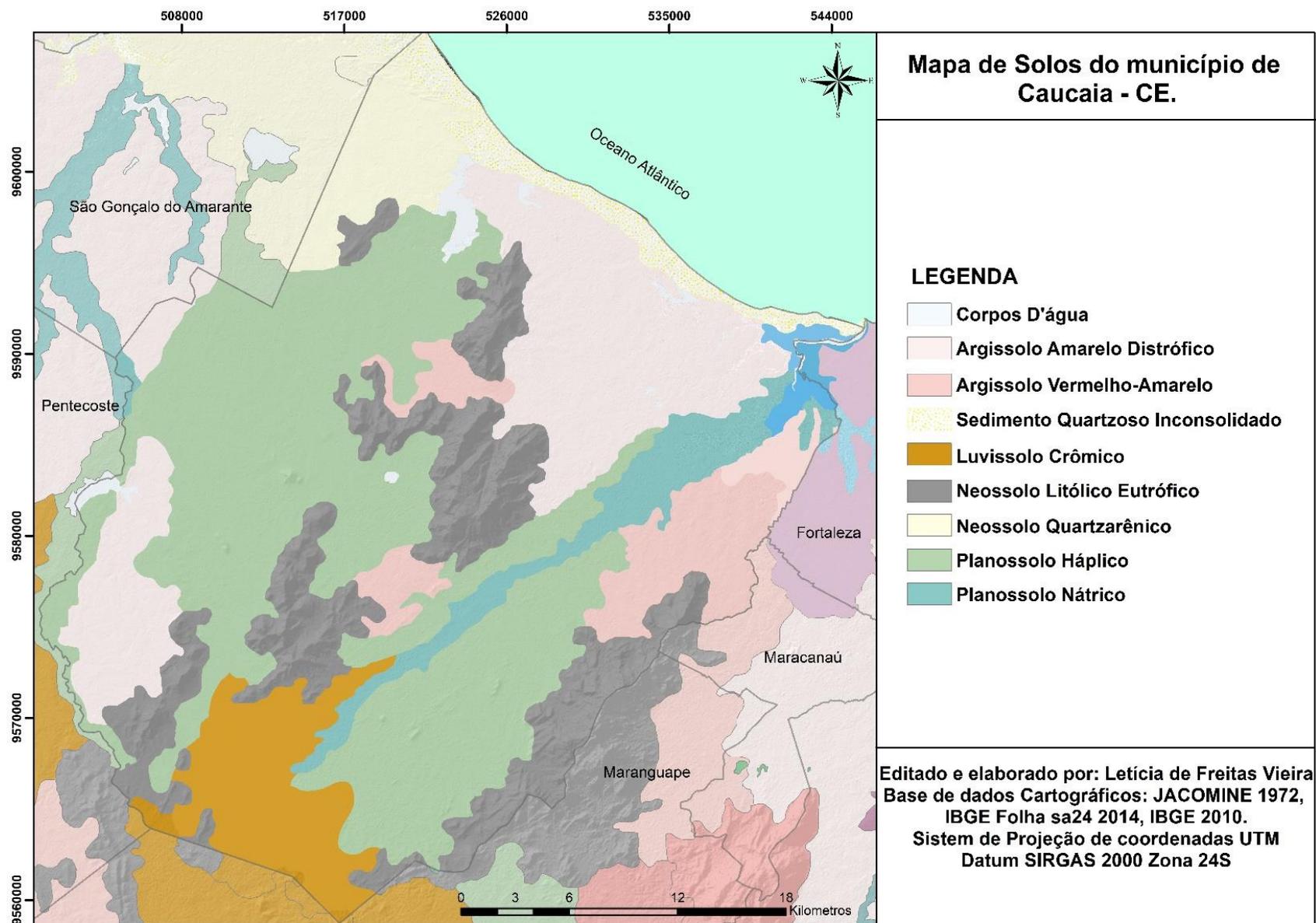
Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 6 – Mapa Geomorfológico do município de Caucaia – CE



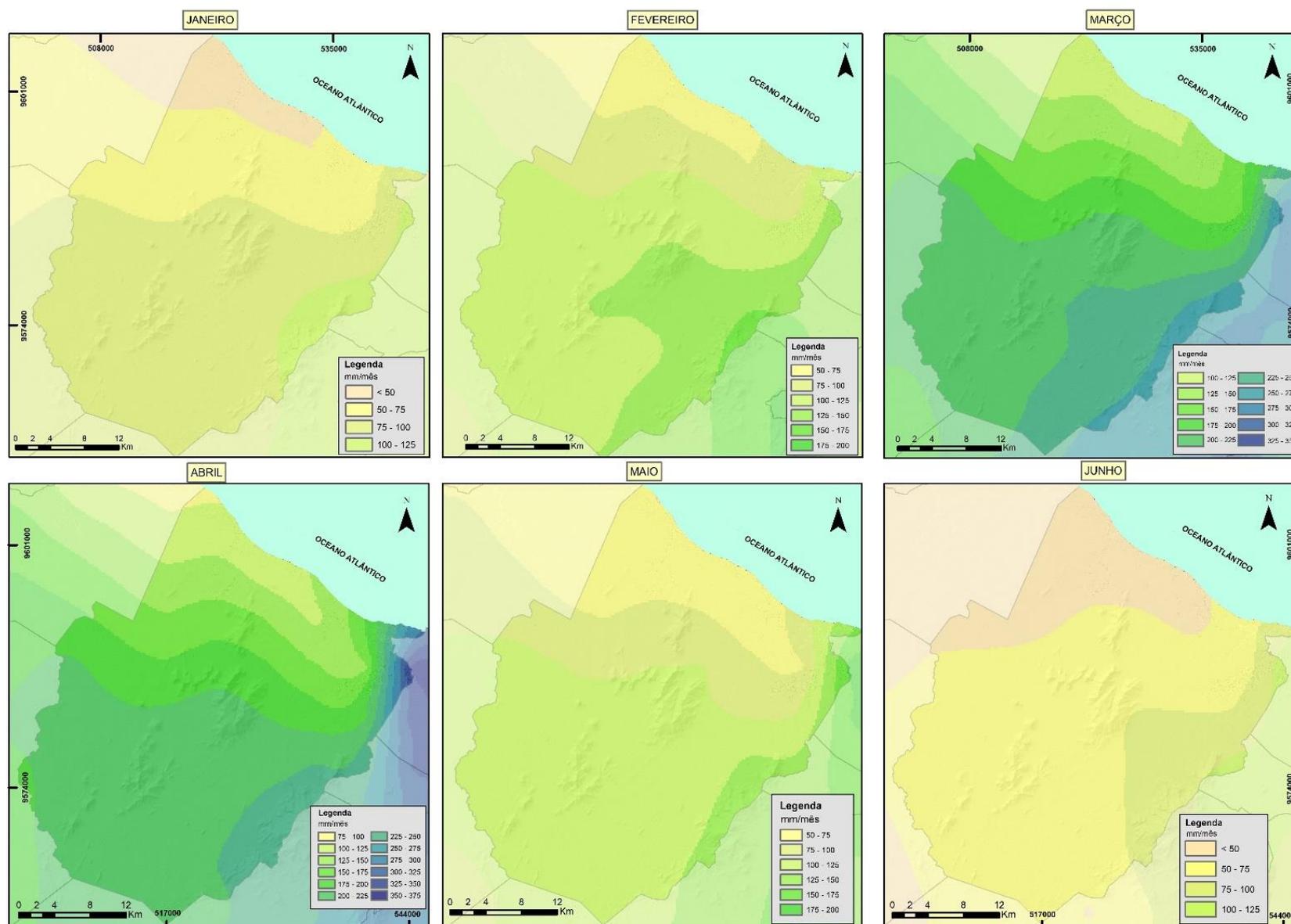
Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 7 – Mapa de Solos do município de Caucaia – CE



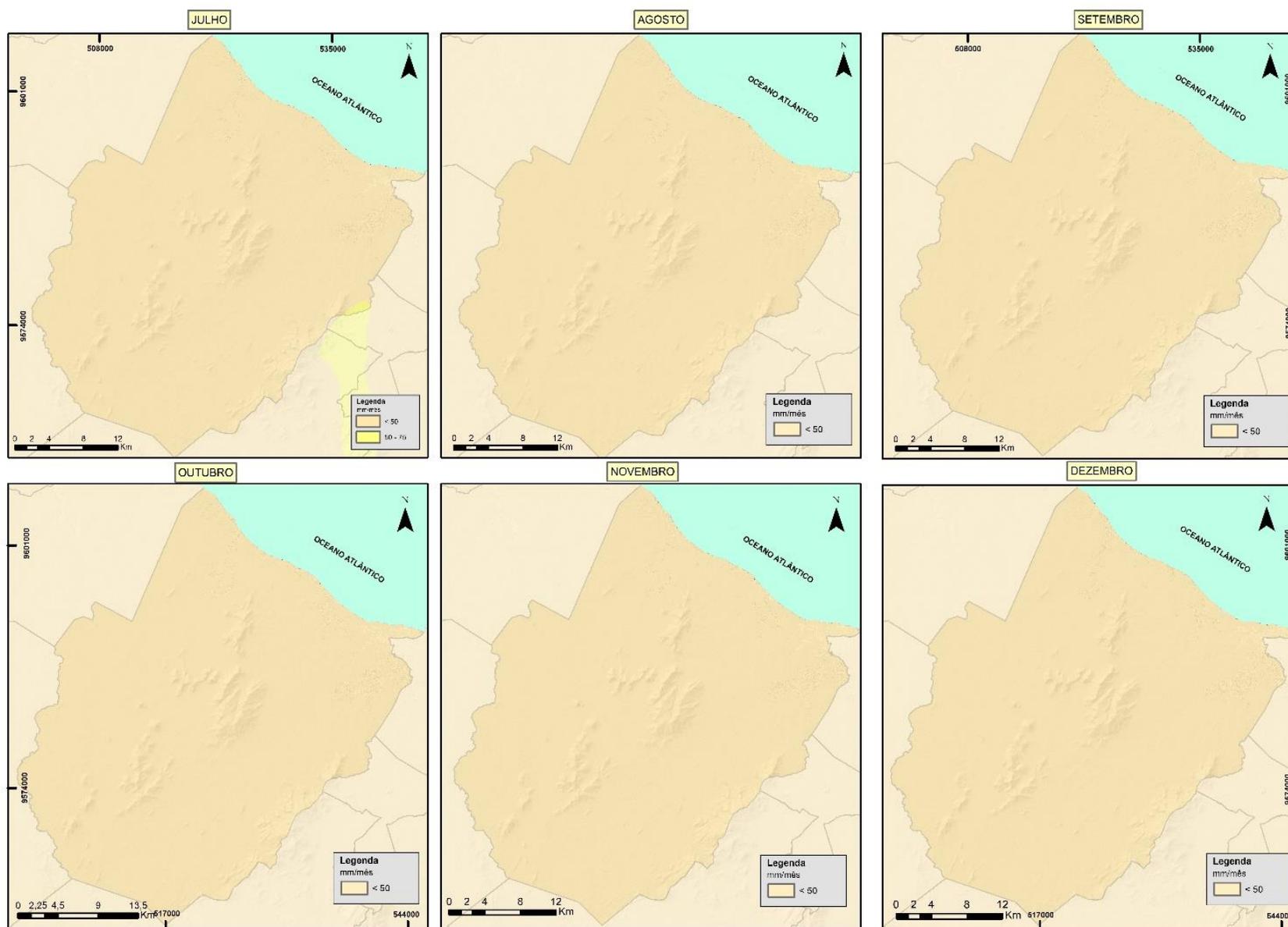
Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 8 – Mapa de precipitação dos meses de janeiro a junho do município de Caucaia – CE



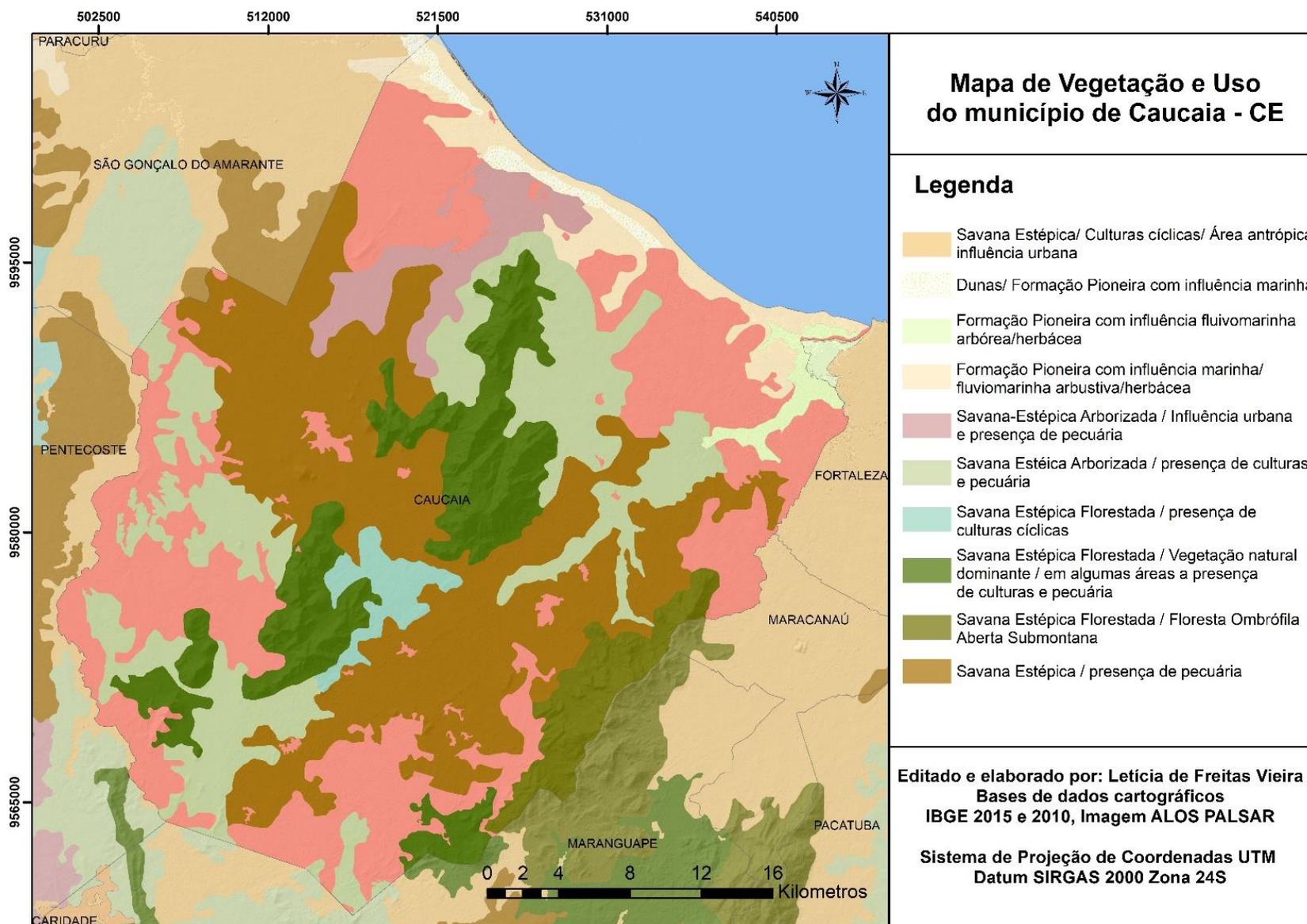
Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 9 – Mapa de precipitação dos meses de julho a dezembro do município de Caucaia – CE



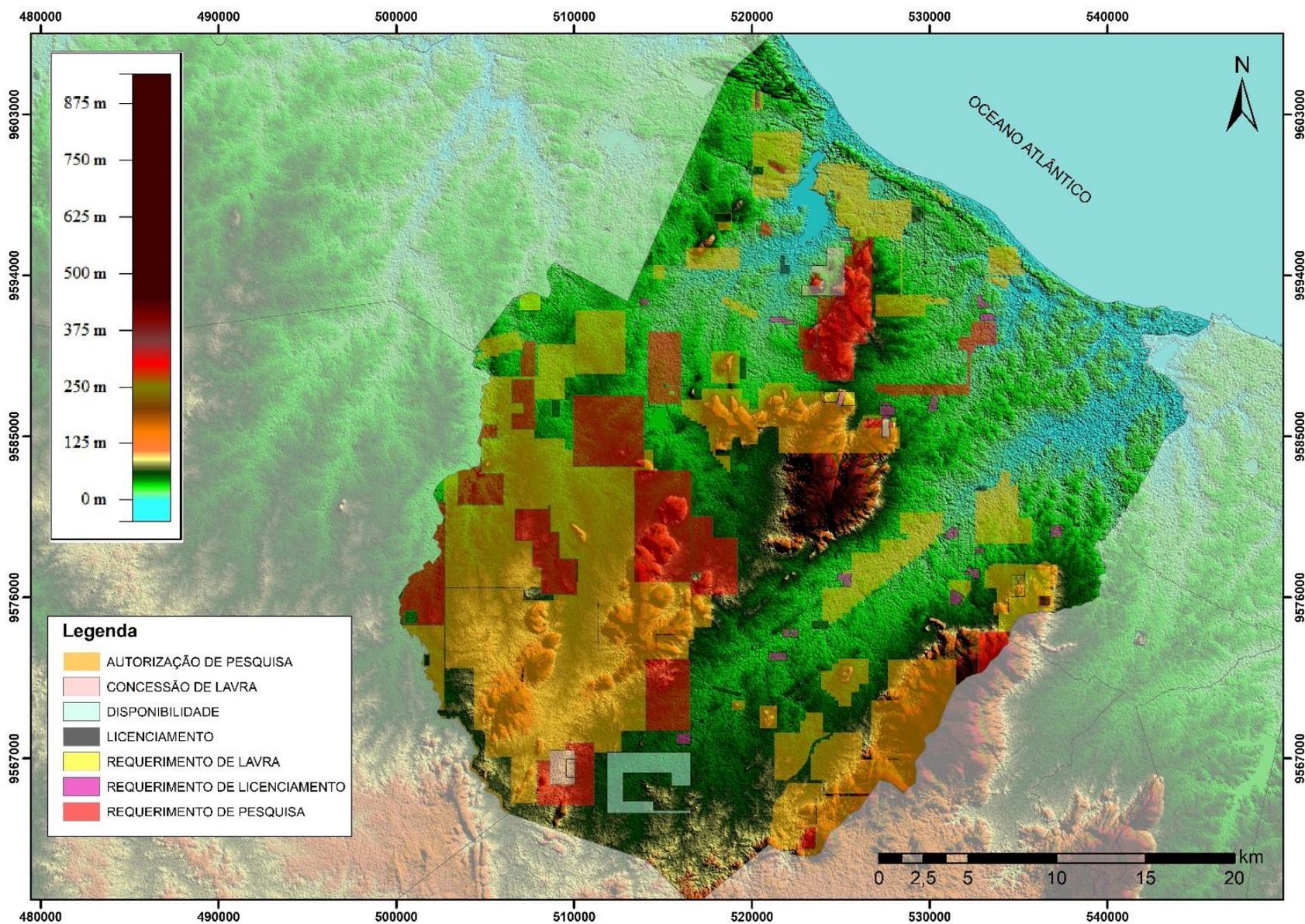
Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 10 – Mapa de Vegetação e Uso do município de Caucaia – CE



Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 11 – Mapa de declividade com as poligonais de áreas de fase de mineração do município de Caucaia – CE



Fonte: Elaborado pela autora.

12 IMPACTOS AMBIENTAIS OCASIONADOS PELA MINERAÇÃO

Os impactos ambientais são um dos principais resultados que todo empreendimento minerário terá, serão impactos positivos e negativos, onde em sua maioria estão relacionados com conflitos socioterritoriais, conflitos ambientais, má gestão do território por parte do poder público e falta de investimento do setor privado em novas tecnologias para extração mineral.

Esses impactos acompanham a atividade desde o início para a instalação do empreendimento, durante o funcionamento e após o encerramento da atividade, quando e muitas das vezes o local fica abandonado. Alguns dos impactos acontecem isoladamente nessas fases, enquanto outros impactos ficam presentes durante todas as fases do empreendimento (BACCI; LANDIM; ESTON, 2006).

Por conta do modelo capitalista e consumista que nossa sociedade está inserida, a atividade de mineração, principalmente dos agregados para a construção civil torna-se importante e indispensável para abastecer as necessidades do capital. Ferreira & Monteiro (2012) afirmam que deve existir a responsabilidade das empresas de mineração nas tomadas de decisões na tentativa de compatibilizar a atividade mineraria e sustentabilidade socioambiental em todas as fases da atividade.

A tendência internacional pela ecoeficiência, obtenção de resultados econômicos aliados à obtenção de ganhos ambientais, vale ressaltar que algumas empresa no setor de mineração buscam pela ecoeficiência através de inovação tecnológica, principalmente nas de extração de desmonte de rocha, o interesse das empresas nos avanços tecnológicos são voltados para um melhor rendimento da lavra em si e evitar acidente ambientais e sociais que são prejudiciais para o empreendimento (SANCHEZ, 2015).

O impacto ambiental mais evidente e que é o “*start*” para outros impactos é na questão paisagística, tanto nas lavras em céu aberto que ocorrem nos maciços, como nas lavras em forma de cava que ocorrem nas proximidades de rios e lagoas. Além de deixar a atividade em evidência, o impacto paisagístico reflete de forma negativa para a sociedade trazendo desconforto visual, auditivo e ambiental.

Essa forma de extração a céu aberto promove diretamente outros impactos associados, como: desmatamento, diminuição da biodiversidade, instabilidade geotécnica, contaminação dos rios a jusante e contaminação do lençol freático. De forma indireta pode trazer alterações no clima local, conforto térmico e problemas de saúde para as comunidades próximas (DIAZ & SANCHEZ, 1999).

Algumas das alternativas encontradas para minimizar esses impactos são: estudos ambientais voltados para o zoneamento de áreas propícias ou bloqueadas para a mineração, gerenciamento e ordenamento territorial levando em consideração as nuances sociais e econômicas, medidas mitigadoras para os impactos ambientais já ocorridos e que podem vir a ocorrer, e por fim, a elaboração e execução do Plano de Recuperação de Áreas Degradadas (PRAD) ao término da atividade.

12.1 Impactos ambientais decorrentes da extração de areia

A extração de areia em Caucaia acontece no método a céu aberto e nas áreas de dunas fixas, paleodunas e nos vales dos rios. Todas as extrações de areia são para uso direto na construção civil, sendo assim, todas tem outorga do tipo licenciamento. Foram encontradas em campo algumas áreas que não possuem licenciamento e áreas onde a licença já havia expirado e não houve pedido de renovação, mas a atividade continuava acontecendo. Nessa pesquisa será discutido os impactos específicos de extração de areia em dunas fixas e paleodunas.

O primeiro impacto ambiental detectado visualmente é o desmatamento, que está associado na fase de implantação do empreendimento. Sempre que se planeja novas frentes de lavras num mesmo empreendimento, a supressão da vegetação deve ocorrer para só depois retirar as camadas do solo e então começar os processos de extração dos minerais (Figura 12).

Figura 12 – Área desmatada em extração de areia, ao fundo, presente da vegetação remanescente (2017)



Fonte: Elaborado pela autora.

A retirada dessa vegetação causa problemas ambientais sérios como, afugentamento da fauna local, perda da biodiversidade, alteração no clima local e problemas sociais, pois essas áreas servem de local para as comunidades próximas que a utilizam como subsistência, catando lenha e colhendo frutos.

Após a retirada da vegetação começa o processo de retirada da camada de solo. No caso de extração em dunas, o solo é superficial, tendo duas camadas, os sedimentos inconsolidados que estão em processo de edafização e a camada orgânica (Figura 13).

Figura 13 – Camada de solo sendo retirada. Sendo possível verificar restos de árvores e raízes que foram suprimidos (2017)



Fonte: Elaborado pela autora.

A extração desse material é feita por retroscavadeiras e pás mecânicas, esse solo é alocado em áreas próximas, onde ao termino da extração, o solo deve ser realocado na tentativa de restaurar o ambiente, porém, esse tipo de ação quase sempre não é feita, ficando esse material exposto e a cava aberta, acarretando em outros problemas ambientais.

Após o início das escavações para a retirada do material o lençol freático começa a aflorar, isso se dá pelo fato de na zona litorânea, o aquífero está muito próximo da superfície por conta da alta recarga que recebe (Figura 14).

Figura 14 – Afloramento do lençol freático por conta das escavações em extração de areia (2017)



Fonte: Elaborado pela autora.

O problema se dá pelo fato de que a área, localiza-se em região de maior potencial em termos de reserva de aquífero, e a exposição desse aquífero pode desencadear em vários problemas, como a poluição da água através do maquinário do empreendimento e a alteração química do aquífero por meio da água exposta à atmosfera. De acordo com Marques (2011), a mineração de areia por método de drenagem, ocasiona na exposição do lençol freático e o rebaixamento do mesmo, proporcionando à área ficar exposta e sujeita a evaporação.

Na foto a seguir é possível verificar o tamanho de uma área que é degradada pela extração e o afloramento do lençol freático.

Figura 15 – Imagem aérea de extração de areia (2017)



Fonte: Elaborado pela autora.

A contaminação do lençol freático no sistema dunas/paleodunas acontece por conta das escavações atingirem o nível do lençol, e assim expondo o aquífero. A exposição desse aquífero pode desencadear em vários problemas, como a poluição da água através do maquinário do empreendimento e a alteração química do aquífero por meio da água exposta à atmosfera (MARQUES et al 2008; TUBBS, 2011).

Esse sistema freático conhecido como sistema dunas/paleodunas tem uma importância grande pois é bastante utilizado, no período seco, onde os reservatórios de água secam, o aquífero é aproveitado para captação de água das comunidades por meio de poços profundos, e também é utilizado pelo Estado para o abastecimento das indústrias no Complexo Industrial e Portuário do Pecém.

Cavalcante (1998), evidencia que o sistema dunas/paleodunas é altamente susceptível à poluição. Os maiores impactos são causados pela evaporação, colaborado exatamente por áreas naturalmente sub-aflorantes, e, no pior dos casos, por áreas, onde esse aquífero foi exposto por conta das ações antrópicas, o que é no caso a extração de areia em dunas fixas, paleodunas e leitos de rios.

A recarga do aquífero é predominantemente fomentada pela água da chuva, isso significa que, durante o período chuvoso, o armazenamento dessa água no solo é saturado, muitas vezes, extrapolando e formando lagoas temporárias. Durante o período seco, os índices de insolação aumentam, a evaporação se potencializa, ocasionando no ressecamento dessas lagoas e dos aquíferos sub-aflorantes e aflorantes.

Outro impacto ambiental é a alteração morfológica da paisagem (Figura 16), as

escavações para a retirada da areia alteram o ambiente, tirando o modelado da paisagem natural, e deixando muitas vezes em forma plana ou grandes buracos que prejudicam o ambiente local trazendo problemas de geotécnia como deslizamentos, e alteração ecossistêmica afetando a fauna, flora e as pessoas que moram e usufruem do local.

A extração de areia nesse ambientes devem a cada vez mais investir em tecnologias mais avançadas na tentativa de diminuir esses impactos. Esse bem mineral ainda é bastante consumido e importante para o desenvolvimento das cidades, por outro lado, os impactos ambientais causados por essa atividade são em maioria negativos.

Figura 16 – Alteração morfológica causada pelas escavações (2017)



Fonte: Elaborado pela autora.

Através da Avaliação de Impactos Ambientais foi possível encontrar diversos impactos positivos e negativos, nesse momento, a metodologia de *check-list* foi utilizada para elencar de forma mais prática os impactos durante os trabalhos de campo. Em seguida são encontrados os impactos positivos e negativos ao meio ambiente e a sociedade encontrados nas atividades de extração de areia em dunas móveis e paleodunas.

Impactos Positivos

- Oferta de empregos diretos e indiretos;

- Aumento na dinâmica da economia local;
- Mais disponibilidade de agregados da construção civil no mercado, barateando o valor e se tornando mais acessível para a população;
- Arrecadação de tributos;

Impactos Negativos

- Retirada da vegetação, afetando o habitat natural da fauna local e migrante;
- Estresse da fauna silvestre por conta da mudança do habitat e presença de humanos com maquinários;
- Retirada do solo, compactação do solo e danos a microbiota do solo;
- Mudança topográfica da paisagem;
- Afloramento do lençol freático, causando a contaminação do aquífero e, por conseguinte, a evaporação;
- Diminuição na qualidade de vida dos moradores nas comunidades próximas à extração por conta do barulho e a contaminação do ar pelas partículas liberadas na extração;
- Probabilidade de, ao final da extração, a área minerada não passar pelos processos de recolocação do solo retirado e de reflorestamento, provocando um impacto ainda maior.

12.2 Impactos ambientais decorrentes da extração de brita

Como já dito anteriormente, a extração de granitos e gnaisses encontrados nos maciços de Caucaia é responsável por mais da metade da extração de brita da Região Metropolitana de Fortaleza. Os impactos ambientais encontrados nessa atividade são relacionados à técnica de extração, explosão e britagem da rocha. Alguns impactos são semelhantes com os impactos causados pelas extrações de outros materiais e tendo também tipos de degradação que é causada somente por esse tipo de extração.

Tanto na extração para pedra britada como na extração para rochas ornamentais, os impactos são os mesmos. Na fase inicial da frente de lavra, o desmatamento e a retirada dos solos são os primeiros impactos visualmente detectados e sentidos.

O planejamento das jazidas deve compreender operações planejadas e dimensionadas utilizando-se de tecnologias visando a exploração mineral de forma eficaz de acordo com as características da jazida, otimizando o resultado econômico e permitindo

possibilidades na diminuição dos impactos ambientais (ANDRADE, 2014).

O desmatamento é originado pela necessidade de se retirar o solo, para começar a extração na jazida (Figura 17). O impacto da supressão da vegetação tem ligação direta com a perda da biodiversidade, afugentamento e estresse da fauna local, processos erosivos, movimentação de terra e assoreamento de drenagens a jusante.

Figura 17 – Nova frente de lavra sendo preparada. Primeiro passo é fazer a supressão da vegetação para fazer planejamento das bancadas da extração (2018)



Fonte: Elaborado pela autora.

Alteração morfológica da paisagem é um impacto negativo que permanece a partir do início das atividades até o encerramento da lavra, a perda da forma e do volume do meio físico torna-se irreversível.

A formação das bancadas para o planejamento da jazida é feita por explosões que causam perturbações geotécnicas, desestabilizando o terreno além os impactos sonoros e geração de poeira impactando de forma negativa a vizinhança. Movimentação de veículos e equipamentos para a retiradas dos minérios ocasionam problemas de compactação do solo acelerando processos erosivos, emissão de gases poluentes, contaminação do solo por meio de óleo e graxas que podem vazar desses equipamentos (Figura 18).

Figura 18 – Extração de brita em forma de bancadas com a presença de tratores e caminhões (2018)



Fonte: Elaborado pela autora.

A perturbação sonora, do ar e visual por material particulado é originado a partir das explosões para desmonte da rocha em blocos, transporte do material, e nos processos específicos de beneficiamento, quando é na britagem da rocha, os impactos são as partículas de poeira em suspensão e transtorno sonoro. Quando é em processo de rochas ornamentais a poluição sonora e do ar acontece durante a serragem dos blocos e resinagem das chapas.

As explosões também contêm o risco de acidente com os funcionários, por isso, todos os funcionários que trabalharem diretamente com os explosivos devem estar equipados com EPI (Equipamento de Proteção Individual) além de terem sempre treinamentos de segurança ao manipular este tipo de artifício.

Na aplicação da Avaliação de Impactos ambientais para a extração de granitos e gnaiesses foi escolhida a aplicação da matriz de interação. A seguir a matriz mostra a relação das etapas do empreendimento minerário com os aspectos e os impactos importantes ou pouco importantes no meio ambiente, comunidade local e na economia (Figura 19).

Figura 19 - Matriz de interação entre os aspectos e os impactos da atividade de extração de brita

ATIVIDADES DA EXTRAÇÃO				LEGENDA:															
EMPREENHIMENTO MINERÁRIO	ESCAVAÇÃO A CÉU ABERTO	DISPOSIÇÃO DE REJEITOS	TRANSPORTE DO MINÉRIO	IMPACTOS AMBIENTAIS															
				CONTAMINAÇÃO E PERDA DA QUALIDADE DO SOLO	REDUÇÃO DA DISPONIBILIDADE DE ÁGUA	REDUÇÃO NA QUALIDADE DA ÁGUA SUBSUPERFICIAL E SUPERFICIAL	DEGENERAÇÃO DA QUALIDADE DO AR	PERDA DE HABITATS	ALTERAÇÃO DE ECOSISTEMAS	IMPACTO VISUAL	POSSÍVEIS DOENÇAS OU MORTES	PERTURBAÇÃO DA VIDA COMUNITÁRIA	DESCONFORTO AMBIENTAL	ECONOMIA LOCAL					
IDENTIFICAÇÃO DOS IMPACTOS																			
 Impactos importantes  Impactos pouco importantes																			
IDENTIFICAÇÃO DOS ASPECTOS																			
 Aspecto significativo  Aspecto pouco significativo																			
				Recrutamento de mão de obra															
				Demanda de bens e serviços															
				Aumento da disponibilidade do agregado no mercado															
				Alteração topográfica															
				Degradação do solo															
				Remoção da cobertura vegetal															
				Modificação do Habitat															
				Alteração da água subterrânea															
				Material particulado															
				Infiltração do solo															
				Extração de minério															
				Ruído e vibrações															

Fonte: Elaborado pela autora.

13 VULNERABILIDADE NATURAL

A vulnerabilidade natural de um ambiente está relacionada com as potencialidades e limitações do meio físico e biótico. Quando utilizamos uma análise na escala municipal, essa vulnerabilidade é trabalhada com mais especificidades, podem ser incluídos fatores mais dinâmicos e específicos de cada ambiente de forma mais objetiva.

Em Caucaia o estudo da vulnerabilidade natural foi realizado através dos estudos dos sistemas ambientais isoladamente e depois de forma holística, analisando os fluxos de matéria e energia entre os fatores ambientais.

As potencialidades de um ambiente estão relacionadas em resumo aos aspectos do meio físico como, o grau de dureza de uma rocha, ao um tipo de solo ser mais fértil e desenvolvido, um relevo mais plano, pouca variabilidade climática e chuvas bem distribuídas, além de um corpo vegetacional mais denso.

Já a limitação de um ambiente é associada a forma como o ambiente responde as adversidades e sua capacidade de suporte ao uso e a ocupação ou a catástrofes.

A condição ecodinâmica dos ambientes na relação das características ambientais e capacidade de suporte é determinada pelo balanço entre morfogênese e pedogênese. A classificação feita em ambientes estáveis, instáveis e de transição determinam os valores de um ambiente vulnerável que pode ser subdividido em baixa, muito baixa, moderada a forte e muito forte.

De acordo com Tricart (1977) a classificação da ecodinâmica deve ser feita da seguinte forma: **Ambientes Estáveis** – vulnerabilidade será baixa ou muito baixa tendo a estabilidade do relevo em forma plana ou suave ondulada, solos bem desenvolvidos e cobertura vegetal de porte grande. **Ambientes de Transição** – vulnerabilidade ficará entre moderada a forte e tendo ações simultâneas dos processos morfogenéticos e pedogenéticos. Quando predominar a morfogênese indicará a tendência a vulnerabilidade forte, quando predominar a pedogênese, a vulnerabilidade irá direcionar a vulnerabilidade estável. **Ambientes Instáveis** – vulnerabilidade forte ou muito forte onde a morfogênese atua de forma intensificada, relevos dissecados e vertentes com grau de inclinação alto, condições climáticas agressivas, vegetação de pouco porte e solos erodidos ou pouco desenvolvidos.

Na aplicação dos índices da vulnerabilidade natural foi possível identificar uma tendência do meio natural a ser resiliente aos processos e impactos que vem recebendo de forma gradativa durante todo esse tempo de ocupação humana.

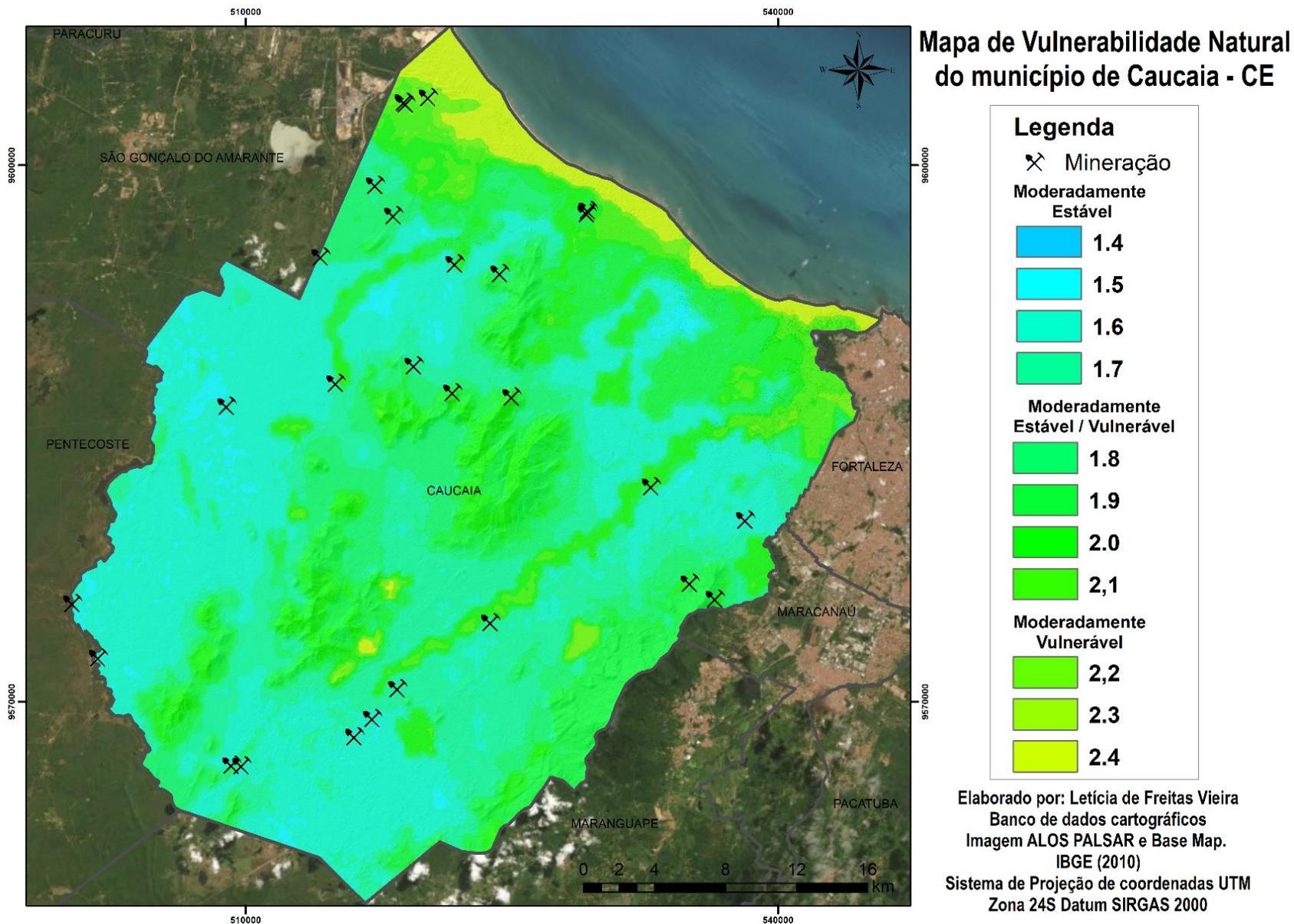
Em Caucaia e na Região Metropolitana de Fortaleza já foram realizados diversos

mapeamentos com o intuito de trabalhar a vulnerabilidade natural e socioambiental e em todos eles os resultados são bem parecidos. A diferenciação fica entre o método escolhido e a escala. Além de que cada pesquisador tem um olhar geográfico diferente sobre a paisagem.

Após a análise da vulnerabilidade com os locais de extração mineral foi possível verificar que grande parte dos processos minerários encontram-se em áreas de vulnerabilidade estável a modernamente vulnerável. Poucas dessas áreas são encontradas em ambientes moderadamente vulnerável, elas são representadas pelas atividades de extração de areia e argila que por conta da rigidez locacional são encontradas somente em ambientes onde a vulnerabilidade terá graus mais altos.

No mapa a seguir pode-se observar os resultados da aplicação dos índices. Como dito na metodologia, os critérios foram utilizados de acordo com Crepani (1996) onde encontrou classes que vão entre vulnerabilidade moderadamente estável a moderadamente forte.

Figura 20 – Mapa de Vulnerabilidade Natural do município de Caucaia – CE



Fonte: Elaborado pela autora.

13.1 Ambientes Modernamente Estáveis

Os locais onde o resultado mostrou ambientes com vulnerabilidade moderadamente estável são os locais onde podemos encontrar as mesmas características definidas por Tricart (1977).

Geologicamente esses ambientes estão no domínio das rochas pré-cambrianas do Complexo Ceará encontrados em sua maioria rochas do tipo gnaisses, quartzitos, metacalcários e granitos onde são litologias onde o grau de dureza e resistência das rochas ao intemperismo é mais alto.

O relevo é compreendido pela superfície de aplainamento onde predomina relevo bastante aplainado e pouca diferença altimétrica, as cotas ficam entre 50 a 100 metros de altitude.

Os solos correspondidos nesse ambiente são os planossos háplicos que são solos com bom desenvolvimento, tem um grau de fertilidade bom, porém tem deficiências físicas que dificultando o manejo do solo.

O clima é caracterizado por chuvas mais esporádicas e menos intensas, predominando o clima semiárido.

A vegetação como resultado desses fatores tem um pote menos arbóreo tanto pelo fato do clima não propiciar o adensamento da vegetação como pelo uso exacerbado da área.

É sabido que, por mais que todos os fatores tenham o mesmo peso, por conta da maior espacialidade a geologia o relevo e os solos fizeram com que nessa área os resultados ficassem entre 1.4 a 1.7 de vulnerabilidade. Determinando assim um ambiente mais estável e com mais potencial para receber atividades exploratórias.

13.2 Ambientes Moderadamente Estável/Vulnerável

Os ambientes classificados como moderadamente estáveis ou vulneráveis são correspondentes aos ambientes de transição que Tricart escolheu para delimitar as áreas onde momentos havia preponderância da pedogenese e em outros momentos havia preponderância da morfogênese ou então são áreas difíceis de identificar qual processo atua no ambiente.

Em Caucaia esses ambientes estão localizados em sua maioria nos maciços

estruturais, percebe-se uma graduação suave no tom de cor indicando que na base dos maciços o grau de vulnerabilidade é mais baixo, e de acordo com a elevação do maciço o tom de verde vai ficando mais quente indicando um aumento no valor da vulnerabilidade. Nesses ambientes, a geologia com rochas graníticas favorece para a erosão atuar de forma moderada.

Os solos das áreas moderadas são os Neossolos Litólicos que são solos pouco desenvolvidos e com erodibilidade mais acentuada.

A vegetação pioneira encontrada é de porte grande nas vertentes barlavento dos maciços e a sotavento uma vegetação com porte reduzido. Nessas áreas há presença de agricultura e pecuária que degradam a vegetação facilitando que os processos erosivos aconteçam.

O clima age de forma mais intensa nos maciços por conta da altitude elevada e a proximidade com o oceano. No mapa da precipitação anual é possível verificar a tendência do aumento pluviométrico de acordo com o aumento da cota altimétrica.

A área correspondente aos tabuleiros costeiros e as planícies fluviais resultaram com cores mais fortes indicando um ambiente moderadamente vulnerável, provavelmente por conta do fator geológico de rochas mais frágeis e os sedimentos inconsolidados que predominam nas planícies fluviais e as areias, argilas e conglomerados que compõem o grupo barreiras.

O relevo revelasse na forma mais plana, propiciando a infiltração das águas, colaborando para um ambiente mais estável.

Os solos encontrados são os Planossolos Natricos e Argissolos Vermelho Amarelo, são solos pouco férteis e que não propiciam à formação de vegetação mais densa. A vegetação encontrada é uma vegetação de porte mais arbustivo e mais espaçada. A presença de pecuária e agricultura favorece a desestabilização do ambiente.

Além do mais essas áreas são bastantes ocupadas por moradias, indústrias e mineração, o que torna o ambiente mais susceptível a vulnerabilidade e conseqüentemente degradação.

13.3 Ambientes Moderadamente Vulneráveis

Esses ambientes classificados como moderadamente vulneráveis são

encontrados em algumas áreas específicas do município. Em sua maioria estão localizadas na planície litorânea e nos topos mais altos dos maciços estruturais.

Na planície litorânea é correspondido pela faixa de praia, e os campos de dunas móveis, semifixas e fixas e paleodunas. O grau de vulnerabilidade mais elevado se dá pelo fato de geologicamente serem ambientes onde não há formação de rochas, são encontrados somente sedimentos inconsolidados, o relevo é bastante ondulado e é constantemente remodelado pela ação dos ventos e esses dois fatores influenciam na dificuldade em fixação de vegetação, por isso é encontrada uma vegetação rasteira de influência marinha e os solos são em sua maioria os Neossolos Quartzarênicos.

A resposta dos sistemas ambientais do litoral a vulnerabilidade é de locais onde os fluxos de matéria e energia acontecem de forma constante e dinâmica, impossibilitando a estabilização e o predomínio da morfogênese.

Já nos topos dos maciços estruturais a vulnerabilidade mais elevada é dada pelo fato da declividade e da amplitude altimétrica resultarem em valores altos.

14 ZONEAMENTO AMBIENTAL MINERÁRIO

Para um melhor ordenamento do território onde haja uma conciliação entre o bem-estar social, atividades industriais, serviços, lazer e um ambiente ecologicamente equilibrado para todos é necessário que o planejamento leve em consideração todos esses aspectos.

Como já dito anteriormente, o Ordenamento Territorial é de suma importância para conciliar as demandas sociais e o meio ambiente de forma sustentável para que a nossa geração e as gerações futuras possam usufruir dos recursos naturais de maneira responsável.

No Brasil, as Regiões Metropolitanas em específico, deveriam ter estudos específicos voltados para o planejamento estratégico dessas regiões voltadas ao ordenamento do território e a atividade de mineração. O Plano Diretor de Mineração é uma tendência que algumas regiões metropolitanas já produziram, mas é um número pequeno, é desejável que todas as regiões metropolitanas tenham o Plano Diretor de Mineração ou pelo menos que insiram a atividade de mineração nos planejamentos das cidades.

Para a realização do Zoneamento Ambiental Minerário é necessária a análise de três fatores básicos: a vulnerabilidade do ambiente com as características do meio físico e biótico, o potencial mineral e o uso e ocupação levando em consideração as zonas institucionais. Cada fator desse é levado em consideração suas especificidades e critérios de pontuação que ao final indiquem as áreas propícias ou não a mineração.

A falta de planejamento faz com que os conflitos de muitas áreas com a mineração sejam presentes, afetando a comunidade local, a demanda pelos produtos gerados na mineração e impactos negativos ao meio ambiente. Cabe aos municípios que têm atividade de mineração em seu território planejar e executar de forma disciplinada uma lei do uso do solo que contemple a mineração. Todos sabem que esse tipo de atividade é indispensável para o desenvolvimento humano, das cidades e econômico, e que a atividade de pequena ou de grande impacto vai afetar ao meio ambiente (IPT, 2003).

14.1 Uso e ocupação do solo em Caucaia

No que se refere ao uso e ocupação, foi mapeado em Caucaia os tipos de usos, a vegetação encontradas, área urbanizada, as áreas especiais como, terras indígenas, quilombolas, assentamentos rurais, Área de Preservação Permanente, Unidades de Conservação, rodovias e ferrovias.

No município de Caucaia prevalecem os setores da agricultura de subsistência, indústrias por conta do CIPP, serviços, mineração e turismo. A agricultura é encontrada nas partes sul e oeste do município, algumas culturas menores mais próximas dos centros urbanos e são encontradas também nos maciços estruturais.

Vegetação de porte arbóreo nas áreas mais altas, porte arbustivo nas áreas mais baixas correspondente ao sertão. Vegetação de várzea ocorrem ao longo das planícies fluviais dos rios principais que são Ceará, Cauípe e Juá e vegetação de mangue no estuário do rio Ceará formando o sistema manguezal.

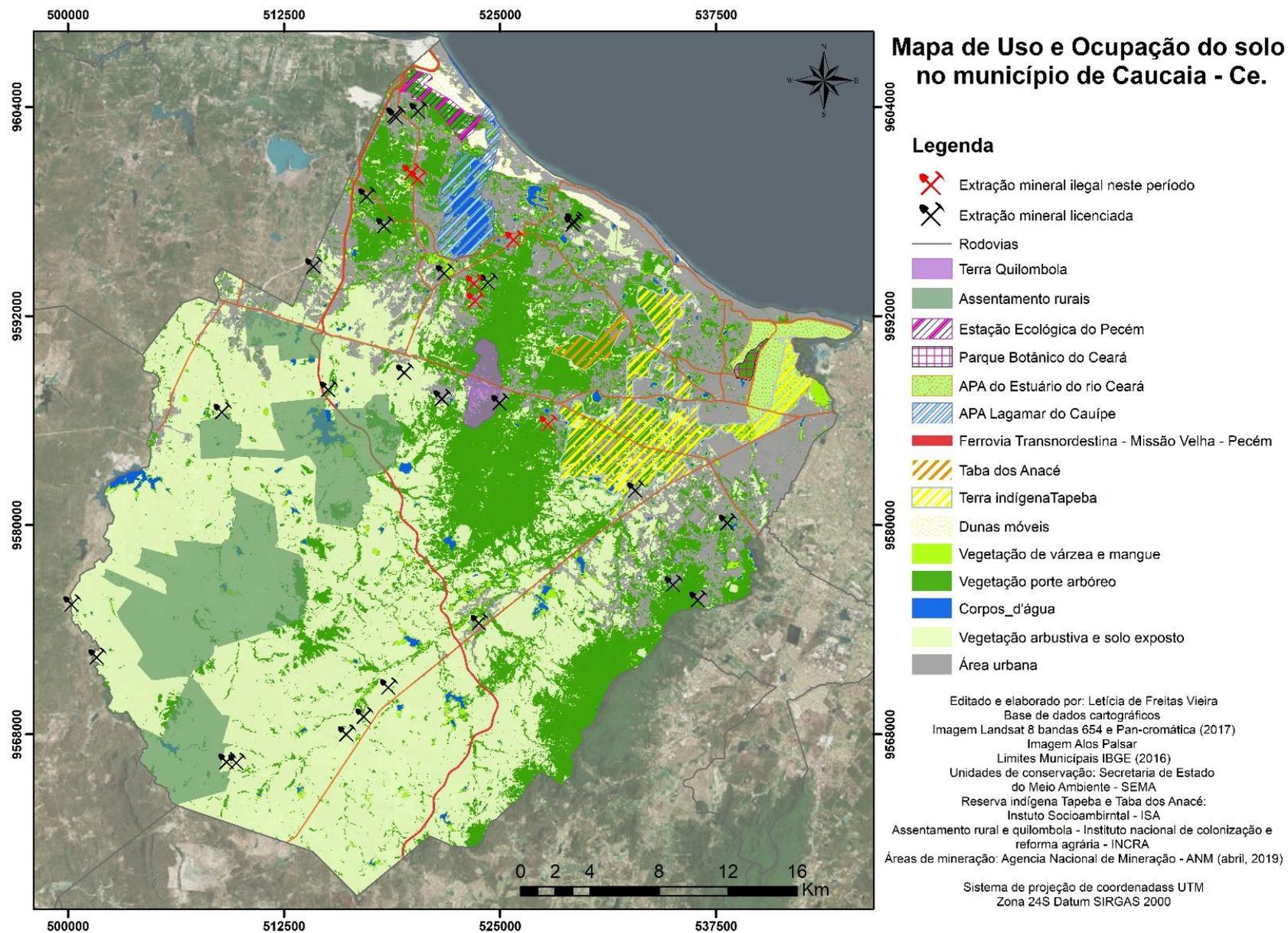
As áreas especiais consistem nas Unidades de Conservação: Área de Proteção Ambiental (APA) Lagamar do Cauípe, APA do Estuário do rio Ceará, Parque Botânico do Ceará e Estação Ecológica do Pecém, essas duas últimas unidades sendo de uso integral e restritivo.

Assentamentos rurais e territórios quilombolas estão presentes no município e as terras indígenas, Tabeba e Anacé.

A grande mancha urbana está presente desde o limite com Fortaleza, e estende-se por todo lado leste da cidade e compreende toda a linha de costa com presença de hotéis e *resorts*. Nessa faixa a pressão da expansão do turismo afastou as atividades de extração de areia para dentro do continente, já que a mesma é poluída visivelmente e não atrativa para turistas.

A seguir o mapa das áreas correspondentes ao uso e ocupação do solo, é possível verificar que as atividades de mineração se concentram nos maciços estruturais, aluviões do rio Ceará e Cauípe e muitas estão sob as paleodunas.

Figura 21 – Mapa de Uso e Ocupação do solo no município de Caucaia – CE



Fonte: Elaborado pela autora.

14.2 Proposta de Zoneamento Ambiental Minerário para Caucaia

Pensando na perspectiva de um planejamento integrado e holístico o Zoneamento Ambiental Minerário recebe todas as informações do município e faz uma integração dos dados com o potencial mineral na tentativa de indicar os melhores locais que a atividade pode exercer de forma que os conflitos do uso do solo sejam mínimos e os impactos ambientais também.

De acordo com as classes do uso e ocupação do solo, vulnerabilidade natural e potencial mineral foram empregadas três classes de 1 a 3 que estão especificadas na metodologia. Após a categorização dos fatores citados anteriormente, é feita uma somatória dos índices empregados e depois uma média em três classes que estão descritas a seguir:

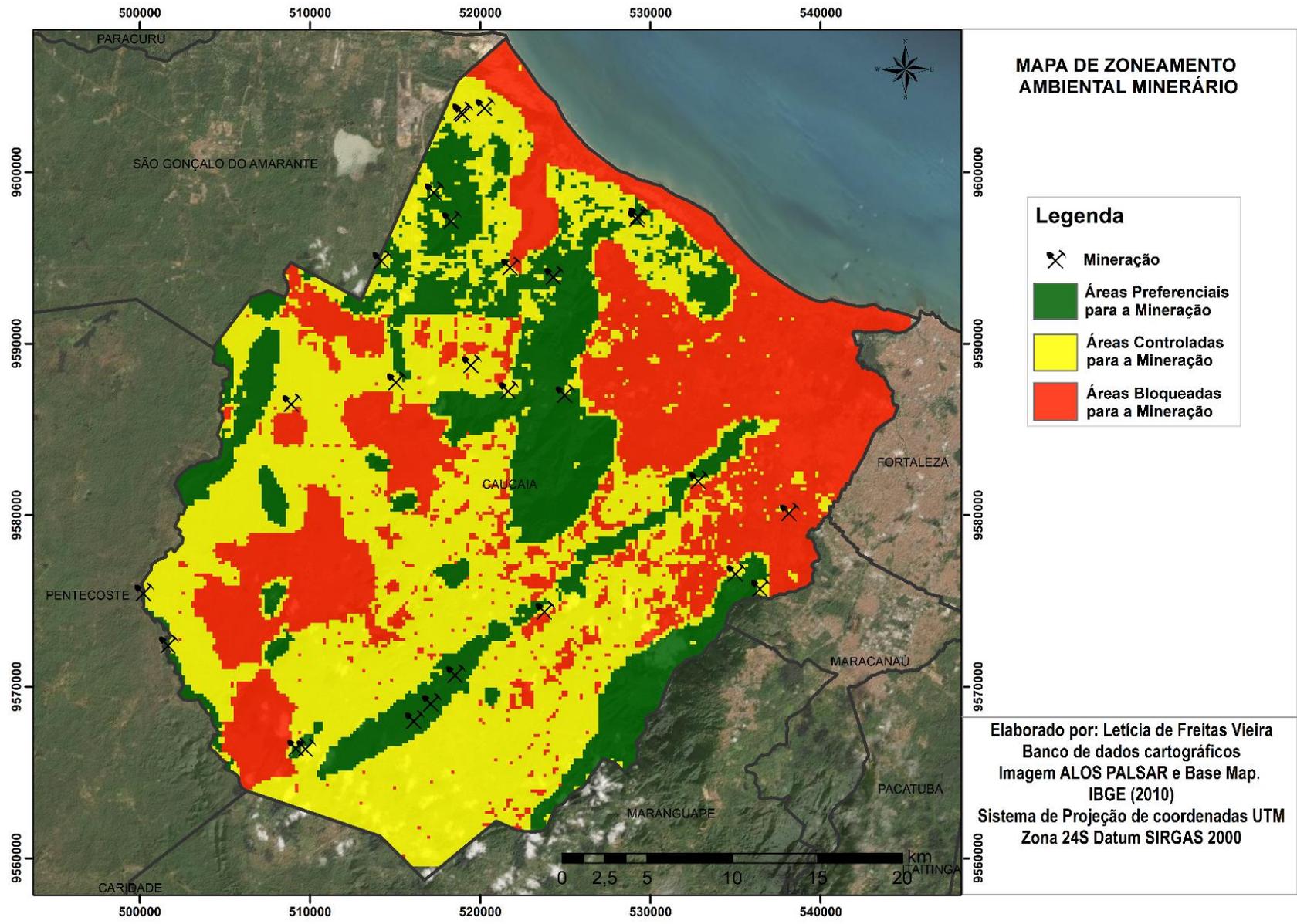
Tabela 8 – Tabela de classificação do Zoneamento Ambiental Minerário.

Zona minerária	Adequação ao local
Zona Preferencial para a Mineração	Áreas adequadas a atividade de mineração visto os aspectos ambientais onde são mais estáveis, áreas onde são encontrados poucos conflitos do uso do solo e com alto potencial geológico para extração.
Zona Controlada para a Mineração	Áreas em que há aptidão geológica para a mineração, mas que existe alguma susceptibilidade do ambiente a ser mais vulnerável ou existe outros tipos de uso que exigem uma atividade de extração mais controlada.
Zona Bloqueada para a Mineração	Área em que a atividade de mineração não pode existir por conta da vulnerabilidade alta do ambiente ou restrições no uso do solo que impossibilitam a atividade.

Fonte: Cabral Junior, Obata, & Sintoni (2003, com adaptações).

A seguir o resultado do Zoneamento Ambiental Minerário após a análise dos dados.

Figura 22 – Mapa de Zoneamento Ambiental Minerário do município de Caucaia – CE



Fonte: Elaborado pela autora.

Tabela 9 – Tabela das áreas do zoneamento e suas descrições

Zona	Área	Descrição
Zona Preferencial para Mineração	258,07km ²	Corresponde a áreas livres de áreas especiais, poucos conflitos de uso e ocupação, e correspondem a ambientes mais estáveis como os maciços estruturais, aluviões pertencentes a planície fluvial do rio Ceará e partes do tabuleiro costeiro.
Zona controlada para Mineração	544,23 km ²	São áreas onde há um ou outro elemento que caracterize impossibilidade da atividade, como na parte mais próxima a costa, onde há mais conflitos de uso e ocupação e maior susceptibilidade do ambiente a ser vulnerável e nas áreas mais a sul da área, a pouco interesse mineral, resultando assim em áreas controladas.
Zona bloqueada para Mineração	420,23 km ²	As zonas bloqueadas consistem em locais que áreas especiais como as terras indígenas, quilombolas e assentamentos rurais, as unidades de conservação, a área urbana da cidade e a faixa litorânea onde o ambiente é vulneravelmente mais instável.

Fonte: Elaborado pela autora.

14.3 Zonas Preferencias para Mineração

As áreas correspondentes às zonas preferenciais para a mineração foram delimitadas em sua maioria nos maciços estruturais onde a vulnerabilidade do ambiente é moderadamente estável a vulnerável e, existem poucos conflitos do uso do solo que possam impedir a atividade. Foram definidas áreas preferencias também em setores do tabuleiro costeiro e nos aluviões mais ao sul do município.

A zona preferencial abrange locais onde podem ser extraídas areia, argila e brita o que poderia ser uma preocupação, já que com a proposta de zoneamento é aplicada uma limitação das áreas para extração dos minerais.

Um dos resultados positivos que podem ser observados é de a maior parte das atividades de extração mineral estão nas áreas preferencias para a mineração. Podemos analisar isso de forma otimista, já que mesmo sem planejamento estratégico ou um Plano Diretor que incluísse a mineração, a maior concentração está nas zonas liberadas para a atividade.

14.4 Zonas Controladas para Mineração

Nas zonas controladas para mineração foram equivalentes às áreas onde ocorreram outras atividades⁴ e que podem causar conflitos ou o ambiente mostra-se susceptível a vulnerabilidade ambiental alta.

Na parte mais a sul do município a uma grande extensão de zona controlada, isso deve se dar pelos seguintes fatos: o potencial geológico é baixo e o porte de vegetação é de predominância arbustivo com presença de solo exposto que propiciam a erosão do terreno. Se instalada uma mineração nesse ambiente, com a retirada da vegetação por total, pode acontecer desse local sofrer sérios problemas ambientais.

Outro local onde é controlado para mineração está próximo ao litoral, nesse ambiente a mineração deve ser mais cautelosa por conta da proximidade com áreas urbanas e as limitações do ambiente. São locais onde mostram resultados de vulnerabilidade ambiental mais acentuado.

São poucas as atividades de mineração encontradas nessas zonas, muito provavelmente por conta do fator geológico.

⁴ Atividades de agricultura e pecuária

14.5 Zonas Bloqueadas para Mineração

As zonas bloqueadas foram aquelas compatíveis às áreas onde o uso do solo já é exercido por outra atividade, a presença de áreas especiais⁵ e a vulnerabilidade do ambiente é alta.

Podemos observar toda a faixa da zona costeira bloqueada para a mineração, justamente pelo fato da especulação imobiliária e o turismo impossibilitarem que a atividade ocorra ali. A região do centro urbano também encontra-se como bloqueado já que não é de interesse de ambas as partes que a mineração ocorra próximo aos centros urbanos.

Em relação as áreas especiais também encontram-se como bloqueadas para a mineração, já que as unidades de conservação de uso integral não permitem a atividade e nas terras indígenas os conflitos com a mineração já tem uma histórico negativo de muitos processos impossibilitando a atividade. Por isso, ficaram bloqueadas para a mineração todas as áreas especiais e centros urbanos.

⁵ Unidades de Conservação, Área de Preservação Permanente, terras indígenas, quilombolas e assentamentos rurais.

15 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O município de Caucaia tem grande importância na economia para a Região Metropolitana de Fortaleza, contribuindo de forma econômica, social e ambiental para o desenvolvimento das cidades no entorno.

Caucaia é favorecida ambientalmente por conter uma diversidade de aspectos ambientais. Abundância em minérios para a extração, principalmente dos agregados da construção civil, sendo uma das principais cidades responsáveis em abastecer a RMF com pedra britada. Essa riqueza é aproveitada por empresas que fazem a extração dos minérios e são responsáveis por aquecer a economia local e regional fornecendo insumos para o desenvolvimento das cidades.

As expectativas para o consumo desses minérios são grandes já que Fortaleza a cada dia torna-se uma cidade cada vez mais importante para o Brasil e agora sendo ponto de apoio de rotas de voos internacionais. Além dos investimentos no Complexo Industrial e Portuário do Pecém que a cada dia demandarão por mais agregados.

Em vista disso, essa pesquisa teve como objetivo correlacionar as demandas existentes para o consumo desses minerais, a vulnerabilidade do ambiente quanto a sua susceptibilidade à degradação ambiental, o uso e a ocupação do solo de acordo com as limitações e conflitos e por fim o potencial mineral que o município proporciona.

Foram encontrados impactos ambientais de magnitude baixa a alta que estão relacionados à má administração dos espaços e falta de interesse do empreendedor em fazer medidas mitigatórias e ao final da lavra não ser feita a recuperação das áreas degradadas, potencializando os impactos ambientais, alguns dos impactos mostram-se de forma irreversível ao tempo humano.

É importante ressaltar que a importância dos planejamentos estratégicos, incluam a atividade de mineração em suas leis de uso e ocupação do solo. O ideal seria que o poder público elaborasse o Plano Diretor de Mineração visando na diminuição dos conflitos socioambientais e do uso e ocupação do solo.

A vulnerabilidade natural de Caucaia mostrou-se de forma equilibrada onde maior parte do território encontra-se com ambientes estáveis, moderadamente estáveis a moderadamente instáveis. Não foi identificada nenhuma área onde a vulnerabilidade correspondesse a instabilidade máxima.

Dessa forma o Zoneamento Ambiental Minerário através dessa pesquisa deixa um

legado nos estudos ambientais e minerários visando o planejamento de áreas onde possam ocorrer atividades de extração mineral de forma ecologicamente correta sem entrar em conflitos com outros usos e que os impactos ambientais sejam mínimos.

Á visto disso, Caucaia resultou em um município onde a atividade de extração mineral pode ocorrer, sendo que em alguns locais causando desconforto ambiental tanto para a população residente como para o meio ambiente. Deve-se ter cautela por parte do poder público e do setor privado ao escolher novas áreas a serem mineradas tendo em vista a diminuição dos impactos causados.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, F. F. M. Distribuição regional e relações tectônicas do magmatismo pós paleozóico no Brasil. **Rev. Bras. Geociências**, [s.l.] 16:325-349, 1986.
- ALMEIDA, F. F. M. Ilhas oceânicas brasileiras e suas relações com a tectônica atlântica. **Terræ Didática**, [s.l.] 2(1):3-18, 2006.
- ALMEIDA, F. F. M.; CARNEIRO, C. D. R.; MACHADO JÚNIOR, D. L.; DEHIRA, L. K. Magmatismo pós-Paleozóico no Nordeste Oriental do Brasil. **Rev. Bras. Geoc.** [s.l.] 18(4):451-462, 1988.
- ALMEIDA, R. O. P. O. **Revegetação de áreas mineradas: estudo dos procedimentos aplicados em minerações de areia**. 160 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Ambiental, Departamento de Engenharia de Minas de Petróleo. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002.
- ALMEIDA, S. L. M.; LUZ, A. B. (Eds.). **Manual de agregados para a construção civil**. 2. Ed. Rio de Janeiro: CETEM/MCTI, 2012.
- BACCI, D. de L. C.; LANDIM, P. M. B.; ESTON, S. M. de. Aspectos e impactos ambientais de pedreira em área urbana. **REM: R. Esc. Minas**, Ouro Preto, 59(1): 47-54, jan. mar. 2006.
- BACCI, D. de La C.; LANDIM, P. M. B; ESTON, S. M. de. Aspectos e impactos ambientais de pedreira em área urbana. **Revista Escola de Minas**, Ouro Preto, v. 59, n. 1, p.47-54, mar. 2016.
- BACHMANN, T. M.; FRIESE, K.; ZACHMANN, D. W. Redox and pH conditions in the water column and in the sediments of an acidic mining lake. **Journal of Geochemical Exploration**. [s.l.] 2001.
- BARBOSA, A. B da S.; MAIA, R. P. Geomorfologia dos maciços costeiros da região metropolitana de Fortaleza, Ceará. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, São Paulo, v. 19, n. 3, p.617-633, set. 2018.
- BATISTA, C. T. **A Mineração de Agregados na Região Metropolitana de Fortaleza: Impactos Ambientais e Conflitos de Uso e Ocupação do Solo**. Dissertação. Universidade Federal do Ceará. 146Folhas. Fortaleza, 2010.
- BECKER, B. K. Modernidade e gestão do território no Brasil: da integração nacional competitiva. **Espaço e Debates**, São Paulo, n. 31, 1991, p. 47 – 56.
- BERNHARDT, E. S.; LUTZ, B. D.; KING, R. S.; FAY, J. P.; CARTER, C. E.; HELTON, A. M.; CAMPAGNA, D.; AMOS, J. How many mountains can we mine? Assessing the regional degradation of Central Appalachian Rivers by surface coal mining. **Environ Sci Technol**. [s.l.] 2012.
- BIANCHI, L.; MARQUES, J. C. de S.; PADILHA, M. W. M.; TEIXEIRA, J. E. M.;

COELHO, M. do C. P.; MARTINS JÚNIOR, M; AGUIAR, M. T. R. **Recursos de Água Subterrânea na R.M.F. Plano de Aproveitamento dos Recursos Hídricos na R.M.F. Fase I- Fatores Condicionantes.** 30p. AUMEF-SEPLAN/CE. Fortaleza, 1984.

BIGARELLA, J. J. The Barreiras Group in Northeastern Brazil. **An. Acad. Bras.** [s.l.]. Ci. v. 47, (suplemento), p. 366-392, 1975.

BITAR, O. Y. **Avaliação da recuperação de áreas degradadas por mineração na Região Metropolitana De São Paulo.** 184 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia, Departamento de Engenharia de Minas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1997.

BRANDÃO, R de L. **Mapa Geológico da Região Metropolitana de Fortaleza. Texto Explicativo. Escala 1:100.000.** Projeto SINFOR. CPRM. Fortaleza – CE. 1995. 32p.

BRANDÃO, R. L. Sistema de informações para gestão e administração territorial da região metropolitana de Fortaleza – **Projeto SINFOR:** Diagnóstico geoambiental e os principais problemas de ocupação do meio físico da região metropolitana de Fortaleza. CPRM. 88 p. Fortaleza, Ceará, 1998.

BRASIL. Agência Nacional de Mineração. **Anuário Mineral Estadual - Ceará** / Coord. Técnica de José Eduardo da Costa Duarte *et al.*; Equipe Técnica por Vanessa Maria Mamede Cavalcanti e Marcos Aurélio Marcelino Moreira – Brasília: ANM, 2019. 22 p.: il.

BRASIL. Departamento Nacional de Produção Mineral. **Anuário Mineral Brasileiro: Principais Substâncias Metálicas** / Coord. Geral Wagner Fernandes Pinheiro, Osvaldo Barbosa Ferreira Filho, Carlos Augusto Ramos Neves; Equipe Técnica por Marina Dalla Costa... [et. Al.]; – Brasília: DNPM, 2018. 33 p.: il.

BRASIL. Departamento Nacional de Produção Mineral. **Anuário Mineral Estadual - Ceará** / Coord. Técnica de José Eduardo da Costa Duarte ... [et. Al.]; Equipe Técnica por Vanessa Maria Mamede Cavalcanti e Marcos Aurélio Marcelino Moreira – Brasília: DNPM, 2016. 39 p.: il.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Plano Nacional de Mineração 2030.** Brasília: MME, 2011.

BRASIL. Resolução nº 10, de 6 de dezembro de 1990. **Resolução Conama Nº 10, de 6 de dezembro de 1990 Publicada no Dou, de 28 de dezembro de 1990, Seção 1, Páginas 25540-25541:** Dispõe sobre normas específicas para o licenciamento ambiental de extração mineral, classe II.

BROLLO, M. J. et al. Caracterização das áreas degradadas por mineração de saibro em Ubatuba: condicionantes para a sua recuperação ambiental. In: 11º Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia e Ambiental. Florianópolis. **Anais.** 2005. p. 918 - 933.

CALAES, G. D. et al. Bases para o desenvolvimento sustentável e competitivo da indústria de agregados nas regiões metropolitanas do país (Parte 2). **Revista da Escola de Minas.** [s.l.] vol.61, n.1, pp. 47-56, 2008.

CALAES, G. D. **O planejamento estratégico na solução de conflitos locais**: caso do parque produtor de brita da RMRJ. 39f. Monografia (Especialização) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Pesquisa e Planejamento Urbano e Regional; Programa de Pós-Graduação em Geologia Regional e Econômica, Rio de Janeiro, 2003.

CASTRO, N. A. **Evolução geológica proterozóica da região entre Madalena e Taparuaba, domínio tectônico Ceará Central (Província Borborema)**. Tese (Doutorado em Geociências) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

CAVALCANTI, V. M. M. **Plano Diretor de Mineração para a Região Metropolitana de Fortaleza - Atualização** / Vanessa Maria Mamede Cavalcanti, Marcos Aurélio Marcelino Moreira, Cristiano Alves da Silva, 117 p.

CAVANAGH, J. E.; POPE, J.; HARDING, J. S.; TRUMM, D.; CRAW D.; SIMCOCK, R. New Zealand minerals sector environmental framework: a user's guide. **Landcare Research New Zealand Ltd and CRL Energy Ltd**. New Zealand. 2015.

CHANG, H. K.; KOWSMANN, R. O.; FIGUEIREDO, A. M. F.; BENDER, A. A. Tectonics and stratigraphy of the East Brazil rift system: an overview. **Tectonophysics** [s.l]. 213, 97–138, 1992.

CLAUDINO-SALES, V. de; PEULVAST, J. Evolução morfoestrutural do relevo da margem continental do Estado do Ceará, nordeste do Brasil. **Caminhos de Geografia**, Uberlândia, v. 7, n. 20, p.1-21, fev. 2007.

CLAUDINO-SALES, V. **Megageomorfologia do Estado do Ceará**. Novas Edições Acadêmicas, [s.l] 2016. 59 p.

COSTA, F. G.; de ARAÚJO, C. E. G.; VASCONCELOS, A. M.; PALHETA, E. S. M.; JUSTO, A. P. O Complexo Tamboril- Santa Quitéria: evidências de slab breakoff durante colisão continental neoproterozoica, norte da Província Borborema. 45° Congresso Brasileiro de Geologia, **Anais...** Belém, PA. 2010.

CREPANI, E. MEDEIROS, J, S.; HERNANDEZ FILHO, P.; FLORENZANO, T, G.; DUARTE, V.; BARBOSA, C, C, F. **Curso de sensoriamento remoto aplicado ao zoneamento ecológico econômico**. São José dos Campos: INPE,1996.

CUNHA, S. B.; GUERRA, A. J. T. **Avaliação e Perícia Ambiental**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1999.

DAVIES, G. F. Ocean bathymetry and mantle convection: 1. Large-scale flow and hotspots. **Jour. of Geophysical Research**, [s.l]. 93(89):10467-10480, 1988.

Decreto 62.934 de 02 de julho de 1968. Aprova o Regulamento do **Código de Mineração Decreto 62.934/1968**. Brasília/DF.

DENIMAL, S.; BERTRAND, C.; MUDRY, J.; PAQUETTE, Y.; HOCHART, M.; STEINMANN, M. Evolution of the aqueous geochemistry of mine pit lakes e Blanzky-Montceaux- Mines coal basin (Massif Central, France): origin of sulfate contents, effects of

stratification on water quality. **Applied Geochemistry**. [s.l.]. 2005.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2. ed. – Rio de Janeiro. EMBRAPA-SPI,. 306 p.: il. 2006.

FARIAS, C.E.G. **Mineração e meio ambiente no brasil**. Brasil: Pnud, 2002. 29p.

FETTER A. H.; SANTOS, T. J. S.; VAN SCHMUS, W. R.; HACKSPACHER, P. C.; BRITO NEVES, B. B.; ARTHAUD, M. H.; NOGUEIRA NETO, J. A.; WERNICK, E. Evidence for Neoproterozoic Continental Arc Magmatism in the Santa Quitéria Batholith of Ceará State, NW Borborema Province, NE Brazil: Implications for the Assembly of West Gondwana. **Gondwana Research**, [s.l.]. v. 6, n. 2, p. 265–273, 2003.

FIEC. Federação das Indústrias do Estado do Ceará (Ed.). **Plano de Zoneamento da Exploração Mineral**: Programa para desenvolvimento da indústria. Fortaleza.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **IBGE divulga as estimativas populacionais dos municípios para 2017**. Disponível em: <https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-sala-de-imprensa/2013-agencia-de-noticias/releases/16131-ibge-divulga-as-estimativas-populacionais-dos-municipios-para-2017>. Acesso em: 5 mar. 2019.

IBRAM, Instituto Brasileiro de Mineração -. **Informações e Análises da Economia Mineral Brasileira**. 6. ed. Brasil: Ibram, 2011. 28 p.

JACOMINE, P. T. K. **Levantamento exploratório – Reconhecimento de solos do Estado do Ceará**. Vol II, DPP/MA/DNPEA – SUDENE. Bol.técnico 28. Recife, 201p. 1973.

LOPES, I.; GONÇALVES, F.; SOARES, A. M. V. M.; RIBEIRO, R. Discriminating the ecotoxicity due to metals and to low pH in acid mine drainage. **Ecotoxicology and Environmental Safety**. [s.l.]. 1999.

LOPES, R. T. R. **Mineração e Desenvolvimento: uma análise da maldição dos recursos naturais para os estados brasileiros**. 78 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Economia, Faculdade de Ciências e Letras, Universidade Estadual Júlio de Mesquita Filho – Unesp, Araraquara, 2013.

MAGALHÃES, G. B.; ZANELLA, M. E. Comportamento climático da região metropolitana de Fortaleza. **Mercator**, Fortaleza, v. 10, n. 23, p.129-145, dez. 2011.

MAIA, R. P.; BEZERRA, F. H.R. **Tópicos de Geomorfologia Estrutural: Nordeste Brasileiro**. Fortaleza: Edições UFC, 2014.

MARET, T. R.; MACCOY, D. E.; SHORT, T. M. Response of benthic invertebrate assemblages to metal exposure and bioaccumulation associated with hard-rock mining in northwestern streams, USA. **J N Am Benthol Soc**. 2002.

MCCULLOUGH, C. D.; LUND, M. A. Opportunities for sustainable mining pit lakes in Australia. **Mine Water Environ**. [s.l.]. 2006.

MECHI, A.; SANCHES, D. L. Impactos ambientais da mineração no Estado de São Paulo. **Estudos Avançados**, São Paulo, v. 68, n. 24, p.209-220, jun. 2010.

MEIRELES, A. J. A. **Mapeamento geológico/geomorfológico da planície costeira de Icapuí, extremo leste do Estado do Ceará**. Diss. Mestrado, Centro de Tecnologia, Departamento de Geologia da Universidade Federal de Pernambuco - UFPE. Recife, 1991, 178p. il.

MEIRELES, A. J. A.; SILVA, E. V. da; THIERS, P. R. L. Os campos de dunas móveis: fundamentos dinâmicos para um modelo integrado de planejamento e gestão da zona costeira. **Geosp - Espaço e Tempo**, São Paulo, v. 20, n. 1, p.101-119, jan. 2006.

MINERAÇÃO & MUNICÍPIO: **bases para o planejamento e gestão dos recursos minerais** / Coordenadores: Luiz Carlos Tanno, Ayrton Sintoni. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 2003.

Mineração no município de Ubatuba (SP). Mestrado. CAMPINAS- SÃO PAULO. 80f. 1995.

MIZUSAKI, A. M. P.; THOMAZ FILHO, A.; MILANI, E. J.; CÉSERO, P. Mesozoic and Cenozoic igneous activity and its tectonic control in the northeastern region of Brazil, South America. **Journal of South America Earth Sciences**, [s.l]. 15:183-198, 2002.

MODIS, K.; ADAM, K.; PANAGOPOULOS, K.; KOMTOPOULOS, A. Development and Validation of a geostatistical model for prediction of acid mine drainage in underground sulphide mines. **Transaction of the Institution of Mining and Metallurgy**. [s.l]. 1998.

MOTA, R. F. **Estudos geológicos-geofísicos da interface água doce/água salgada em aquíferos da formação barreiras no litoral da região de Caucaia-Pecém/Ce – R.M.F.** 238 f. Tese (Doutorado) - Curso de Pós-graduação em Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal Bahia, Salvador, 2005.

NASCIMENTO, D. A. do; GAVA, A.; PIRES, J. de L.; TEIXEIRA, W. Geologia. **Mapeamento Regional**. In: Projeto RADAMBRASIL. Folha SA.24- Fortaleza. Rio de Janeiro: 1981, v. 21, p.23-133.

NEIL, L. L.; MCCULLOUGH, C. D.; LUND, M. A.; EVANS, L. H.; TSVETNENKO, Y. Toxicity of acid mine pit lake water remediated with limestone and phosphorus. **Ecotoxicology and Environmental Safety**. [s.l]. 2009.

NUNES, P. H. F. **Maior ambiente & mineração: desenvolvimento sustentável**. 1ª ed, Curitiba: Jaruá, 2011.

OGATA, M. G. Visões Governamentais In: **Brasil. Para pensar uma política nacional de Ordenamento Territorial**. Brasília: Ministério da Integração Nacional, 2005.

PELLICORI, D. A.; GAMMONS, C. H.; POULSON, S. R. Geochemistry and stable isotope composition of the Berkeley pit lake and surrounding mine waters, Butte, Montana. **Applied Geochemistry**. [s.l]. 2005.

PEREIRA, R. C. M.; SILVA, E. V. da. Solos e vegetação do Ceará: características gerais. In: SILVA, J. B. da; CAVALCANTE, T. C.; DANTAS, E. W. C. (Org.). **Ceará: Um novo olhar Geográfico**. Fortaleza: Edições Demócrito Rocha, 2005. p. 188-210.

PETTY, J. T.; FULTON, J. B.; STRAGER, M. P.; MEROVICH, G. J.; STILES, J. M.; ZIEMKIEWICZ, P. F. Landscape indicators and thresholds of stream ecological impairment in an intensively mined Appalachian watershed. **J N Am Benthol Soc**. 2010.

PINÉO, T. R. G. **Geologia e recursos minerais da folha Baturité – SB.24 X-A-I: estado do Ceará**. Escala 1:100.000. / Tercyo Rinaldo Gonçalves Pinéo, Simone Zwirtes, Bruno de Oliveira Calado - Fortaleza: CPRM, 2017.

PONTES, J. C. de; FARIAS, M. S. S. de; LIMA, V. L. A. de. Mineração e seus reflexos socioambientais: estudo de impactos de vizinhança (eiv) causados pelo desmonte de rochas com uso de explosivos. **PolÊM!ca Revista Eletrônica**, Rio de Janeiro, v. 12, n. 1, p.77-90, mar. 2013.

RAMSTEDT, M.; CARLSSON, E.; LÖVGREN, L. The aqueous geochemistry in the Udden pit lake, northern Sweden. **Applied Geochemistry**. [s.l]. 2003.

ROCHA, C. H. B.; SOUSA, J. G. de. Análise ambiental do processo de extração e beneficiamento de rochas ornamentais com vistas a uma produção mais limpa: aplicação Cachoeiro de Itapemirim. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v. 6, n. 9, p.1-17. 2009.

RUIZ, M. S. **O Conflito entre urbanização e mineração de argilas no município de Campinas estudo de caso: Bairro Santa Lúcia**. Dissertação de Mestrado – Universidade Estadual de Campinas, 148p. Campinas-SP, 1989.

SÁNCHEZ, L. E. **A desativação de empreendimentos industriais: um estudo sobre o passivo ambiental**. 1998. Tese de Livre Docência - Escola Politécnica da USP. São Paulo, 1998.

SÁNCHEZ, L. E. **Avaliação de impacto ambiental: conceitos e métodos**. São Paulo: Oficina de Textos, 2008.

SÁNCHEZ, L. E.; HACKING, T. An approach to linking environmental impacts assessment and environmental management systems. **Impact assessment and project appraisal**, [s.l]. vol. 20, n 1, p. 25-38, 2002.

SÁNCHEZ, L. E.; HACKING, T. An approach to linking environmental impacts assessment and environmental management systems. **Impact assessment and project appraisal**, [s.l]. vol. 20, n 1, p. 25-38, 2002.

SÃO PAULO. Denize Kistemann Chiodi. Governo do Estado de São Paulo (Org.). **Planejamento Minerário na Ocupação do Solo em Área de Atuação da SUDELPA**. São Paulo: Companhia de Pesquisa e Recursos Minerais, 1982. 188 p.

SARAIVA JUNIOR, J. C. **Geomorfologia dos Maciços Costeiros de Caucaia, Ceará**. 2009,

151f. Dissertação (Mestrado) Curso de Pós Graduação em Geografia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2009.

SHEORAN, A. S.; SHEORAN, V. Heavy metal removal mechanism of acid mine drainage in wetlands: a critical review. **Minerals Engineering**. [s.l.]. 2006.

SILVA, F. L. de M. RISCO GEOLÓGICO ASSOCIADO OCUPAÇÃO DE ÁREAS OE
SILVA, J, P, S. Impactos ambientais causados por mineração. **Revista Espaço da Sophia**, [s.l.]. v. 08, n. 1. nov. 2007.

SLEEP, N. H. Fate of mantle plume material trapped within a lithospheric catchment with reference to Brazil. **Geochem. Geophys. Geosyst.** [s.l.]. 4:8509–8526, 2003.

SOUSA, D. C. **Litoestratigrafia e deformação cenozóica na região de Icapuí, Ceará, e implicações para a estruturação de campos de petróleo na borda ocidental da bacia potiguar (NE do Brasil)**. 2002. 189 f. Tese (Doutorado) - Curso de Geodinâmica, Centro de Ciências Exatas e da Terra, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2002.

SOUZA, M. J. N. Contribuição ao estudo das unidades morfoestruturais do Ceará. **Revista de Geologia**, Fortaleza, 1988.

TEIXEIRA, Z. A.; LOUSADA, E. O. Avaliação hidrogeológica do aquífero dunas/paleodunas na região do Complexo Industrial e Portuário do Pecém. In: III Congresso Internacional de Meio Ambiente Subterrâneo. **Anais**. [s.l.]. 2013.

THOMÉ, R. **A função socioambiental da CFEM – compensação financeira por exploração de recursos minerais**. [s.l.]. 2010. Disponível em:
<https://domtotal.com/direito/pagina/detalhe/26636/a-funcao-socioambiental-da-cfem-compensacao-financeira-por-exploracao-de-recursos-minerais>. Acesso em: 22 abr. 2019.

TOTÉ, C. et al. Evaluation of Satellite Rainfall Estimates for Drought and Flood Monitoring in Mozambique. **Remote Sensing**, [s.l.]. v. 7, n. 2, p.1758-1776. 2015.

TRICART, J. **Ecodinâmica**. Rio de Janeiro. FIBGE/SUPREN, 1997. 97p
TUBBS, Décio et al. Impacto da Mineração de Areia sobre a Química das Águas Subterrâneas, Distrito Areeiro da Piranema, Municípios de Itaguaí e Seropédica, Rio de Janeiro. **Revista Brasileira de Geociências**, São Paulo, v. 41, n. 3, p.472-485, set. 2011.

VIEIRA, L, de F. **Descaracterização da paisagem por meio da extração mineral para agregados da construção civil**. TCC. Universidade Federal do Ceará. Fortaleza. 23 f. 2016.