

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
ESCOLA DE ENGENHARIA DE PERNAMBUCO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MINERAL**

CHRISTIANE FERNANDES PERRELLA

**USO DE IMAGENS DE SATÉLITE PARA O DIAGNÓSTICO DA DINÂMICA DA
FITOFISIONOMIA EM DOIS MUNICÍPIOS DO POLO GESSEIRO DO ARARIPE:
TRINDADE (PE) E IPUBI (PE)**

**RECIFE
2017**

CHRISTIANE FERNANDES PERRELLA

**USO DE IMAGENS DE SATÉLITE PARA O DIAGNÓSTICO DA DINÂMICA DA
FITOFISIONOMIA EM DOIS MUNICÍPIOS DO POLO GESSEIRO DO ARARIPE:
TRINDADE (PE) E IPUBI (PE)**

Dissertação apresentada junto ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Mineral da Universidade Federal de Pernambuco como pré-requisito para obtenção do título de Mestre em Engenharia Mineral.

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Kênia Valença Correia

Coorientador: Prof. Dr. Evenildo Bezerra de Melo

**RECIFE
2017**

Catálogo na fonte
Bibliotecária Valdicéa Alves, CRB-4 / 1260

P455u

Perrella, Christiane Fernandes

Uso de imagens de satélite para o diagnóstico da dinâmica da fitofisionomia em dois municípios do polo gesseiro do Araripe: Trindade (PE) e Ipubi (PE) /

Christiane Fernandes Perrella - 2017.

95 folhas, Il. e Tab.

Orientador(a): Prof.^a Dr.^a Kênia Valença Correia.

CoOrientador: Prof. Dr. Evenildo Bezerra de Melo.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG.
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mineral, 2017.

Inclui Referências.

1. Engenharia Mineral. 2. Gipsita. 3. Pedreiras. 4. Semiárido brasileiro.
5. Cobertura vegetal. I. Correia, Kênia Valença. (Orientadora). II. Melo, Evenildo Bezerra de. (Coorientador). III. Título.

UFPE

622.35CDD (22. ed.)

BCTG/2017-327



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MINERAL

PARECER DA COMISSÃO EXAMINADORA
DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO DE MESTRADO DE
“USO DE IMAGENS DE SATÉLITE PARA O DIAGNÓSTICO DA DINÂMICA DA
FITOFISIONOMIA EM DOIS MUNICÍPIOS DO POLO GESSEIRO DO ARARIPE:
TRINDADE (PE) E IPUBI (PE)”

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: Minerais Industriais

A comissão examinadora composta pelos professores abaixo, sob a presidência do
Prof. JÚLIO CÉSAR DE SOUZA. Considera a aluna
CHRISTIANE FERNANDES PERRELLA, Aprovada.

Recife, 31 de agosto de 2017.

Prof.^a Dr.^a. KÊNIA VALENÇA CORREIA

- Orientadora (UFPE)

Prof. Dr. EVENILDO BEZERRA DE MELO

- Coorientador (UFPE)

Prof. Dr. GILBERTO GONÇALVES RODRIGUES

- Examinador Externo (UFPE)

Aos meus amados filhos Vanderlei Neto, Vinícius Gustavo e Vagner Henryque; ao meu esposo George Gustavo; ao meu Pai e a minha irmã Karine Perrella, dedico.

AGRADECIMENTOS

À CAPES, Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, pelo incentivo dado a mim.

À minha orientadora, Prof.^a Dr.^a Kênia Valença, pelo apoio e confiança, transmitindo-me seus conhecimentos e me incentivando a buscar sempre mais.

Ao meu co-orientador, Prof. Dr. Evenildo Melo, pelo apoio, pelos conhecimentos transmitidos a mim, pela paciência e compreensão.

Ao coordenador do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mineral, Prof. Dr. Julio Cesar, pelo apoio ao trabalho em campo e se estenderam à elaboração deste trabalho.

Aos meus filhos adotivos, Bruno Branco e Gustavo Ximenes, pela coragem e determinação que tiveram diante das dificuldades inesperadas em campo, pela troca de experiência, pelo convívio que resultou em uma bela amizade.

Da mesma forma, agradeço ao senhor Josembergue, Gerente Regional do FIEPE e o Danilo do SENAI de Araripina pelas informações e apoio prestados.

Aos meus amigos e colegas de mestrado, João Renato e Mickey Paixão, por tornarem essa jornada menos difícil e mais divertida, compartilhando sempre conhecimentos, dificuldades e conquistas.

À minha querida e grande amiga, Larissa Lapa e família, um anjo de coração puro e verdadeiro, pela amizade sincera, pela força, pela paciência, pela troca de experiência e conhecimento.

À Gerlânia Arruda pelas orientações e pela paciência.

À Heithor, Mestre em Engenharia Cartográfica da UFPE pelo auxílio e pelas palavras de apoio.

Ao meu pai, por ser meu alicerce, pela educação, pelo apoio e pelo amor.

À minha irmã Karine Perrella, pelo amor, pelos conselhos, pelo apoio.

Ao meu esposo, George Gustavo, pela compreensão, pelo amor, pelo apoio.

Aos meus filhos, Vanderlei Neto, Vinícius Gustavo e Vagner Henryque pela compreensão, pelo amor, pelo carinho por serem a minha razão e alegria em viver.

A todos aqueles que de maneira indireta contribuíram para minha formação.

“Quando nos disseram que vivemos confinados na superfície de uma pequena esfera flutuando no espaço escuro e gelado do universo? Os mistérios da vida, o fascínio de estar vivo, de partilhar precisa ser desperto. Uma educação que sensibilize, amplie a percepção disso”.

(Genebaldo Freire Dias)

RESUMO

Apesar de necessária, a atividade minerária produz impactos ambientais, portanto a Constituição Federal Brasileira (1988), em seu artigo nº225 §2, determinou a obrigatoriedade da recuperação ambiental em áreas onde sejam desenvolvidas essas atividades. Ressalta-se, que o processo de recuperação das áreas impactadas deve ter um olhar diferenciado sobre a fitofisionomia, utilizando-se da disponibilidade das imagens como elemento imprescindível à avaliação da estabilidade dos ecossistemas. Assim, a análise da cobertura vegetal é de suma importância e, atualmente, pode ser realizada por técnicas de geoprocessamento. Através de ferramentas como o sensoriamento remoto, o qual possibilita a coleta de dados de uma maior área em um prazo menor, permitindo a elaboração de mapas temáticos contendo dados importantes como o uso e ocupação do solo e os impactos causados pelas ações antrópicas. Este trabalho teve por objetivo analisar com o uso de imagens de satélites a fitofisionomia dos municípios de Ipubi (PE) e Trindade (PE), com ênfase na evolução da cobertura vegetal no período de 1987 a 2011, utilizando o sensor TM do Landsat 5 e a classificação não supervisionada do NDVI através do software QGis. Das análises realizadas pode se concluir que ocorreu redução na cobertura vegetal nos anos 1987 e 1996, ocasionada por atividades antrópicas e potencializada pelo não cumprimento da legislação ambiental vigente. Entretanto, em 2006 e 2011 os percentuais da cobertura vegetal foram quase os mesmos, sendo encontradas manchas espaçadas e pouco significativas, as quais constituem pequenas ilhas sem conectividade entre si, e que apontam alguns processos de regeneração. Não obstante, vale ressaltar que as espécies encontradas são em sua maioria exóticas, impactando negativamente sobre a vegetação nativa consequentemente sobre a fisionomia característica do Bioma Caatinga, ao concorrer diretamente com a mesma.

Palavras-chave: Gipsita. Mineração. Semiárido brasileiro. Cobertura vegetal.

ABSTRACT

Although necessary, mining activity produces environmental impacts. Therefore, the Brazilian Federal Constitution (1988), in its article no. 225 §2, determined the obligation of environmental recovery in areas where these activities are developed. It should be emphasized that the recovery process of the impacted areas should have a different look on the phytophysiology, using the availability of the images as an essential element for the evaluation of the stability of the ecosystems. Thus, the analysis of the vegetation cover is extremely important and, currently, can be performed by geoprocessing techniques. Through tools such as remote sensing, which enables the collection of data from a larger area in a shorter period, allowing the elaboration of thematic maps containing important data such as the use and occupation of the soil and the impacts caused by the anthropic actions. The objective of this work is to analyze the phytophysiology of the municipalities of Ipubi (Brazil/PE) and Trindade (Brazil/PE) using satellite images, with emphasis on the vegetation cover evolution from 1987 to 2011, using the TM sensor from Landsat 5 and the unsupervised classification of NDVI through QGIS software. From the analyzes carried out, it can be concluded that there was a reduction in the vegetation cover in the years 1987 and 1996, caused by anthropic activities and enhanced by the non-compliance with the current environmental legislation. However, in 2006 and 2011 the percentage of vegetation cover was almost the same, being found spaced and little significant spots, which are small islands without connectivity between them, and which point out some regeneration processes. Nevertheless, it is worth mentioning that the species found are mostly exotic, negatively impacting on the native vegetation consequently on the characteristic physiognomy of the Caatinga Biome, when competing directly with it.

Keywords: Gypsum. Mining. Brazilian semi-arid. Vegetal cover.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Frente de lavra de gipsita	21
Figura 2 – Britador secundário em uma calcinadora de gipsita	22
Figura 3 – Gipsita Johnson sendo transportada para o forno	22
Figura 4 – Forno do tipo autoclave	23
Figura 5 – Peneiras de 100, 150 e 200 mesh	23
Figura 6 – Vegetação original do Brasil	27
Figura 7 – Mapa da Região do Araripe	28
Figura 8 – Mapa da área de preservação ambiental no estado de Pernambuco	34
Figura 9 – Sequência cronológica da legislação ambiental	35
Figura 10 - Obtenção de imagens por sensoriamento remoto.....	44
Figura 11 – Complemento para reprojeção de arquivos no QGis.....	49
Figura 12 – Mapa de classificação dos solos da área de estudo.....	53
Figura 13 – Mapa da área de estudo.....	57
Figura 14 – Mapa da localização dos empreendimentos minerários.....	64
Figura 15 – Gráfico de classificação do tipo de empreendimentos levantados	65
Figura 16 - Gráfico da evolução da fundação de empreendimentos	66
Figura 17 - Desmatamento realizado para implantação de atividade minerária, área de bota-fora	67
Figura 18 - Vegetação do entorno de um empreendimento coberta por particulados	68
Figura 19 - Detonação em uma mina de um empreendimento de grande porte. Paisagem local, Ipubi - PE.....	69
Figura 20 - Gráfico da evolução do índice pluviométrico dos anos estudados	71
Figura 21 - Mapa NDVI de 1987.....	75
Figura 22 - Mapa NDVI de 1996.....	76
Figura 23 - Mapa NDVI de 2006.....	77
Figura 24 - Mapa NDVI de 2011	78

Figura 25 – Gráfico da evolução da água/umidade, vegetação rala e vegetação densa dos anos estudados, de acordo com o cálculo de NDVI	79
Figura 26 – Gráfico da área urbana/solo exposto dos anos estudados de acordo com a evolução especificada como classe II do cálculo de NDVI	80
Figura 27 – Vegetação arbustiva em sua maioria completamente seca.....	81
Figura 28 - Plantio de eucalipto no pátio do empreendimento de médio porte	82
Figura 29 – Sementeira de empreendimento de grande porte sendo reativada	82
Figura 30 – Pequenas pilhas de rejeitos deixados à beira da estrada.....	83
Figura 31 - Modelo de Sistema de Gestão Ambiental	84

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Reserva e produção mundial de gipsita	24
Tabela 2 – História da litoestratigrafia da Bacia do Araripe (NE, Brasil)	31
Tabela 3 – Metas da Agenda 21 de Pernambuco.....	50
Tabela 4 – Principais características dos números estudados	56
Tabela 5 - Sumário das amostras e suas categorias	62
Tabela 6 - Localização geográfica das amostras – Datum – Sirgas 2000	63
Tabela 7 - Classificação do porto dos empreendimentos levantados	65
Tabela 8 - Resultados dos cálculos de NDVI dos anos estudados.....	72

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	14
1.1	Justificativa.....	15
1.2	Problema.....	17
1.3	Hipótese.....	17
2	OBJETIVOS.....	18
2.1	Objetivo Geral.....	18
2.2	Objetivos Específicos.....	18
3	REVISÃO TEÓRICA.....	19
3.1	Gipsita, desenvolvimento e importância econômica.....	19
3.2	A vegetação do semiárido, a caatinga e a Região do Araripe.....	25
3.3	Formação geológica do Araripe.....	30
3.4	Características socioeconômicas da Região.....	31
3.5	Área de preservação ambiental na Região.....	33
3.6	Panorama da legislação ambiental no Brasil.....	34
3.7	Desertificação.....	40
3.8	Geoprocessamento.....	43
3.9	Agenda 21 de Pernambuco.....	49
4	ÁREA DE ESTUDO.....	52
4.1	Ipubi (PE).....	54
4.2	Trindade (PE).....	55
5	METODOLOGIA.....	58
6	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	61
6.1	Descrições gerais e dados georreferenciados da área estudada.....	61
6.2	Problemas de dimensão econômica, relacionados com exploração da cobertura vegetal.....	69
6.3	Análise dos dados pluviométricos e dados através do uso de imagens de satélite.....	70
6.3.1	<i>Dados pluviométricos da região.....</i>	70
6.3.2	<i>Análise da cobertura vegetal através das imagens de satélites utilizando o NDVI.....</i>	72

6.3.3	<i>Proposta de medidas mitigadoras do planejamento de Gestão Ambiental.....</i>	83
7	CONCLUSÃO.....	85
	REFERÊNCIAS	86

1 INTRODUÇÃO

A mineração é uma das atividades mais antigas desenvolvidas pelo homem e que, ao longo do tempo, tornou-se indispensável para o desenvolvimento das sociedades. Armas, ferramentas, utensílios, pedras ornamentais, tinta, porcelana, entre outros, são produtos minerais. O homem, através de estudos, desenvolveu um amplo conhecimento e graças ao avanço tecnológico descobriu as mais variadas utilizações para cada mineral de acordo com suas propriedades físico-químicas. Embora seja uma das atividades que mais fomenta a economia e o desenvolvimento, sendo responsável por grande geração de empregos e outros benefícios, a mineração produz, de acordo com Figueiredo (2014, p.325), “impactos ambientais significativos em todas as suas fases: prospecção e pesquisa, extração, beneficiamento, refino e fechamento de mina”, sendo no semiárido brasileiro um dos fatores de desestabilização ambiental e promotor de desertificação. Matallo Júnior (1999) em sua proposta de classificação dos Indicadores de desertificação cita a degradação do solo e da flora, dentre outros, como fatores que apontam a existência deste processo.

A gipsita é exemplo de um dos minerais mais aproveitados pelo homem, tendo sua extração datada desde as primeiras dinastias no Antigo Império Egípcio (Ramos, 2011). Hoje, esse mineral tornou-se indispensável principalmente para ortopedia, à indústria da construção civil, servindo de matéria-prima para a fabricação do cimento Portland e do gesso. Além disso, também pode ser aplicada na agricultura como corretivo de solos e na indústria de maneira geral como insumo para fabricação de tintas, discos, fósforos, inseticidas, entre outros. Conforme destaca Sobrinho *et al* (2001), os principais depósitos brasileiros de gipsita ocorrem em áreas associadas às bacias sedimentares, como a Bacia Amazônica (Amazonas e Pará); Bacia do Meio Norte ou Bacia do Parnaíba (Maranhão e Tocantins); Bacia Potiguar (Rio Grande do Norte); Bacia Sedimentar do Araripe (Piauí, Ceará e Pernambuco); e Bacia do Recôncavo (Bahia).

Importante destacar que, apesar de sua grande importância econômica, segundo Carvalho *et al* (2016), o principal problema ambiental da gipsita é o capeamento, uma vez que não há um mecanismo alternativo para aproveitá-lo. Além disso, a poluição do ar e a devastação de matas para retirada de lenha são bastante notórias, principalmente no que diz respeito à calcinação do gesso. A propósito, a

matriz energética na região do semiárido brasileiro sempre se fundamentou na produção de energia térmica às expensas da combustão da lenha.

Entre meados de 1960 e início de 1970, diante do cenário de exploração desordenada, as preocupações acerca da preservação do meio ambiente resultaram na promoção de movimentos, fóruns e encontros os quais serviram de base para a elaboração das primeiras normas cujo foco era mitigar os impactos ambientais ocasionados pela ação antrópica.

Desde então, a problemática ambiental é uma das grandes preocupações mundiais, desencadeando, inclusive, discussões acerca da maneira como os recursos naturais estão sendo explorados e suas respectivas consequências socioambientais. Neste contexto, a Constituição Federal Brasileira de 1988, em seu art. 225º, passou a assegurar o direito a um meio ambiente ecologicamente equilibrado, cabendo ao Poder Público e a sociedade o dever de preservá-lo. Sendo assim, o Conama em sua Resolução nº237/97, Artigo 2º, torna obrigatório o licenciamento ambiental para a implantação de construções de empreendimento capazes de causar danos ambientais. Em complemento, o Decreto Federal nº 6.514/2008 que dispõe sobre infrações e sanções administrativas, em seu Artigo 63, determina a cobrança de multas para a execução da pesquisa, lavra ou extração de minerais sem a competente autorização, permissão, concessão ou licença da autoridade ambiental competente ou em desacordo com a obtida.

Para o Departamento das Nações Unidas de Direitos Econômicos e Assuntos Sociais (UNDESA) e para o Programa Ambiental das Nações Unidas Indústria e Meio Ambiente (PNUMA), “a mitigação das operações de mineração depende principalmente de um planejamento cuidadoso e adequação às boas práticas ambientais no âmbito da legislação ambiental, destacando o que pode ser feito em termos de regulação, controle administrativo e gestão de mina para alcançar um nível aceitável de desempenho ambiental para cada operação”.

Um dos pontos relevantes a ser considerado na elaboração de um planejamento é a realização do diagnóstico ambiental, com ênfase na cobertura vegetal, sua fitofisionomia, a qual descreve a respectiva qualidade da área em estudo, identificando os possíveis impactos. Através desse diagnóstico, é possível elaborar um prognóstico em curto, médio e longo prazos da situação da área, para eleger a adoção de medidas mitigatórias. Para tanto, dispõe-se de uma série de ferramentas como o geoprocessamento e suas geotecnologias incluindo o

sensoriamento remoto, ferramenta capaz de gerar o Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI) e que, de acordo com Eckhardt *et al* (2007), pode fornecer dados importantes para o uso e ocupação do solo e os impactos causados pelas ações antrópicas. Sá *et al* (2010), o qual usou as imagens do sensor TM do Landsat 5 e a classificação não supervisionada do NDVI através do software QGis, destacou a existência de outros estudos como o dos autores Teotia *et al* (2001) que utilizaram imagens de satélites para análises da cobertura vegetal, uso da terra e classificação do solo no Piauí; Barbosa *et al* (2007) que através das imagens de satélites do LANDSAT 5 avaliaram a degradação da terra no município de Picos-PI; Souza *et al* (2008) que realizaram uma análise temporal da cobertura vegetal no município de Boa Vista –PB dentre outros, trazendo assim contribuições pertinentes.

Desta forma, a importância do presente trabalho reside em sua contribuição sobre a fitofisionomia dos municípios de Ipubi (PE) e Trindade (PE), inseridos no semiárido pernambucano, os quais se destacam por apresentar a maior concentração de empreendimentos minerários da região.

1.1 Justificativa

O uso de imagens de satélite como ferramenta de análise ambiental, conforme Ortiz e Freitas (2005) e Conceição (2004), é uma alternativa de baixo custo quando comparada às análises realizadas pelo método convencional, o qual depende principalmente de equipes multidisciplinares em campo, demandando prazos maiores e custos viários, de hospedagem e alimentação, entre outros. Além disso, as imagens de satélite permitem uma maior varredura da área a ser estudada e, ao serem analisadas, são capazes de gerar informações bastante detalhadas. Assim, em áreas como a selecionada no presente estudo, inserida, na Região do Araripe, representativa na prática de extração da gipsita, é de suma importância realizar o monitoramento dos impactos ambientais oriundos dessa atividade, principalmente sobre a cobertura vegetal que é um dos parâmetros mais explícitos na análise e diagnóstico de processos de desertificação, como propõe Matallo Júnior (1999) em sua tabela de indicadores de identificação e monitoramento deste processo.

1.2 Problema

A Convenção Internacional de Combate à Desertificação (UNCCD) define desertificação como “a degradação da terra nas regiões áridas, semiáridas e subúmidas secas, resultante de vários fatores, como variações climáticas e atividades humanas, dentre elas a mineração” (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2004). As atividades minerárias, além da retirada da cobertura vegetal, produzem rejeitos cujos destinos são via de regra difíceis de equacionar ambientalmente. Por isso, as pilhas de rejeito acabam sendo soluções imediatas, porém, não definitivas geralmente localizadas nas proximidades das jazidas, causando prejuízos inclusive para as próprias minas. Somando-se a isso, a exploração da gipsita, especificamente a produção do gesso, via calcinação, contribui para a perda da flora da região por consumir, como fonte de energia, a vegetação nativa quase em sua totalidade (Sá *et al*, 2008), justificando que a utilização de energia elétrica é economicamente inviável.

1.3. Hipótese

Espera-se encontrar uma fitofisionomia bastante modificada devido as atividades minerárias apresentando extensas áreas desmatadas, pois, as calcinadoras utilizam quantidades significantes de biomassa para a obtenção da energia necessária para o processo produtivo.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Diagnosticar através, das imagens de satélites, na linha do tempo compreendida entre 1987 e 2011 a evolução da fitofisionomia dos municípios de Ipubi (PE) e Trindade (PE), considerando-se às atividades minerárias realizadas nos mesmos.

2.2 Objetivos específicos

- Identificar a cobertura vegetal e a influência antrópica sobre a mesma elaborando mapas temáticos, em imagens cronologicamente distintas buscando encontrar correlação com o processo de desertificação;
- Quantificar o número de minas na região de estudo e analisando a evolução da área total destinada à mineração (cavas) e utilizadas como depósito de rejeito (bota-fora);
- Propor ações mitigatórias, se necessárias, bem como a implantação de um Sistema de Gestão Ambiental, no caso deste inexistir.

3 REVISÃO TEÓRICA

3.1 Gipsita, desenvolvimento e importância econômica.

O Estado de Pernambuco, detentor de reservas abundantes de gipsita na região do sertão do Araripe, envolvendo os municípios de Araripina, Bodocó, Ipubi, Ouricuri e Trindade, é responsável por 95% da produção nacional. As jazidas do Araripe são consideradas como as de minério de melhor qualidade no mundo e apresentam excelentes condições de mineração, relação estéril/minério e geomorfologia da jazida (LUZ & LINS, 2008).

A investigação da Gipsita, assim como dos demais recursos minerais, é dividida em etapas, as quais consistem em pesquisa mais prospecção, desenvolvimento, extração e beneficiamento, procedendo-se a desativação com a exaustão ou inviabilização das reservas.

A pesquisa cuida dos mapeamentos planialtimétricos e geológicos de detalhe, da identificação de minerais-minérios mais rochas-hospedeiras ou minérios, das respectivas associações com as rochas encaixantes, das relações estéril/minério, grau de liberação do mineral-minério e das identificações das espécies minerais, na expectativa do conhecimento sobre a química mineral, indispensável à otimização do seu aproveitamento pelas indústrias.

Na etapa de prospecção usam-se recursos técnicos geofísicos e geoquímicos, suportes indispensáveis à otimização dos programas de sondagem para identificação da existência do minério em profundidade. Esta fase é importante, pois gipsita aflorante está, não raro, mais intemperizada, graças à solubilidade mais característica da sua composição molecular a expensas de sulfato. Portanto, graças à sua natureza evaporítica, possui propriedade física mais caracteristicamente resistiva, compatível com método de prospecção tipo resistividade. É, pois nesta etapa que começa a ser visualizada a viabilidade econômica do depósito mineral e da instalação do empreendimento. Portanto, nesta fase já se iniciam os impactos ambientais.

Na fase de desenvolvimento, com a aferição qualitativa e quantitativa das reservas são, mais acentuadamente, engendrados desmatamentos, escavações, abertura de vias de acesso, picadas, remoção da vegetação e do capeamento de solo, e obras como cortes e aterros. Ainda nesta fase, é feita a instalação de equipamentos e a construção de prédios, criando-se a estrutura do empreendimento

para a realização da fase de operação, como desmonte, transporte e beneficiamento (ARAÚJO & MARTINS, 2012). Portanto, aqui ocorre o maior impacto sobre a cobertura vegetal do local.

Segundo os autores supracitados, no processo de decapeamento são utilizados tratores e carregadeiras que retiram o solo e formações superficiais argilosas denominadas estéreis, numa espessura entre 5 a 10m. Esta camada é transportada através de caminhões para outra área, chamada de bota-fora ou pilha de estéril. Neste processo, tanto o decapeamento quanto a deposição do material em outro lugar geram impactos ambientais, como a degradação do solo que segundo Amaral (2013) “estão relacionadas à perda da camada superficial, alteração da estrutura e perda da matéria orgânica”. Esta camada superficial contém sementes, grãos que são de grande relevância para o processo de recuperação da área. Van Etten *et al* (2014) em sua pesquisa, realizou um estudo sobre as sementes existentes no solo superficial, *topsoil*, observando uma variedade de espécies onde nem todas são encontradas acima do solo. E diante deste contexto, Moraes *et al* (2014) menciona a importância de elaborar um banco de dados de sementes, a devolução imediata do *topsoil* ao solo e seu armazenamento de forma adequada para que haja a recuperação da área degradada pela atividade minerária através de uma boa diversidade de espécies nativa, de maneira mais natural possível.

Em vários países, a utilização do *topsoil* (Figura 1) é o procedimento recomendado para ativar processo de recuperação em minas a céu aberto (Zhang *et al*, 2001), que consiste no método mais utilizado no Brasil para a lavra de gipsita. Neste método, faz-se um plano de fogo através de cálculos que determinam a melhor disposição, distância e quantidade dos furos para inserção de explosivos, direcionando então a movimentação do bloco em extração, visando obter o maior aproveitamento do minério. Essa fase também acarreta impactos ambientais.

O beneficiamento, por sua vez, é a etapa que tem por finalidade a separação do mineral-minério e a ganga, constituintes do minério, através de processos como britagem, moagem, peneiramento e calcinação (ARAÚJO & MARTINS, 2012). Portanto, procura-se, nessa fase, melhorar a qualidade e a pureza do mineral-minério, separando-o do minério extraído e concentrando-o.

Figura 1 – Frente de lavra de gipsita

Perrella, 2016.

O processo de calcinação da gipsita, etapa de produção do gesso na qual o concentrado de mineral-minério é submetido a altas temperaturas, da ordem de 160 graus centígrados, necessita de muita energia térmica, na maioria das vezes proveniente da queima de madeira de espécies nativas retiradas da vegetação da Caatinga. Nesse bioma predominam as formações vegetais xerófilas, as quais não apresentam produtividade suficiente nos planos de manejo florestal sustentados para atender o atual consumo da indústria do gesso (SIMPÓSIO DO PÓLO GESSEIRO, 2014). Portanto, explicita-se a insuficiência da biomassa local à produção racional da energia térmica para a etapa da calcinação. Daí, a geração de energia elétrica a partir de energia turbo-eólica é uma hipótese a ser considerada para possibilitar que a calcinação seja um processo adequado ambientalmente.

Barros *et al.* (2010) afirma que “o principal consumidor de energéticos florestais em forma de lenha no Estado de Pernambuco é o Pólo Gesseiro do Araripe, onde 94% delas são extraídas sem manejo”.

Na unidade calcinadora, o minério em blocos passa por um conjunto de processos mecânicos e físico-químicos. O primeiro deles é a britagem, que consiste na operação de fragmentação dos blocos, passando-os por um britador primário e reduzindo-os à brita. Em seguida, a brita passa por um britador secundário (Figura 2) e, em alguns casos, é fragmentada até uma “farinha” grossa, sendo essa redução realizada por um moinho – o termo “farinha” é usado regionalmente pelos técnicos e operários do Pólo Gesseiro (ARAÚJO & MARTINS, 2012).

Figura 2 – Britador secundário em uma calcinadora de gipsita



Perrella, 2016.

A calcinação (Figura 3) pode ser realizada em diferentes tipos de fornos, os quais devem assegurar uma distribuição e desidratação regular do material, e é obtida tanto por via seca como por via úmida. Por oportuno, reitera-se que a gipsita ao se transformar em gesso, perde 75% de sua umidade molecular.

Figura 3 – Gipsita Johnson sendo transportada para o forno



Perrella, 2016

O processo pode ser direto (quando os gases de combustão entram em contato com a gipsita) ou indireto (em fornos tubulares dotados de cilindros concêntricos, onde os gases quentes circulam no cilindro interno e o minério no cilindro externo). O funcionamento pode ser intermitente (batelada) ou contínuo (BALTAR, BASTOS & LUZ, 2005). Esse processo também pode ser realizado em fornos sob pressão atmosférica ou em autoclaves (Figura 4).

Figura 4 – Forno do tipo autoclave

Perrella, 2016

Depois de passar pelo forno (calcinação), pode-se fazer nova moagem e peneiramento dependendo do tipo de gesso que se deseja produzir. Nessa etapa, o gesso passa por peneiras de malha de 100 mesh na produção do gesso alfa, e de 150 ou 200 mesh no gesso beta (Figura 5). A qualidade do gesso está associada ao tempo de fornada e à qualidade do minério; os tipos mais comuns são: “cocadinha”, “rapadura” e “johnson” – em ordem de importância qualitativa da menor para a maior (ARAÚJO & MARTINS, 2012).

Figura 5 – Peneiras de 100, 150 e 200 mesh

Perrella, 2016

A geologia e a localização das jazidas de gipsita no Araripe propiciam as melhores condições para seu aproveitamento, sendo este fator determinante para a supremacia do Polo Gesseiro do Araripe na produção nacional de gipsita, desde a metade da década de 1960. Também é importante destacar que o Polo possui as melhores condições de exploração ou lavra, decorrente principalmente do capeamento pouco espesso, e também da quantidade e qualidade de suas reservas minerais (Araújo & Martins, 2012), sendo considerado um Arranjo Produtivo Local (APL) de grande importância.

O APL é definido como “aglomerações de empresas, localizadas em um mesmo território, que apresentam especialização produtiva e mantêm vínculos de articulação, interação, cooperação e aprendizagem entre si e com outros atores locais, como governo, associações empresariais, instituições de crédito, ensino e pesquisa” (MDIC, 2011).

A utilização econômica da gipsita depende da forma que se apresenta, a qual pode ser natural ou calcinada. A forma natural é bastante usada na agricultura e na indústria de cimento, enquanto a forma calcinada, conhecida como gesso, encontra várias utilizações na construção civil e como material ortopédico ou dental, entre outros (LUZ E LINS, 2008). Na indústria, de um modo geral, ainda é utilizada como carga para papel, na fabricação de tintas, discos, pólvora, botões de fósforos, no acabamento de tecidos de algodão, e como distribuidor e carga de inseticidas (BALANÇO MINERAL, 2001). Os autores Luz e Lins (2008) ressaltam inclusive o uso da gipsita na indústria de vidro, farmacêutica, escolar, decoração, cerâmica, fabricação de cerveja, indústria eletrônica e automobilística, e bandagens de alta resistência.

Apesar de boa parte dos dados sobre reservas internacionais de gipsita não estarem disponíveis, sabe-se que, de acordo com o *United States Geological Survey* (USGS), a produção mundial de gipsita, em 2014, foi de 246 milhões de toneladas (Mt), o que representa um aumento de apenas 0,4% em relação ao ano de 2013 (Tabela 1).

Tabela 1 – Reserva e produção mundial de gipsita

Discriminação Países	Reservas (10 ³ t)		Produção (10 ³ t)		(%)
	2014 ^(p)	2013 ^(r)	2014 ^(p)		
Brasil	400.000	3.330	3.450		1,4
China	nd	129.000	132.000		53,7
Estados Unidos da América	700.000	16.300	17.100		7,0
Irã	nd	15.000	13.000		5,3
Turquia	nd	8.300	8.300		3,4
Espanha	nd	6.400	6.400		2,6
Tailândia	700.000	6.300	6.300		2,6
Japão	nd	5.500	5.500		2,2
Rússia	nd	5.100	5.300		2,2
México	nd	5.090	5.000		2,0
Itália	nd	4.100	4.100		1,7
Índia	69.000	4.690	3.500		1,4
Austrália	nd	3.540	3.500		1,4
Omã	nd	2.790	3.000		1,2
França	nd	2.300	2.300		0,9
Outros países	nd	27.260	27.250		11,1
TOTAL	nd	245.000	246.000		100,0

Fonte: DNPM/DIPLAM/AMB; USGS: Mineral Commodity Summaries – 2015 (p) dado preliminar; (r) revisado; (nd) dado não disponível.

A China continua sendo o país que mais produz o referido minério (132 Mt), representando 53,7% de toda a produção de 2014. O Brasil é o maior produtor da América do Sul e o 13º do mundo, com uma produção de aproximadamente 3,4 Mt, no ano de 2014, valor que representou 1,4% do total mundial (SUMÁRIO MINERAL, 2015).

O Sindicato da Indústria do Gesso do Estado de Pernambuco (SINDUSGESSO) divulga em seu site que o Polo Gesseiro possui 39 minas de gipsita, 139 indústrias de calcinação, 726 indústrias de pré-moldados e gera, aproximadamente, 13200 empregos na indústria do gesso. Além disso, apresenta uma capacidade de exploração de 1220 milhões de toneladas (SINDUSGESSO, 2013).

De acordo com o Relatório do Pólo Gesseiro (2014) “a matriz energética da indústria do gesso do Araripe é muito diversificada, usa aproximadamente, 3% de energia elétrica, 5% de óleo diesel, 8% de óleo BPF (baixo poder de fusão), 10% de coque e 73% de lenha”.

Entretanto, para as indústrias de pequeno porte e/ou calcinadoras a lenha é a fonte energética mais viável para seu respectivo funcionamento, provocando assim, a degradação da cobertura vegetal, pois, segundo o Relatório do Pólo Gesseiro (*op cit*), “a produção média das calcinadoras é em torno de 3.000 t de gesso por mês e o consumo de energéticos florestais, principalmente a lenha, varia entre 0,15 m³ e 0,04 m³/t de gesso”. E diante destes dados, foi estimado em 2014 que as calcinadoras consumiam em média de 54.390 m³ de lenha por mês e 652.680 m³ de lenha, anualmente.

Embora seja uma das atividades que mais fomenta a economia e desenvolvimento, sendo responsável por grande geração de empregos e outros benefícios, a mineração produz, de acordo com Figueiredo (2014, p.325), “impactos ambientais significativos em todas as suas fases: prospecção e pesquisa, extração, beneficiamento, refino e fechamento de mina”.

3.2 A vegetação do semiárido, a caatinga e a Região do Araripe

O semiárido brasileiro abrange uma área composta por 1.133 municípios, somando 982.563 km², os quais estão distribuídos entre os estados nordestinos de Bahia, Sergipe, Alagoas, Pernambuco, Paraíba, Rio Grande do Norte, Ceará e Piauí

mais a região setentrional de Minas Gerais (DNPM, 2009). É caracterizado pelo clima extremamente seco na maior parte do ano, e pela má distribuição das chuvas, resultando em longos períodos de seca e elevadas temperaturas durante todo o ano.

Conforme Andrade (1977) e Souza *et al* (1994), possui “fitofisionomia muito diversificada em virtude da interação do clima, caracterizado por duas estações, sendo uma chuvosa (3-5 meses) e outra seca (7-9 meses); e também por outros fatores mesológicos (solo, relevo e altitude) e processos geológicos estabelecidos principalmente no Terciário e Quaternário”.

“A Caatinga é o tipo de vegetação que cobre a maior parte da área com clima semiárido (RODAL & SAMPAIO, 2002)”. Esta vegetação, segundo explicação de Mendes (1997), é composta por um conjunto de árvores e arbustos que apresentam grande resistência à seca, principalmente por possuírem fisionomia adaptada a tais condições: raízes desenvolvidas para absorver água nas camadas profundas do solo, caules suculentos, folhas pequenas e caducas, e a comum presença de espinhos. Cabe destacar também que os solos atuais das Caatingas são explicados com relação ao material de origem, ou seja, das rochas pré-cambrianas e setores sedimentares localizados (PRADO, 2008). Os solos são produtos do intemperismo e, portanto, incorporam os minerais decorrentes da desestabilização das rochas. Sendo assim, podem ser arenosos, quando derivados de rochas ricas em quartzo e micas (estas responsáveis pelo surgimento de argila), e cascalhosos ou seixosos, quando a rocha alterada é rica em minerais menos hidratáveis como o quartzo e o feldspato.

No decorrer das modificações geomorfológicas, formações não florestais, caducifólias e espinhosas se estabeleceram principalmente em áreas de depressão, enquanto as formações florestais ou arbustivas estacionais não espinhosas ocuparam os relevos residuais: serras e chapadas (GOMES, RODAL & MELO, 2006).

Portanto, ao analisar os registros fotográficos da região, percebe-se a presença de plantas mais resistentes nas depressões e, portanto, melhor expressivas de recuperação ambiental.

O MMA descreve a caatinga representada no mapa (Figura 6), em seu *site*, como “o ecossistema mais importante do ponto de vista do espaço ocupado no Estado de Pernambuco. Nacionalmente, esse bioma ocupa 11% do território, sendo presente em 70% do território nordestino”.

Figura 6 – Vegetação original do Brasil



Fonte: Ferreira, 2003.

“A Caatinga contém uma grande variedade de tipos vegetacionais, com elevado número de espécies e também remanescentes de vegetação ainda bem preservada, que incluem um número expressivo de táxons raros e endêmicos” (GIULIETTI *et al*, 2002). Porém, o MMA estima que cerca de 80% da Caatinga sofreu ações antrópicas devido às atividades econômicas.

Em 1981, Andrade-Lima realizou a primeira classificação dos diferentes tipos de caatinga utilizando como parâmetros a fisionomia e dados florísticos aliado a fatores bióticos. Sendo assim, a Caatinga foi classificada em seis (06) unidades resultando em doze tipos vegetacionais. A Unidade III, segundo Sampaio (2002) “corresponde razoavelmente bem às bacias sedimentares, podendo incluir as Dunas Continentais, e parte das Chapadas Altas, que ocorrem no Araripe e Chapadas intermediárias”. Nesta área encontram-se a caatinga, o cerrado e o carrasco.

O cerrado segundo Macêdo *et al* (2013) é “formado por um complexo vegetacional, que abriga variações fisionômicas, que vão desde campestres a florestais. Embora sua área core esteja no Brasil Central, ele se estende pelas Regiões Sul, Sudeste, Nordeste e Norte do Brasil”, sendo encontrado na Chapada do Araripe.

Posteriormente, outros autores realizaram atualizações, a exemplo da classificação feita por Silva *et al* (1993) e divulgada pela EMBRAPA, na qual a Caatinga é dividida em vegetação hipoxerófila e hiperxerófila. De acordo com o

Os solos da Chapada do Araripe são principalmente latossolos – solos profundos, de fertilidade natural baixa, em geral arenoso e muito bem drenado, a ponto de haver pouca água na superfície (Velloso, Sampaio & Pareyn, 2002). Assim, os solos desta região são classificados como: Latossolos, Podzólicos Vermelhos e Amarelos e Neossolos litólicos.

O clima da região é caracterizado por um período bem definido de precipitações pluviométricas que varia de 500 a 950 mm entre dezembro e maio e umidade relativa em torno dos 60%. Os maiores níveis pluviométricos ocorrem no topo da chapada decrescendo com a altitude. Araújo (2004, p. 05) descreve o clima predominantemente do tipo BShw' de Köppen, quente e seco das baixas latitudes com chuvas de verão. Algumas áreas apresentam um clima ora mais seco, no Araripe piauiense - a oeste, ora mais úmido, na ilha úmida do Cariri, brejo do Crato-Juazeiro do Norte-CE a leste, que apresenta o clima Aw', quente e úmido a subúmido com chuvas de verão prolongadas para o outono. Entretanto, nesta região pode ocorrer irregularidades no índice pluviométrico como ocorrido entre os anos de 1993 e 1998 resultando “nos anos secos” com os índices pluviométricos próximos a zero (DUARTE, 2000).

O relevo da Mesorregião do Sertão e Chapada do Araripe é resultante das estruturas sedimentares, mais aquelas do embasamento cristalino (magmático-metamórfico), destacando-se, no topo, as rochas da Bacia Sedimentar do Araripe. Tal relevo pode ser compartimentado, grosso modo, em duas grandes unidades regionais compostas pela Chapada do Araripe e pela Depressão Periférica, limitadas por escarpas e tálus (ARAÚJO, 2004).

A vegetação é uma expressão do clima, bem como de outros fatores geo-ambientais representados pelo relevo, material de origem e pelos organismos, numa interação que ocorre ao longo do tempo e resulta, também, na determinação de todo o quadro natural (ARAÚJO, *op cit*).

No contexto da classificação de Andrade – Lima (1981) a Chapada do Araripe corresponde a Unidade III (Tipo 5 – *Pilosocerus*; *Poeppigia*; *Dalbergia*; *Piptadenia*), sendo considerada uma área de extrema importância biológica, por apresentar um mosaico vegetacional onde ocorrem manchas de florestas ombrófila e estacional, cerrado, caatinga e carrasco (Silva *et al*, 2004). Na encosta da Chapada do Araripe (frente norte) há floresta pluvial, no seu topo encontra-se um cerradão e a faixa Sul da Chapada é coberta por carrasco (Velloso, Sampaio & Pareyn, 2002). Existe uma

grande diversidade de espécies vegetais, muitas das quais endêmicas ao bioma, e outras que podem exemplificar relações biogeográficas que ajudam a esclarecer a dinâmica histórica vegetacional da própria Caatinga e de todo o leste da América do Sul (GIULLIETTI *et al*, 2002).

3.3 Formação geológica do Araripe.

A bacia do Araripe também engloba o Vale do Cariri sendo considerada a mais extensa do nordeste brasileiro, com aproximadamente 9.000Km² (Assine, 1992). Sua localização está sobre os terrenos pré-cambrianos da Província da Borborema, entre os meridianos 38°30' e 40° 50' de longitude oeste e os paralelos 7° 05' e 7° 50' longitude Sul (VIANA & NEUMANN, 2002).

Sua origem tem início com os eventos tectônicos responsáveis pela quebra do paleocontinente Gondwana e abertura do Oceano Atlântico Sul (Batista *et al*, 2012). Essa quebra resultou na fragmentação do Gondwana promovendo a reativação de falhas preexistentes no embasamento cristalino Pré-Cambriano, originadas durante a Orogênese Brasileira Pan-africana, desencadeando o desenvolvimento de pequenas bacias sedimentares ao longo das margens atlânticas do continente africano e sul-americano. Conseqüentemente, causou uma fenda entre o Brasil e a África, originando a depressão Araripe-Potiguar (MATOS, 1992).

No decorrer do tempo, vários processos geológicos, definidos como ações que promovem modificações na forma, estrutura ou composição da crosta terrestre, ocorreram neste grande bloco. Assim, a bacia foi lentamente alagada formando lagos rasos, gradativamente salinizadas com sulfatos e carbonatos, brejos, rios que carrearam e acumularam grandes quantidades de fragmentos de rochas, areia e lama proveniente das montanhas mais altas, e posteriormente vieram a compor as várias formações rochosas que formam a bacia do Araripe (GEOPARK ARARIPE, 2014).

Os primeiros estudos sobre a geologia desta região segundo Assine (1992) “foram realizados por Horatio Small no ano de 1913, o qual subdividiu o registro sedimentar em conglomerado basal, calcário Santana e arenito superior”. Posteriormente, a partir de estudos faciológicos, Beurlen em 1971 (apud Assine, *op.cit*), subdividiu a Formação Santana em três membros: Membro Crato (inferior),

constituído de calcários laminados fossilíferos e siltitos laminados; Membro Ipubí (intermediário), constituído por minerais evaporíticos (gipsita e anidrita); e Membro Romualdo (superior) abrangendo folhelhos, margas calcíferas e siltitos (CHAGAS, 2006).

“No território pernambucano a Formação Santana é habitualmente recoberto por capeamentos correlativos da Formação Exu, fruto da erosão regressiva da chapada em épocas mais recentes, o que dificulta a prospecção da gipsita (ARRUDA, 2012)”.

Desde os primeiros trabalhos geológicos realizados nesta Bacia, sua divisão tem sido revisada por diversos autores (Carvalho & Barreto, 2015), conforme consta na tabela (2). Para Assine (1992) os dados desta tabela “evidenciam a não concordância dos diversos autores no que concerne à divisão, nomenclatura, idade e relações de contato entre as diversas unidades estratigráficas”.

Tabela 2 – História da litoestratigrafia da Bacia do Araripe (NE, Brasil)

Small (1913)	Beurlen (1962, 1971)	Ponte & Appi (1990)	Assine (1990, 1992, 1994)	Martill & Wilby (1993)	Neumann & Cabrera (1999)	Valença <i>et al.</i> (2003)	Chagas (2006), Assine (2007)
Arenito superior	Fm. Exu	Fm. Exu	Fm. Exu	Fm. Exu	Fm. Exu	Fm. Exu	Fm. Exu
Calcáreo Sant'Ana	Fm. Santana	Fm. Arajara	Fm. Santana	Mbr. Romualdo / Fm. Santana / Fm. Ipubi / Fm. Crato	Fm. Arajara	Fm. Arajara	Fm. Araripina
		Fm. Santana			Fm. Romualdo	Fm. Romualdo	Mbr. Romualdo
		Fm. Rio da Bateira			Fm. Ipubi	Fm. Ipubi	Cm. Ipubi /
		Fm. Abaiara			Fm. Crato	Fm. Crato	Mb. Crato
Arenito inferior	Fm. Missão Velha	Fm. Barbalha	Fm. Barbalha	Fm. Rio da Bateira	Fm. Rio da Bateira	Fm. Rio da Bateira	Fm. Barbalha
		Fm. Abaiara	Fm. Abaiara	Fm. Missão Velha	Fm. Abaiara	Fm. Abaiara	Fm. Abaiara
		Fm. Missão Velha	Fm. Missão Velha	Fm. Brejo Santo	Fm. Missão Velha	Fm. Missão Velha	Fm. Missão Velha
		Fm. Brejo Santo	Fm. Brejo Santo	Fm. Brejo Santo	Fm. Brejo Santo	Fm. Brejo Santo	Fm. Brejo Santo
Conglomerado basal	Fm. Cariri	Fm. Mauriti	Fm. Cariri	Fm. Cariri	Fm. Mauriti	Fm. Mauriti	Fm. Cariri

Fonte: Antonietto, 2010 (adaptado de Martill, 2007).

3.4 Características socioeconômicas da Região

A principal atividade econômica da região é caracterizada pela exploração da gipsita no Pólo Gesseiro do Araripe. A economia baseia-se, ainda, em culturas de subsistência nas áreas de sequeiro, na pecuária extensiva, na agricultura, na

apicultura, e na exploração dos recursos florestais como matriz energética (SECTMA, 2007).

O Sindicato da Indústria do Gesso do Estado de Pernambuco (SINDUSGESSO), em site próprio, divulga que 97% da produção da gipsita encontram-se no Estado de Pernambuco, nos municípios de Araripina, Trindade, Ouricuri, Ipubi e Bodocó.

Segundo dados publicados pela Secretaria de Ciência, Tecnologia e Meio Ambiente de Pernambuco (2007), “o Pólo concentra 40% das reservas de gipsita do mundo estimadas em 1,2 bilhões de toneladas. O Estado de Pernambuco se destaca no cenário nacional e internacional, atendendo a quase 100% da demanda de gesso do mercado nacional”. Nesse mesmo ano, o Condepe/Fidem divulgou a existência de 350 empresas gesseiras e 25 destas responderam por 67% do volume total da produção. Portanto, cerca de 7% das empresas operantes alcançam mais marcadamente os danos ambientais nas etapas de mineração.

Para Araújo (2004, p.04): “as áreas de exploração de gipsita situam-se em dois trechos principais: a) Trindade-Ipubi; Bodocó-Ouricuri: faixa que se estende de NE a SW; e b) Araripina: faixa descontínua ao sul e sudoeste do município”. As reservas de gipsita estão distribuídas nos municípios de Ipubi (36%), Araripina (33%), Ouricuri (24%), Trindade (4%) e Bodocó (3%) (AGENDA 21, 2002).

A importância da vocação gesseira para a região, diante do elevado volume das reservas de gipsita, transcende o espaço geográfico do Estado e o seu desenvolvimento repercute nacionalmente. É inegável também o destaque dessa vocação como fonte de desenvolvimento e melhoria da qualidade de vida, geradora de empregos e de renda, em uma região de condições tão adversas e tão castigada pela falta de oportunidades (AGENDA 21 DE PERNAMBUCO, 2002).

Entretanto, no diagnóstico realizado na região do Araripe, foi observada uma pressão sobre os recursos naturais, especialmente os recursos florestais. A ação antrópica se processa com grande intensidade, resultando em áreas degradadas pelo consumo de lenha para atender a diferentes setores econômicos.

Por fim, em evento patrocinado pela FIEPE – Federação das Indústrias do Estado de Pernambuco, em Setembro de 2016, em Araripina-PE, vários empresários manifestaram sobre apoios à solução dos problemas ambientais e, também, sobre a necessidade de aproveitamento extensivo do potencial energético via turbo-elétricas.

3.5 Área de preservação ambiental na Região

Na Região do Araripe existe uma Área de Preservação Ambiental – APA - Chapada do Araripe criada através do decreto de 04 de Agosto de 1997, cujo Art 3º apresenta a seguinte delimitação, baseada nas cartas topográficas de escala de 1:100.000 da Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste-SUDENE e da Diretoria do Serviço Geográfico do Exército-DSG, Meridiano 39º W.Gr., folhas Jardim - SB.24-Y-D-VI, São José do Belmonte - SB.24-Z-C-IV; Bodocó - SB.24-Y-D-V; Ouricuri - SB.24-Y-D-IV; Simões - SB.24-Y-C-VI; Fronteiras - SB.24-Y-C-III; Campos Sales - SB.24-Y-D-I; Santana do Cariri - SB.24-Y-D-II; Crato - SB.24-Y-D-III; Milagres - SB.24-Z-C-I, e nas cartas imagem de radar de escala de 1:250.000 da DSG, folhas Picos - SB-24-Y-C e Juazeiro do Norte - SB-24-Y-D.

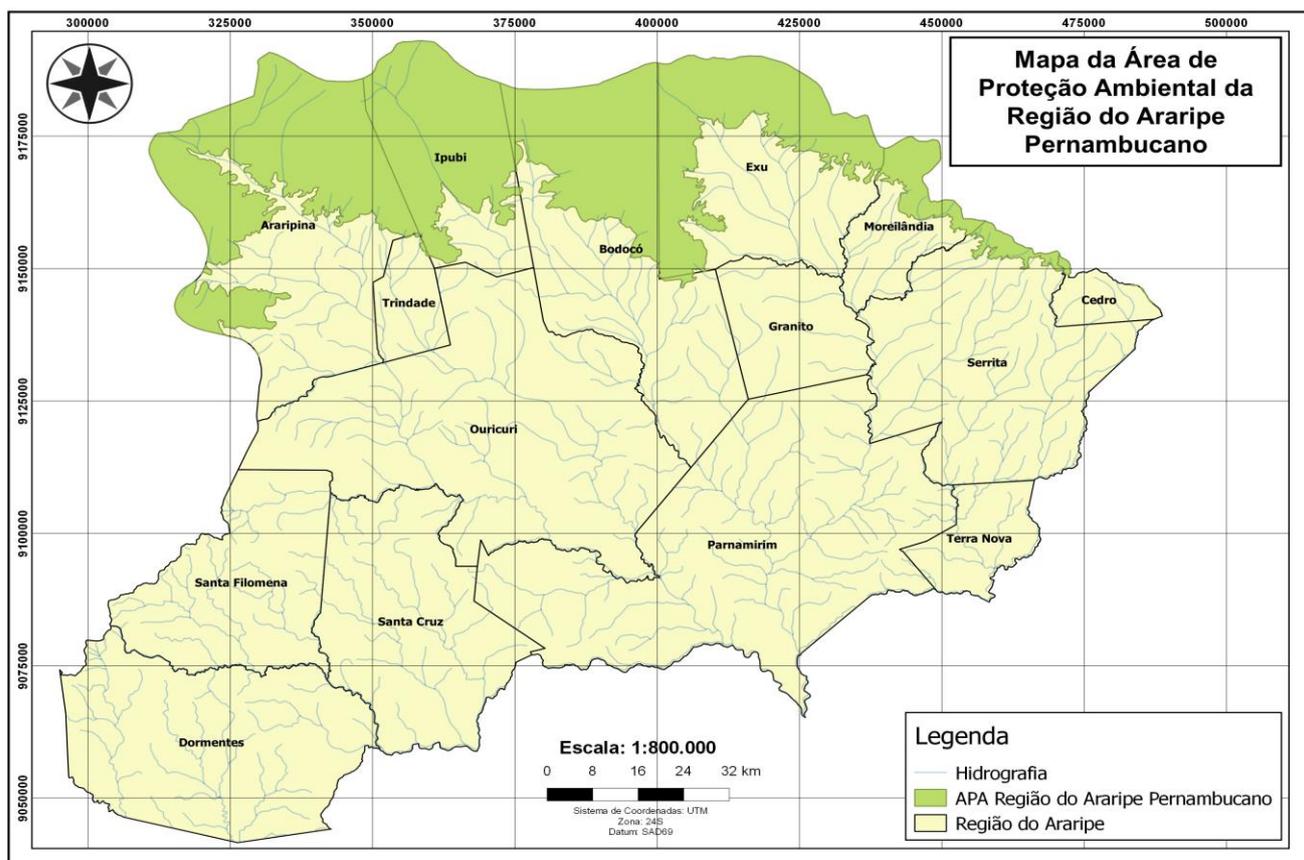
Referenciados pelo *Datum* SAD 69, o mapa da Figura 8 explicita os limites da referida APA, conforme Decreto de 04 de Agosto de 1997, Art 3º:

Sendo referenciada pelas coordenadas 7°07'07" de latitude sul e 40°34'10" de longitude oeste; ponto 01, de coordenadas 7°45'08" de latitude sul e 39°06'49" de longitude oeste; ponto 02, de coordenadas geográficas 7°40'42" de latitude sul e 39°17'04" de longitude oeste; ponto 03 (7°48'06" de latitude sul e 40°35'23" de longitude oeste), ponto 04 (7°50'20" de latitude sul e 40°32'28" de longitude oeste); desse ponto, segue a jusante pela calha maior do riacho do Baixio, percorrendo uma distância de 3.000 m, até o cruzamento com a curva de nível de 480 m, no Estado do Piauí, de coordenadas geográficas 7°50'28" de latitude sul e 40°34'06" de longitude oeste; desse ponto, segue por essa curva de nível na direção geral noroeste/leste, percorrendo uma distância de 548.000 m, até o limite com o Estado do Ceará e seguindo por esse limite interestadual na direção sudoeste, até o cruzamento com a curva de nível de 500 m, ponto 00, início desta descrição, totalizando uma área aproximada de 1.063.000 ha e um perímetro de 2.658.555 m.

Para o Instituto Chico Mendes (ICMBio) em seu site define a APA como “uma categoria de unidade de conservação federal de uso sustentável, em geral extensa, com certo grau de ocupação humana, com atributos bióticos, abióticos, estéticos ou culturais...”. Além disso, afirma que essas unidades têm como objetivos: “proteger a biodiversidade, disciplinar o processo de ocupação e assegurar a sustentabilidade do uso dos recursos naturais”.

No Diagnóstico realizado pela Secretaria de Ciência, Tecnologia e Meio Ambiente, em 2007, a chapada do Araripe apresenta altitudes entre 850 e 1000m com vegetação de Cerrado e Caatinga.

Figura 8 – Mapa da área de preservação ambiental no estado de Pernambuco



Perrella, 2017.

3.6 Panorama da legislação ambiental no Brasil

A revisão da legislação tem início no SÉC XIV com o período de escassez de alimento em Portugal tendo o SÉC XX como marco da legislação ambiental brasileira explicitada na figura 9.

Figura 9 – Sequência cronológica da legislação ambiental



Perrella, 2017.

Desde a descoberta do Brasil, a exploração dos recursos naturais não envolve ações voltadas à preservação do meio ambiente. As primeiras expedições realizadas para o interior do País, visando à descoberta e retirada das riquezas, promoveram o surgimento de vilas e, posteriormente, das cidades. Este processo culminou no aumento da população e urbanização do nosso país, ampliando assim a demanda por bens de consumo, os quais só puderam ser produzidos em larga escala graças ao desenvolvimento da tecnologia. Conseqüentemente, este período foi marcado pela exploração desenfreada do meio ambiente, sem preocupação com os possíveis efeitos.

Objetivamente, a intensificação das discussões voltadas para as questões ambientais, no Brasil, “iniciou na década de 1970 com os debates sobre o sistema nacional de unidades de conservação” (Lange, 2005) e ganharam força durante a Conferência das Nações Unidas, realizada no Rio de Janeiro em 1992 (Rio-92). Wainer (1993) ressalta, no entanto, a importância que as normas ambientais portuguesas tiveram sobre as normativas brasileiras. Isto porque desde o descobrimento, Portugal já possuía normas ambientais consideradas avançadas para o momento, e que foram elaboradas à luz das ameaças na produção de alimentos que o referido país enfrentou na época. Em 1311, por exemplo, D. Afonso III proibiu por lei que a farinha e o pão fossem levados para fora do reino. Já em 1326, o Rei Diniz considerou crime o furto de aves, instituindo a punição através do pagamento de multa. Anos mais tarde, D. Fernando, em 1375, determinou a ampliação da área de cultivo devido à escassez de alimentos. Além disso, conforme destaca Wainer (1993), um dispositivo ambiental bastante evoluído, até mesmo nos dias atuais, era a Ordenação Afonsina, a qual proibia o corte das árvores frutíferas, considerado uma injúria ao rei.

Segundo o referido autor (Wainer, *op. cit.*), as novas leis criadas entre 1446 e 1521, as ordenações Manoelinas, não divergiram das ordenações Afonsinas, mas, em relação à legislação ambiental houve uma modernização e um detalhamento nas

normas. Na proibição da caça de animais, por exemplo, não foram especificadas as espécies no novo texto, mas houve o cuidado em detalhar a forma como não poderiam ser mortos – “utilizando algum instrumento que lhe causassem a morte com sofrimento”. Curioso mencionar que a norma expressava as áreas nas quais a caça era proibida e em quais era permitida, introduzindo assim, o assunto de zoneamento ambiental, sendo tema de leis atuais.

As ordenações Filipinas, durante o período de colonização espanhola, em 1603, determinaram o plantio de árvores em terrenos baldios, mantendo como crime o corte de árvores frutíferas e estabelecendo a proteção de alguns animais. Foi implementada a proteção aos olivais e pomares e a proibição do lançamento de quaisquer materiais em rios e lagos capazes de matar os peixes. Este, portanto, foi o início do tema “poluição”. Dois anos mais tarde, no Brasil, foi decretada a primeira Lei Florestal Brasileira, chamada de “Regimento sobre o pau-brasil”. A partir daí, a preocupação com o desmatamento passou a ser uma constante e foi inserida no Regimento da Relação da Casa do Brasil em março de 1609, sendo esse o primeiro tribunal instalado na cidade de Salvador com jurisdição em toda a colônia (Wainer, *op cit*).

Posteriormente, D. Maria I ordenou a proteção das madeiras nas matas através de uma carta-régia, e em 1797, essa norma foi reformulada exigindo então mais cuidados na conservação das matas, arvoredos e, em especial, o pau-brasil. Além disso, durante o curto período de conquista da terra brasileira, os holandeses editaram uma das legislações mais ricas daquela época (Wainer, *op. cit.*).

As regras de direito dessa época, portanto, tinham como finalidade preponderante assegurar as condições de ocupação e exploração do território brasileiro numa dimensão essencialmente agrária e possessória (Freiria 2015, pág. 158). Apesar de grande número de normas jurídicas ambientais, não se tem evidência de sua aplicação. Um dos motivos pode ser a centralização dos documentos pela Metrópole lusa, muitos dos quais foram destruídos no incêndio de 01 de novembro de 1755 (Wainer, 1993).

Com o decorrer dos anos, o aumento das preocupações voltadas ao meio ambiente promoveu a ampliação das legislações ambientais. Entretanto, inicialmente as normas tratavam separadamente dos bens da natureza, como se observa no Código Civil de 1916, o qual dispunha sobre os interesses privados e proteção da água como recurso natural de suma importância. Assim, segundo Freiria (2015, pág

161) “surgiram às primeiras leis específicas” sobre o meio ambiente e, a partir de então, ocorreu a mudança na concepção dos recursos naturais, antes vistos como inesgotáveis, para finitos.

“Em 1972, a conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente Humano, realizada em Estocolmo, uniu os países desenvolvidos e em desenvolvimento para traçarem juntos os “direitos” universais a um meio ambiente sadio e produtivo” (Lange, 2005). Ainda de acordo com o autor citado anteriormente a partir desta conferência foram criadas as bases para que o meio ambiente seja entendido como um bem comum, um bem público, assim, modernizando os dispositivos legais existentes.

A promulgação da Política Nacional de Meio Ambiente, em 1981, segundo os autores Philipi e Alves (2005), “representou um marco no desenvolvimento de políticas públicas ambientais brasileiras”. Essa lei regulamentava as diretrizes para a preservação, melhoria e recuperação da qualidade ambiental propícia à vida, sendo também, responsável por criar órgãos reguladores e fiscalizadores ao cumprimento da mesma, além de determinar as suas respectivas punições ao seu descumprimento, apresentando os seguintes princípios: como a manutenção do equilíbrio ecológico; a racionalização dos recursos naturais assim como o seu planejamento e fiscalização; proteção dos ecossistemas; controle e zoneamento das atividades potencialmente ou efetivamente poluidoras; incentivos ao estudo e pesquisas; acompanhamento do estado da qualidade ambiental; recuperação de áreas degradadas; proteção de áreas ameaçadas de degradação e promover a educação ambiental a todos os níveis de ensino formal e não formal a fim de que a comunidade proteja o meio ambiente.

Posteriormente, a Constituição Federal de 1988 estabeleceu, em seu Art. 225, que “todos tem o direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, cabendo tanto ao Poder Público quanto à coletividade protegê-lo e preservá-lo para presentes e futuras gerações”. Como alicerce do arcabouço legal brasileiro, a Magna Carta abraçou a questão ambiental, dando base e fundamento para as exigências legais e para a criação de políticas públicas referentes à matéria. (Philipi e Alves, 2005 pág. XIV). A construção desse artigo, supracitado, teve como base os Princípios de nºs 1 e 17, presentes na Declaração de Estocolmo.

Sendo assim, a intensa exploração e poluição do meio por longo período, principalmente pós Revolução Industrial, despertou na comunidade científica o interesse em analisar as consequências das ações antrópicas. Esta problemática, segundo Philipi e Alves (*op cit*, pág XVIII), “não respeita fronteiras políticas ou administrativas, gerando conflitos entre as nações. Os conflitos causados pela ação transfronteiriça resultaram, no âmbito internacional, na proposição de tratados firmados no sentido de controlar e proteger o meio ambiente em nível global, buscando-se adotar medidas que contribuam para o equilíbrio ecológico do planeta”.

No que tange da obrigação em proteger o meio, vale ressaltar os princípios da Prevenção e Precaução, pois para proteger é necessário adotar medidas de precaução. O princípio também explicita e dispõe que o poluidor tem o dever de pagar pelos custos da poluição. Outrossim, o Princípio do Desenvolvimento Sustentável determina um modelo de desenvolvimento que não prejudique o meio garantindo que as futuras gerações possam usufruir do mesmo.

Deve-se lembrar que a ideia principal é assegurar existência digna, com uma vida de qualidade. Com isso, o princípio de desenvolvimento sustentável não objetiva impedir o desenvolvimento econômico. Sabemos que a atividade econômica, na maioria das vezes, representa alguma degradação ambiental. Todavia, o que se procura é minimizá-la, pois pensar de forma contrária significaria dizer que nenhuma indústria que venha a deteriorar o meio ambiente poderá ser instalada, e não é essa a concepção apreendida do texto. O correto é que as atividades sejam desenvolvidas lançando-se mão dos instrumentos existentes adequados para a menor degradação possível (Fiorillo, Morita e Ferreira, 2011).

Um dos instrumentos da Política Nacional do Meio Ambiente é o Licenciamento Ambiental descrevendo em seus Art. 9º e 10º, que qualquer empreendimento caracterizado como potencial poluidor tem por dever recuperar a área degradada, por suas atividades. Por sua vez, a mineração apesar de ser considerada uma atividade econômica de suma importância para o desenvolvimento de outras atividades, pois os minerais estão presentes na maioria dos produtos utilizados pela população, gera impactos adversos.

O licenciamento ambiental é definido como um procedimento administrativo pelo qual o órgão competente licencia a localização, instalação e operação de empreendimentos e atividades utilizadoras de recursos ambientais consideradas efetiva ou potencialmente poluidoras ou daquelas que, sob qualquer forma, possam

causar degradação ambiental, considerando as disposições legais e regulamentares e as normas técnicas aplicáveis ao caso (Resolução 237/97, Art.1º). Este licenciamento estabelece as condições, restrições e medidas de controle ambiental que devem ser cumpridas tanto por pessoa física quanto pessoa jurídica.

Assim, a atividade minerária dentro do contexto legal, é considerada potencialmente poluidora, sendo necessária solicitar as licenças prévias, de instalação e operação (Art. 1º, §2º, Resolução 237/97). Portanto, faz-se necessário realizar previamente estudos de impacto ambiental e seu respectivo relatório, conhecidos, respectivamente, como EIA e RIMA além da elaboração de um Plano de Recuperação de Área Degradada (PRAD).

Entretanto, a própria legislação apresenta controvérsias em relação à recuperação de áreas degradadas por atividades minerárias. Por exemplo, a Constituição Federal/ 88, Art. 225 § 2º, é clara ao determinar: “aquele que explorar os recursos minerais fica obrigado a recuperar o meio ambiente degradado, de acordo com solução técnica exigida pelo órgão público competente, na forma da lei”. Porém, o decreto de nº 97.632/ 89, dispõe sobre a necessidade de preparação de um PRAD para todas as atividades de extração mineral, em seu Art. 3º define o termo recuperação como: “o retorno do sítio degradado a uma forma de utilização, de acordo com o plano pré-estabelecido para o uso do solo, visando à obtenção de uma estabilidade ambiental”, ou seja, segundo Sanchez (2006 pág 273) “não se exige, da mineração, a restauração do sítio degradado, mas que novas condições ambientais se caracterizem pela estabilidade física e química”.

Por se tratar da extração de recursos naturais não renováveis da crosta terrestre, a mineração geralmente é vista como uma atividade altamente impactante e não sustentável. Por outro lado, a mineração é juntamente com as outras duas atividades econômicas primárias – agricultura e pecuária – a base da sociedade industrial moderna, fornecendo matéria-prima para todos os demais setores da economia, sendo, portanto essencial ao desenvolvimento. A extração mineral é considerada de tal forma estratégica que no Brasil, como na maioria dos países, os depósitos minerais (jazimentos) são bens públicos, extraídos por concessão do estado.

Os efeitos ambientais e sócio-econômicos do aproveitamento destes jazimentos dependem, principalmente, da forma na qual esta atividade será

planejada e, principalmente, como será desenvolvida (Ministério do Meio Ambiente, 2001).

Sendo assim, ainda vale ressaltar a existência de uma legislação específica para esta atividade, o Código de Mineração e suas normas correlatadas. A Lei que assegura a produção mineral no país é de 1967 e foi sendo detalhada através de Decretos e Portarias diversas, que têm feito bem o papel de reguladoras da mineração, porém, um novo projeto de lei, que prevê atualizar o sistema de outorga de direitos para a exploração mineral, foi sugerido em 2011, denominado como Projeto de Lei nº37/2011 (Hoeflich & Trzaskos, 2015). Este projeto de Lei ainda não foi aprovado devido às divergências nos ideais dos atores envolvidos.

Porém, o Código de Mineração vigente promulga que cabe ao Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM) a execução do mesmo e das demais normas complementares. Na Lei supracitada, a única menção sobre legislação ambiental consta em seu Art. 22, §2º, é admitida, em caráter excepcional, a extração de substâncias minerais em área titulada, antes da outorga da concessão de lavra, mediante prévia autorização do DNPM, observada a legislação ambiental (Código de Mineração, 1967).

Por oportuno, articulou-se um Novo Marco Regulatório, com pretensão de utilizar a Licitação em leilões, para jazidas de alguns bens minerais em substituição ao título autorizatório - Alvará de Pesquisa ou Portaria de Lavra - vigente na Legislação atual. Mais recentemente, criou-se a Agência Nacional de Mineração, em substituição ao Departamento Nacional da Produção Mineral.

3.7 Desertificação

“Em 1977, em Nairóbi, Quênia, a Conferência das Nações Unidas sobre Desertificação, definiu este processo como sendo a diminuição ou destruição do potencial biológico da terra, o qual resulta em definitivo em condições de tipo desértico” (SOARES, 2012).

Para Pereira, Paschoal & Araújo (2014), “os desertos ocorrem de forma natural, ou seja, mesmo sem a interferência humana no local, as condições ambientais, principalmente as climáticas, favorecem ao surgimento dos mesmos, porém, a forma como o homem faz uso indiscriminado dos recursos do solo, contribui para o surgimento de regiões desérticas (com características semelhantes a desertos)”.

Os principais fatores que influenciam no processo são o clima e a ação antrópica, onde a estiagem por longos períodos e as crescentes ações humanas, sem a preocupação com o meio, causam, segundo Pereira, Paschoal e Araújo (*op cit*) “a aridez e os desertos avançam”, pois a consequência deste processo é a erosão dos solos e a diminuição da capacidade produtiva dos mesmos.

Segundo Matallo Júnior (2001) “as regiões áridas e semiáridas espalham-se por todos os continentes do globo, ocupando 1/3 de toda a superfície da terra e abrigando cerca de 1/6 de toda a população”. Entretanto, este autor questiona sobre o conceito da desertificação apresentado na Convenção, onde desertificação é entendida como “a degradação da terra nas regiões áridas, semiáridas e sub-úmidas secas, resultante de vários fatores, entre eles as variações climáticas e as atividades humanas” pois, para Matallo Júnior (*op cit*) “a ideia de “degradação da terra” é ela mesma uma ideia complexa, com diferentes componentes. Esses componentes são: a) degradação de solos, b) degradação da vegetação, c) degradação de recursos hídricos, e d) redução da qualidade de vida da população. Esses 4 componentes dizem respeito a 4 grandes áreas de conhecimentos: físicos, biológicos, hídricos e socioeconômicos”, além disso, afirma que os fatores socioeconômicos não existem critérios realmente consistentes ao ponto de incorporá-lo ao tema.

“A discussão das causas e consequências da desertificação, degradação de terras e ocorrência de secas é um assunto complexo e ainda pouco entendido. A relação entre desertificação e seca, por um lado, e a influência humana, de outro, ainda não foi completamente explicada” (Fernandes & Medeiros, 2009). Para o MMA (2005), “a seca e desertificação apresentam-se como fenômenos distintos, mas estreitamente relacionados”.

O que vem acelerando o processo é a forma como o homem vem desenvolvendo atividades como a agricultura, o desmatamento para obtenção de lenha ou criação de animais inclusive as atividades minerárias conforme o MMA (*op cit*) afirma: “a retirada da vegetação para fins de exploração do material do solo ou subsolo, típica da atividade mineira, implica na retirada de areia de construção dos aluviais de beira de rio à remoção de camadas de terra para acesso a veios de minério, nas áreas de minas são comuns à formação de depósitos de resíduos, freqüentemente tóxicos, e a presença de escavações, que parecem rasgar a terra deixando expostas suas entranhas”.

Soares (2012), afirma que “o Brasil está envolvido no debate sobre o processo

de desertificação desde o início das discussões”, além disso, Pernambuco foi o primeiro a publicar, em 2010, um programa de combate a este processo.

A Política Estadual de Combate a Desertificação e Mitigação dos efeitos da seca, promulgada em 17 de Junho de 2010, determina em seu Art. 18 que as diretrizes desta Lei deverão estar articuladas com as demais políticas públicas e serem observadas em normas, planos, programas e projetos, destinados a orientar a ação do Estado e Municípios no que se relaciona com a manutenção do equilíbrio ecológico e preservação da qualidade socioambiental do semiárido pernambucano, obedecendo a seus princípios. Além disso, o Parágrafo único dispõe que as atividades empresariais, públicas ou privadas, serão exercidas em consonância com as diretrizes da Política Estadual de Combate Desertificação e Mitigação dos Efeitos da Seca.

O objetivo geral, da Lei supracitada, é determinado no Art. 4º comprometendo-se a garantir às populações locais condições de vida digna para convivência com o semiárido, promovendo o desenvolvimento socioambiental sustentável e a manutenção da integridade dos ecossistemas característicos desta região, amparados nos seguintes objetivos especificamente destacados:

I – prevenir e combater o processo de desertificação e recuperar as áreas afetadas no território do Estado de Pernambuco;

II – proteger, monitorar e efetuar controle socioambiental dos recursos naturais das áreas afetadas e susceptíveis à desertificação, através de mecanismos adaptados às condições socioambientais da região;

III – incentivar o desenvolvimento de pesquisas científicas e tecnológicas voltadas ao desenvolvimento sustentável no semiárido pernambucano e à preservação e conservação do Bioma Caatinga;

IV – fomentar e apoiar práticas sustentáveis, tais como a agroecologia e o manejo florestal sustentável de uso múltiplo, na agricultura familiar e demais arranjos produtivos, garantindo a valorização e a utilização sustentável dos recursos naturais nativos e da agro biodiversidade para a autonomia e segurança alimentar e nutricional da população da região.

“Dentre as várias técnicas de detecção do problema da desertificação, constata-se que o sensoriamento remoto é uma ferramenta que possui capacidade de detectar e mensurar as mudanças ocorridas na superfície terrestre” (PEREIRA, PASCHOAL E ARAÚJO, 2014).

“Sendo assim, “a quantificação, a avaliação de risco e o monitoramento da desertificação, podem ser realizados a partir de parâmetros biofísicos (tais como, índices de vegetação) e físicos (albedo, temperatura, emissividade, dentre outros) obtidos por meio de imagens orbitais, para determinação de mudanças na superfície (LOPES *et al*,2010).

3.8 Geoprocessamento

O conhecimento do espaço onde o ser humano vive e desenvolve suas atividades constitui a base para o aproveitamento dos recursos naturais e o desenvolvimento da sociedade (Centeno, 2004). Por isso, é importante realizar o monitoramento com o intuito de planejar este aproveitamento.

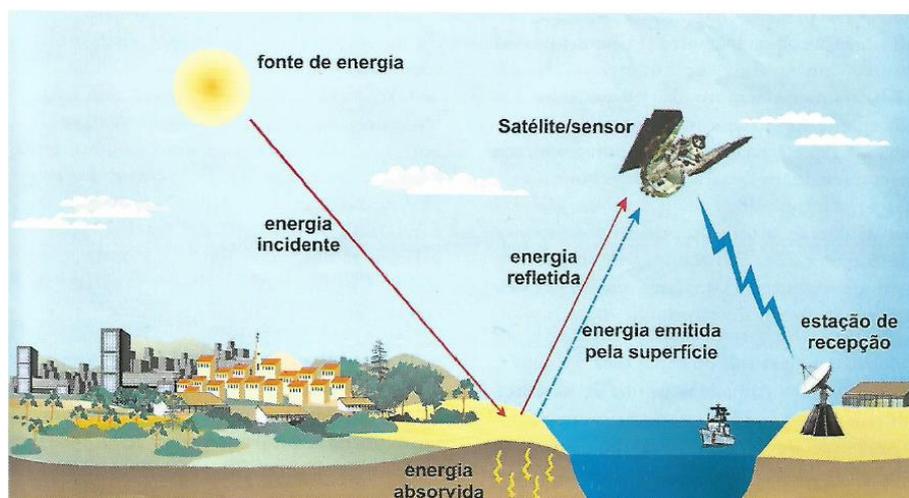
Geoprocessamento é o conjunto de tecnologias que visam coletar e armazenar dados georreferenciados que podem ser trabalhados através do Sistema de Informações Geográficas (SIG). “Os SIG são sistemas computacionais, usados para o entendimento dos fatos e fenômenos que ocorrem no espaço geográfico” (SANTOS, PINA & CARVALHO, 2000)

Essas tecnologias ou geotecnologias são denominadas por Mendonça, *et al* (2011) como “o conjunto de tecnologias que manipulam dados e informações sobre feições e/ou fenômenos. Estas feições e/ou fenômenos possuem um vínculo com o espaço e podem ser localizados a partir de coordenadas geográficas”.

Para Santos (2004), o SR “pode ser dividido em dois grandes sub-sistemas: coleta de dados do sensoriamento remoto que consiste na detecção da radiação proveniente da superfície e transmissão da radiação para posterior transmissão e registro, e a análise de dados do sensoriamento remoto que inclui o pré-processamento, processamento de realce, fotointerpretação, interpretação automática e modelagem”.

Ou seja, para Florenzano (2002) “o sensoriamento remoto é a tecnologia que permite obter imagens e outros tipos de dados, da superfície terrestre, através da captação e do registro da energia refletida ou emitida pela superfície”.

Figura 10 - Obtenção de imagens por sensoriamento remoto



Fonte: Florenzano, 2002.

Na figura 10, podemos observar que tanto a energia do Sol refletida pela superfície quanto a emitida pela mesma, em direção ao sensor, é capturada pelo sensor. Entretanto, essa captura depende do tipo de sensor.

Logo, para obter os dados, os sensores necessitam de energia. Segundo Florenzano, *op cit*, essa energia pode ser “proveniente de fonte natural, o sol e o calor emitido pela superfície da Terra e por fonte artificial”.

Para Centeno (2004) “a dedução de informações a respeito dos objetos à distância em sensoriamento remoto se realiza através da análise da interação de energia eletromagnética com a superfície dos mesmos”. Pois, a energia utilizada pelo SR é “a radiação eletromagnética que se propaga em forma de ondas eletromagnéticas com a velocidade da luz” (Florenzano, 2002), medida através do comprimento de onda (λ), amplitude e frequência. Ter o conhecimento sobre a existência dos diferentes tipos de energia eletromagnética “é relevante para os estudos de sensoriamento remoto, pois alguns tipos de energia podem ser absorvidos ou refletidos com maior intensidade que outros por diferentes superfícies” (Centeno, 2004). Assim, “o espectro eletromagnético representa a distribuição da radiação eletromagnética, por regiões, segundo o comprimento de onda e a frequência” (FLORENZANO, 2002).

Sendo assim, Centeno (2004), cita que os elementos básicos para a aquisição das informações são: energia eletromagnética; fonte de emissão de energia; propagação da energia; interação da energia com objetos na superfície; sensores; a

transmissão e recepção dos dados da Terra e a interpretação.

As informações obtidas através de imagens de sensoriamento remoto são de extremo valor para diversas e importantes aplicações, entre as quais destacamos avaliação de desflorestamentos e reflorestamentos, a análise de cobertura do solo, o suporte à previsão de safras, o monitoramento ambiental, entre outros (CONCEIÇÃO, 2004).

Além disso, Centeno (2004), afirma que cada objeto, devido à sua natureza e estado de sua superfície, tem a capacidade de refletir ou absorver mais energia em determinados comprimentos de onda, sendo relevante, pois o sensoriamento remoto utiliza determinadas faixas do espectro que podem ser manipuladas por equipamentos.

No que diz respeito aos intervalos de comprimentos de onda, as faixas utilizadas são: região do visível (0,4 a 0,7 μ m) e a região do infravermelho a qual é subdividida em: infravermelho próximo (0,7 a 1,3 μ m); infravermelho médio (1,3 a 8,0 μ m) e infravermelho distante ou emissivo (8 a 14 μ m). Para Centeno *op cit*, “a região do infravermelho é importante para o sensoriamento remoto, pois, nela é possível registrar alguns fenômenos naturais com muita clareza”. Florenzano (2002) acrescenta que a região do visível, “o olho humano enxerga a luz da energia eletromagnética”.

Sendo assim, Florenzano (2008) define os sensores remotos como “parte da carga útil do satélite, são equipamentos que registram a energia refletida ou a energia emitida pelos objetos da superfície terrestre. Essa energia é transformada em sinais elétricos, que são transmitidos para as estações de recepção que integram o segmento solo, na Terra. Os sinais, por sua vez, são processados e transformados em imagens. Para captar os dados da superfície terrestre, os sensores a bordo dos satélites ficam apontados sempre para a Terra”.

Existem satélites artificiais para funções específicas como os de comunicação e meteorológico, entretanto, para fins desta pesquisa, o satélite de recursos terrestres é o mais adequado. Estes satélites “possuem uma órbita circular, quase polar e síncrona com o Sol, ou seja, se deslocam em torno da Terra numa mesma velocidade de deslocamento da Terra em relação ao Sol” (Florenzano, 2002). “Esse fato lhe confere a vantagem das mesmas condições de iluminação para a superfície terrestre e a passagem aproximadamente no mesmo horário local sobre os diferentes pontos da Terra” (FLORENZANO *op cit*).

Dentre os satélites de recursos terrestres, os da série LANDSAT, americanos são muito requisitados. “O primeiro satélite desta série foi lançado em 1972, pela NASA” (FLORENZANO, *op cit*)

No Brasil, a aplicação das técnicas de sensoriamento remoto no estudo da vegetação teve início com os primeiros mapeamentos realizados na década de 40 a partir de fotografias aéreas. Eram trabalhos pontuais e com objetivos bastante específicos (Ponzoni & Shimabukuro, 2009). E a utilização das imagens dos satélites da série LANDSAT, pelo Brasil é desde 1973.

Para Accioly *et al* (2006) as imagens capturadas pelos sensores da série Landsat são consideradas como “a única fonte de dados multiespectrais disponível para a análise de mudanças temporais ocorridas na ocupação das terras a partir da década de 1970”.

No entanto, é importante ressaltar que o Sensoriamento Remoto e Sistema de Informação Geográfica (SIG) possuem conceitos bem distintos. O primeiro é a ciência de obtenção de dados da superfície terrestre através de imagens obtidas por sensores aerotransportados ou a bordo de satélites orbitais, enquanto que o segundo é utilizado para armazenar, gerenciar e manipular estes dados, a fim de revelar novas informações (MENDONÇA *et al*, 2011).

“Essa tecnologia oferece em particular os índices de vegetação oriundos de combinações lineares de dados espectrais, que realçam o sinal da vegetação ao mesmo tempo em que minimizam as variações na irradiância solar e os efeitos do substrato do dossel” (JACKSON & HUETE, 1991).

As ferramentas utilizadas para trabalhar os dados pelo SIG são os Softwares. Estes podem ser comprados, porém possui um custo elevado ou podem utilizar softwares livres que segundo o autor supracitado “possuem uma ampla capacidade para manipular estes dados”.

Para Centeno (2004), “os dados contidos em várias imagens, obtidas em faixas espectrais diferentes, podem ser combinados para salientar determinadas características dos alvos”. São utilizadas, conforme Centeno (*op cit*), operações aritméticas como adição e subtração para gerar uma nova imagem através da manipulação de várias bandas. Ainda segundo o autor (*op cit*) podemos observar a evolução de um elemento, exemplo corpo d’água, através de imagens com datas diferentes por meio da diferença das mesmas, quando estas são consideradas binárias, onde 1 representa a presença de água e 0 outros elementos. A diferença

entre as duas imagens pode ser 0,1 ou -1, logo, quando a diferença é nula não houve mudança, se a diferença for positiva significa que ocorreu aumento na área do corpo d'água e se for negativa houve redução.

Segundo, Centeno (*op cit*), “outra transformação consiste em calcular a razão entre as duas bandas”. Ainda segundo este autor “o uso da razão de bandas em sensoriamento remoto é a combinação de uma banda na faixa visível, mais precisamente no vermelho, e uma segunda no infravermelho próximo”. “O NDVI é utilizado para identificar a presença de vegetação verde na superfície, permitindo caracterizar sua distribuição espacial e a evolução do seu estado ao longo do tempo, que é determinada a partir das variações”(BRITO *et al*, 2008).

Para Centeno (2004), “os objetos na Terra apresentam comportamento espectral muito variado”. Alvos com características similares, devido à sua posição em relação ao sol e suas condições naturais, podem refletir a energia de forma diferente.

“Quando nos detemos nos padrões de vegetação, observamos que a determinação e diferenciação da vegetação por métodos de sensoriamento remoto são possíveis em diferentes intervalos de comprimento de onda do espectro eletromagnético” (WAGNER, 2013).

Na região do visível do espectro eletromagnético (0,4-0,6 μm) o padrão da reflexão é determinado pela clorofila. A radiação incidente atravessa, quase sem perda, a cutícula e a epiderme onde as radiações correspondentes ao vermelho e ao azul são absorvidas pelos pigmentos do mesófilo, causando uma reflexão característica baixa nos comprimentos de onda citados. Na região do infravermelho (0,7-1,3 μm), dependendo da espécie vegetal, a radiação é refletida em uma proporção de 30 a 70 % dos raios incidentes. A reflexão neste intervalo é causada pela mudança do índice de refração nas áreas frontais de ar/célula do mesófilo. Nos comprimentos de onda acima de 1,3 μm , o conteúdo de água das folhas influencia mais fortemente a interação com a radiação (MOREIRA, 2005 apud WAGNER, 2013).

A energia refletida pode ser medida por um espectrômetro, podendo ser representada num gráfico por meio de curvas. “A curva de referência da vegetação é associada às características das folhas”(CENTENO, 2004).

Segundo Ponzoni & Shimabukuro (2009), “como ferramenta para o monitoramento da vegetação, o Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (*Normalized Difference Vegetation Index* – NDVI)”, é utilizado para construir perfis

sazonal e temporal da vegetação, permitindo comparações interanuais desses perfis”.

Para Liu (2007,) “o objetivo dos índices de vegetação é condensar as informações espectrais e discriminar o que é vegetação e não vegetação, com a vantagem de corrigir parcialmente os efeitos das variações locais das condições atmosféricas e das variações de ângulo de visada”.

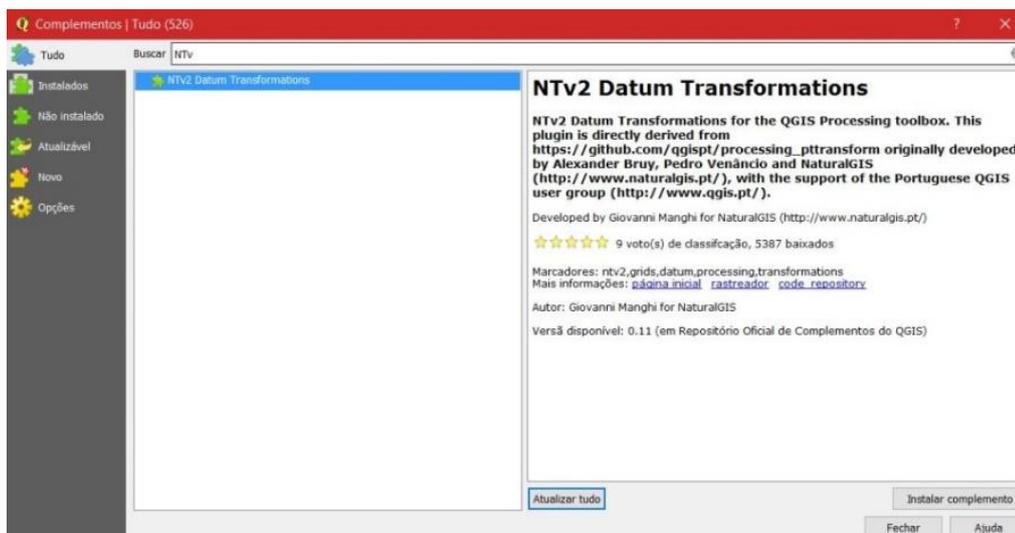
Os índices de vegetação ressaltam diferenças existentes entre o solo e a vegetação, além de sintetizar informações de duas bandas espectrais em apenas uma. O NDVI é um indicador sensível da quantidade e das condições da vegetação. Para sua determinação é necessário converter os valores brutos de imagens de satélite em valores físicos (BRITO, *et al*, 2008).

O QGIS é um exemplo de software livre, ou seja, um *open source*, o que lhe confere a capacidade de liberdade para executar o programa, para estudar e modificá-lo caso tenha os conhecimentos mais específicos na área e assim fazê-lo. Produzido no ano de 2002 vem sofrendo constantes atualizações desenvolvendo mais recursos facilitando e/ou ampliando o seu uso não somente para a geração de mapas, mas, também para análises espaciais.

Além disso, de acordo com Dias (2016), “o QGIS, como qualquer *software* aberto, segue a filosofia de aproveitar as ferramentas que já estão disponíveis, e não trabalhar na recriação da mesma ferramenta, e o melhor exemplo desta filosofia foi a integração com um dos mais potentes programas de análise SIG, o GRASS”.

Ainda conforme o autor *op cit*, o QGis “permite que dados de diferentes sistemas de coordenadas sejam exibidos de acordo com a definição do sistema de coordenadas do projeto”, ou seja, dados com datum diferentes podem ser reprojitados sem distorções no sistema pré-definido (Figura 11).

Figura 11 – Complemento para reprojeção de arquivos no QGis



Fonte: Dias (2016)

. Este software, segundo Vist, Gonçalves e Santos (2013), pode ser atualizado obtendo assim, novas ferramentas específicas para desenvolver seu projeto. Para isso conta com a opção de *plug-ins* de complemento, para acessar basta clicar na opção MENU, contida na barra de ferramentas, na aba COMPLEMENTOS e selecionar GERENCIAR E INSTALAR COMPLEMENTOS.

3.9 Agenda 21 de Pernambuco

Constitui, sem dúvida, um marco na elaboração de políticas públicas no Estado (Moura, 2002). Trata-se de um plano de ação estratégica para promover, em escala planetária, um novo padrão de desenvolvimento global que garanta a qualidade de vida para atuais e futuras gerações. O termo Agenda buscou registrar os compromissos das nações com as mudanças para esse novo modelo de desenvolvimento sustentável, que estabelece o equilíbrio entre crescimento econômico, igualdade social, preservação ambiental e conservação e manejo dos recursos naturais (AGENDA 21, 2002). Com base na Agenda 21 brasileira e os objetivos e metas da Declaração do Milênio da ONU, foram fomentado os objetivos e metas da Agenda 21 de Pernambuco. Destacando o objetivo 7, compreendendo as metas 9 a 13 descritas na tabela abaixo (Tabela 3).

Tabela 3 – Metas da Agenda 21 de Pernambuco

Objetivo 7		Garantia da sustentabilidade ambiental	
meta 9	Integrar os princípios do desenvolvimento sustentável às políticas e programas executados e reverter a degradação dos recursos naturais.	26.	Percentual da área coberta por floresta.
		27.	Áreas protegidas para manter a biodiversidade.
		28.	Percentual da população com acesso à água potável.
meta 10	Reduzir em 50% a proporção de pessoas sem acesso à água potável até 2015.		
meta 11	Alcançar melhorias significativas nas condições de habitabilidade de 2/3 das favelas até 2015.	29.	Percentual da população com acesso a esgoto sanitário.
		30.	Percentual da população com título de posse da propriedade.
meta 12	Ampliar em 2/3 a geração de energia com fontes renováveis.	31.	Percentual de energia gerada com fontes renováveis.
meta 13	Erradicar os lixões do Estado até 2006.	32.	Percentual de municípios sem destinação final de resíduos sólidos.

Fonte: Agenda 21 de Pernambuco, 2002.

A Agenda 21 do Estado de Pernambuco (2002) registrou, através da consulta participativa, a necessidade da elaboração da Agenda local com os seguintes pontos, referente a gestão dos recursos naturais, na dimensão Geoambiental:

- Elaborar e articular projeto de lei obrigando todas as propriedades com mais de 50 hectares a fazer o manejo da caatinga, através de fiscalização com outros órgãos de poder coercitivo;
- Elaborar lei para obrigar todas as fábricas de calcinação e mineração a criarem um cinturão verde ao redor de suas instalações;
- Mapear as microrregiões do Araripe, para reconhecimento das regiões de interesse estratégico, para conservação da biodiversidade;
- Financiar e articular a elaboração de planos diretores dos recursos hídricos das bacias hidrográficas do Estado e a exploração das águas subterrâneas da região do Araripe;
- Produzir mudas nativas, objetivando trabalhar a reposição da vegetação na região do Araripe;
- Estruturar, operacionalizar, regionalizar e implementar ações de Educação Ambiental e fiscalização;
- Viabilizar a implantação de viveiros, para a produção de mudas nativas do semi-árido;
- Desenvolver ações educativas que promovam a recuperação de áreas degradadas pela ação antrópica;

- Manter técnicos nas comunidades para efetivarem estudos, orientação e conscientização sobre a conservação da biodiversidade.

Como resposta às diversas demandas lastreadas no passivo ambiental acumulado na Região e ao imperativo da sustentabilidade das atividades econômicas ali desenvolvidas, o Governo do Estado priorizou o Araripe como um dos pólos de desenvolvimento.

Como instrumento legal, a Lei de nº 11.206/95, a Política Florestal do Estado de Pernambuco regulamenta o gerenciamento da proteção e uso das florestas e demais formas de vegetação. No Art. 12, em caso de constatação de degradação de florestas e solos em decorrência da exploração mineral e outros tipos de atividades, fica o agente de degradação obrigado a recuperar o ambiente através da execução de projetos de florestamento ou reflorestamento.

A Lei 12.916/2005 dispõe sobre o licenciamento ambiental, em seu Art. 2º determina que a Agência Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos (CPRH), é a detentora do poder de polícia administrativa, atua através da gestão dos recursos ambientais sobre as atividades e os empreendimentos utilizadores dos recursos naturais considerados efetiva ou potencialmente poluidores, ou que possam causar, sob qualquer forma, degradação ambiental.

A Legislação Ambiental Federal e Estadual de Pernambuco vigente é rica, porém, poucos são os municípios no Estado de Pernambuco que possuem uma Agenda 21 local e/ou legislação ambiental municipal, principalmente os municípios pertencentes a área de estudo desta pesquisa.

4 **ÁREA DE ESTUDO**

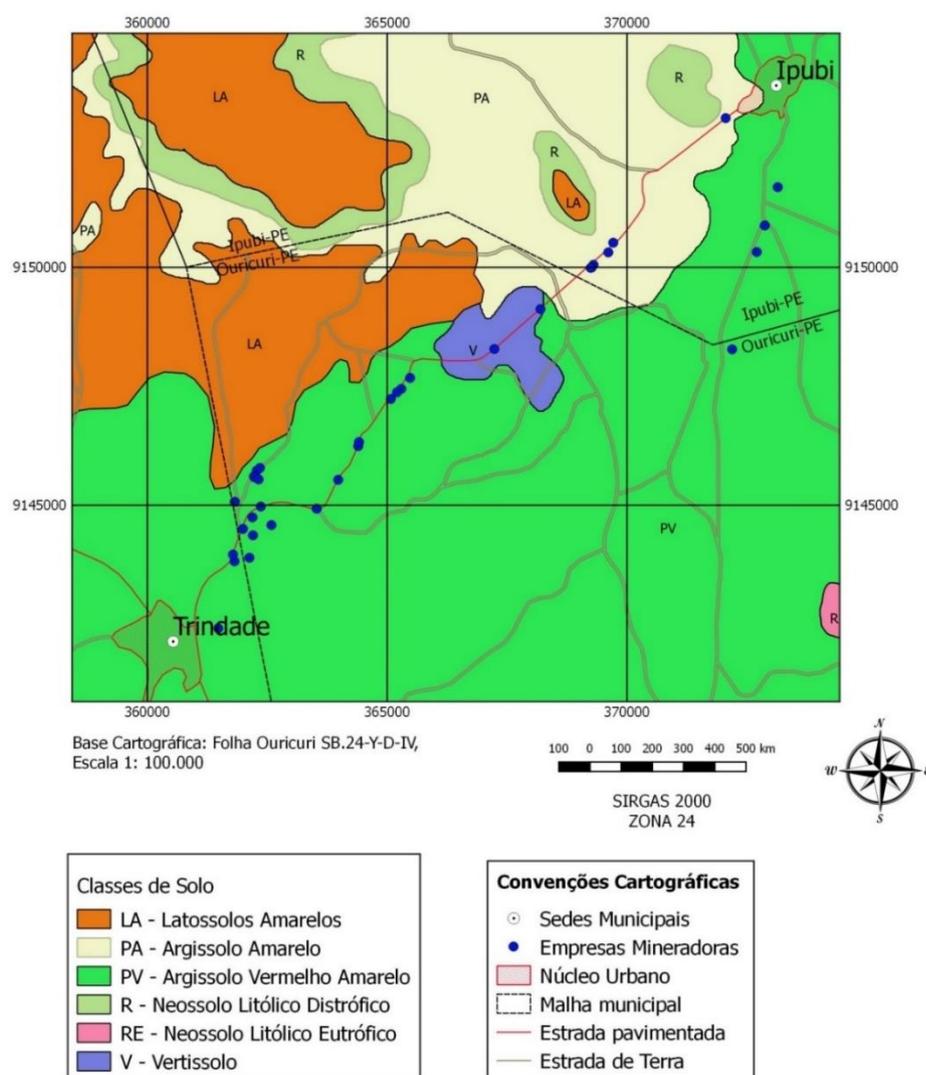
A área de estudo selecionada, a qual compreende os municípios de Ipubi (PE) e Trindade (PE), possui, de acordo com o Serviço Social da Indústria (SESI-PE), mais de 80 empresas mineradoras e calcinadoras, nas quais predomina a extração e beneficiamento da gipsita. Por tratar-se de um minério cuja qualidade é reconhecida a nível mundial, foram desenvolvidas diversas pesquisas científicas que abordam tanto os aspectos ambientais das mineradoras, como também aspectos tecnológicos e ligados à Engenharia de Minas. No entanto, cabe destacar que a maioria desses estudos estão concentrados no município de Araripina, o qual juntamente com Ipubi, Trindade e outras 12 cidades, formam a Região de Desenvolvimento do Araripe.

Inserida no semiárido nordestino, a área de estudo possui características peculiares como os longos períodos de estiagem, que tendem a dificultar as atividades econômicas, sejam elas primárias, secundárias ou terciárias, contribuindo para um ambiente degradado. Somando-se a isso, Araújo (2004) e Sá *et. al.* (2008) ressaltam que, para a extração e beneficiamento da gipsita, é necessário optar por uma fonte de energia mais barata devido à alta demanda de consumo. Por esta razão, a utilização da vegetação nativa como fonte mais viável é uma prática bastante comum, mas que muitas vezes é retirada de forma ilegal, contrariando a Constituição Federal de 1988, que, conforme citado anteriormente, assegura à sociedade um ambiente ecologicamente equilibrado. Sendo assim, o matrimônio mineração/preservação ambiental é de extrema importância por contribuir com o cumprimento da referida legislação, além daquelas pertinentes às ações de remediações nas áreas exploradas. Além disso, o Decreto nº 26.055/2003 regulamentou durante quatro anos o Projeto de Proteção Ambiental da Região do Araripe no Estado de Pernambuco, com o objetivo de promover o desenvolvimento sustentável do polo gesseiro do Araripe com enfoque na preservação da vegetação nativa. Dentre os objetivos específicos: a atualização das informações sobre a cobertura vegetal - avaliação preliminar da alteração da cobertura florestal da região; análise da dinâmica da cobertura vegetal; monitoramento e controle da lenha utilizada nas atividades econômicas dentro de um raio de 120 km a partir do

município de Araripina. Esse projeto ficou sob a coordenação da Secretaria de Tecnologia e Meio Ambiente. (SECTMA).

A área de estudo, apresenta seis (6) classes de solo: Latossolos Amarelos (LA); Argissolo Amarelo (PA); Argissolo Vermelho Amarelo (PV); Neossolo Litólico Distrófico (R); Neossolo Litólico Eutrófico (RE) e Vertissolo (V), conforme representado na figura 12. Essa classificação tem como base os dados do mapa de solos da Região do Araripe disponibilizado pelo ZAPE, o qual foi utilizado por Sá *et al* (2008).

Figura 12 – Mapa de classificação dos solos da área de estudo



Fonte: ZAPE, 2004.

Esses tipos de solos favorecem o desenvolvimento da vegetação típica da região: hipoxerófila e hiperxerófila, que possuem características específicas essenciais a sua sobrevivência em áreas áridas e semiáridas. Porém, nas visitas *in locu* observou-se a predominância de espécies exóticas como algaroba, eucalipto dentre outros em detrimento da espécie nativa. Como a biomassa é utilizada como matriz energética mais viável para as calcinadoras e, as espécies nativas apresentam pequena quantidade de biomassa ao contrário das exóticas, resulta uma competição por nutrientes e espaço onde as espécies nativas acabam perdendo e são substituídas. Conseqüentemente estão desaparecendo da região como também ocorre aumento da erosão do solo, degradando ainda mais o Bioma da Caatinga considerado único por Fernandes & Medeiros (2009) devido as suas características peculiares.

Além disso, o solo tem sua relevância no comportamento espectral da reflectância, pois para Maldonado (1999) “a reflectância do solo diminui quando o teor da matéria orgânica aumenta”.

4.1 Ipubi (PE)

O município de Ipubi possui um território com 861,42Km², com altitude de 535m e latitude 07°08'07" e longitude 40°08'56". Apresenta um clima semiárido; o bioma é a Caatinga; com ocorrência mineral predominante a gipsita. Está inserido na mesorregião do Sertão de Pernambuco; microrregião: Araripina. Região de desenvolvimento: Sertão do Araripe, sendo o principal acesso rodoviário pela PE - 590 e BR - 232 via Salgueiro. A vegetação característica deste município consiste em florestas e caatinga de pequeno porte e caducidade variáveis (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE, 2010).

O Relevo de Ipubi está inserido na unidade geoambiental das Chapadas Altas, formadas por platôs altos e extensos, apresentando encostas íngremes e vales abertos.

Como o município de Ipubi encontra-se inserido, geologicamente, na Província da Borborema, também expõe litotipos do Complexo Itaizinho mais os sedimentos das formações Santana e Exu. Nas Chapadas Altas ocorrem os latossolos profundos bem drenados, ácidos e de fertilidade natural baixa. Nas altas vertentes, os solos são do tipo litólicos, rasos, pedregosos, ácidos e argilosos com

fertilidade natural baixa. Nas médias e baixas vertentes, ocorrem os podzólicos, medianamente profundos e fertilidade natural média alta (IF Sertão de Pernambuco, 2010).

4.2 Trindade (PE)

Possui uma área territorial de 295,765 km² apresentando 518m de altitude, com 26.116 habitantes, 113,77 hab/Km². Pertence à mesorregião do Sertão Pernambucano, microrregião: Araripina. Apresenta a Caatinga como bioma e com ocorrência mineral predominante de gipsita. Região de desenvolvimento: Sertão do Araripe, com acesso pela BR- 316, Km 56 ou pela PE- 580. As coordenadas geográficas são: latitude: 07°45'43" Sul, Longitude: 40°16'04" Oeste (IBGE e IPEA, 2010).

A vegetação é do tipo Caatinga Hiperxerófila com trechos de Floresta Caducifólia. O clima é tropical semiárido quente, com chuvas de verão. O período chuvoso tem início no mês de novembro e seu término é em abril. A temperatura média anual é de 24,9°C (IF Sertão de Pernambuco, 2010).

O município de Trindade está inserido na unidade geoambiental da Depressão Sertaneja, que representa a paisagem típica do semiárido nordestino, caracterizada por uma superfície de pediplanação bastante monótona, de modo que o relevo predominante é o suave-ondulado. Além disso, é cortada por vales estreitos, com vertentes dissecadas. Elevações residuais, cristas e/ou outeiros pontuam a linha do horizonte. Esses relevos isolados testemunham os ciclos intensos de erosão que atingiram grande parte do sertão nordestino (IF Sertão de Pernambuco, 2010).

Este município encontra-se inserido na Província Borborema, logo apresenta solo vinculado aos litoipos granitoides indiscriminados do Complexo Itaizinho, mais as coberturas sedimentares das formações Santana e Exu. Nos patamares compridos e baixas vertentes do relevo, ocorrem solos do tipo planossolos, mal drenados, fertilidade natural média e problemas de sais; no topo e altas vertentes os solos são bruno não cálcico, raso e fertilidade natural alta; no topo e altas vertentes do relevo ondulado ocorrem os Podzólicos, drenados e fertilidade natural média e as elevações residuais com os solos litólicos, rasos, pedregosos e fertilidade natural

média. A tabela 4 permite comparar as principais características dos municípios Ipubi-PE e Trindade-PE.

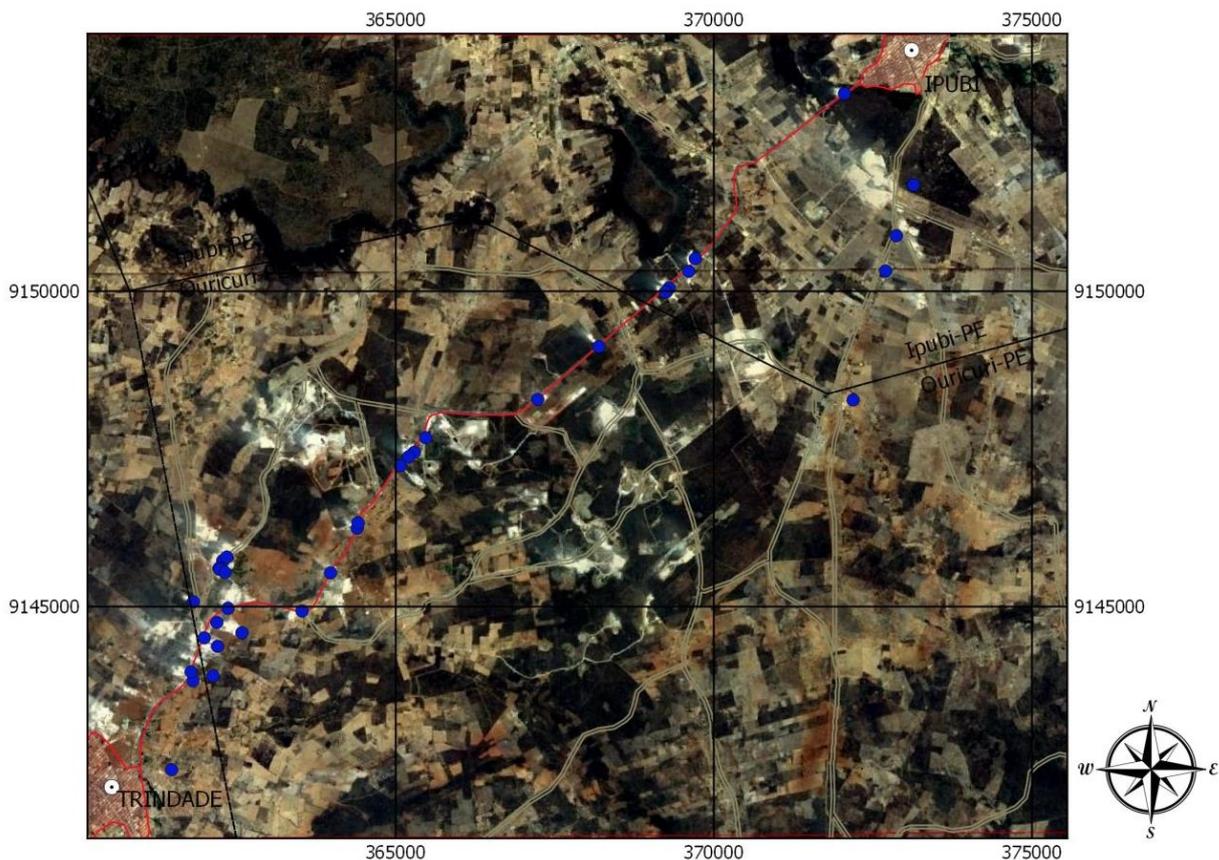
Tabela 4 – Principais características dos números estudados

CARACTERÍSTICAS	IPUBI	TRINDADE
hab/km2	32,64 hab/Km ²	113,77 hab/Km ²
Território	861,42Km ²	295,765 km ²
Localização	Mesorregião do Sertão de Pernambuco; Microrregião: Araripina	Mesorregião do Sertão Pernambucano, microrregião: Araripina
Clima	Semiárido	Tropical semiárido quente, com chuvas de verão.
Bioma	Caatinga	Caatinga
Ocorrência predominante	Mineral gipsita	Mineral gipsita
Relevo	Inserido na unidade geoambiental das Chapadas Altas, formadas por platôs altos e extensos, apresentando encostas íngremes e vales abertos.	Inserido na unidade geoambiental da Depressão Sertaneja, caracterizada por uma superfície de pediplanação bastante monótona, de modo que o relevo predominante é o suave-ondulado.
Vegetação	Florestas e caatinga de pequeno porte e caducidade variáveis	Caatinga Hiperxerófila com trechos de Floresta Caducifólia
Acesso	Rodoviário pela PE - 590 e BR – 232 via Salgueiro.	Rodoviário pela BR- 316, Km 56 ou pela PE- 580.

Perrella, 2017.

A área de estudo compreende o trecho da rodovia PE-630 que liga Trindade-Ipubi e da PE-590 (figura 13). Essa área foi escolhida devido à grande concentração de empresas mineradoras e calcinadoras existente ao longo e nas proximidades desta rodovia, totalizando aproximadamente oitenta (80) empresas.

Figura 13 – Mapa da área de estudo



Base Cartográfica: Folha Ouricuri SB.24-Y-D-IV,
Escala 1: 100.000

100 0 100 200 300 400 500 km

SIRGAS 2000
ZONA 24

Convenções Cartográficas	
	Sedes Municipais
	Empresas Mineradoras
	Núcleo Urbano
	Malha municipal
	Estrada pavimentada
	Estrada de Terra



Perrella, 2017.

5 METODOLOGIA

Neste trabalho desenvolveu-se a metodologia trabalhada por Sá *et al* (2010), utilizando-se imagens do sensor *Thematic Mapper* (TM) do satélite LANDSAT 5, com resolução espacial de 30x30 metros cobrindo cada pixel 900m², resoluções temporal de 16 dias e radiométrica de oito *bits* e *Datum* SIRGAS 2000. Para o processamento das imagens digitais utilizou-se o software QGIS 2.14.11 *Essen*, *open source*, um software livre.

Além disso, foi elaborada uma base catalográfica digital das empresas mineradoras e calcinadoras, existentes nas proximidades da PE-630 e da PE-590, obtidas a partir de levantamento de campo com equipamento de sistema de posicionamento global (GPS) da marca *Garmin* modelo *Etrex* 10. Além disso, também foram realizados registros fotográficos durante a visita *in locu*, no mês de setembro de 2016.

A área de estudo encontra-se numa única cena e as imagens, da órbita 217 e ponto 65 foram obtidas no *site* do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). O critério estabelecido para as mesmas foi a porcentagem de nuvens existentes, sendo a mínima possível, pois, estas interferem na qualidade das imagens. As datas utilizadas para a elaboração dos respectivos mapas foram: 15 de janeiro de 1987 (elevação solar 49,08); 22 de outubro de 1996 (elevação solar 56,55); 21 de dezembro de 2006 (elevação solar 58,37) e 29 de agosto de 2011 (elevação solar 61,56).

No passo seguinte, foi realizada a correção geométrica (registro), pois, para Centeno (2004): “uma imagem digital pode apresentar incoerências geométricas no mundo real”, por isso, faz-se necessário realizar correções antes de analisar. O registro de imagens segundo aquele autor *op cit*, é a correção geométrica da imagem de sensores ou datas diferentes sem o auxílio de mapas. Sá *et al* (2010) utilizou neste processo “o método polinomial de primeira ordem para ajustar a imagem com a realidade do campo no sentido de se fazer levantamentos acerca da florística e da fisionomia florestal para as classes levantadas”.

Em seguida foi realizada nas imagens a correção atmosférica segundo Sá *et al* (*op cit*) “convertendo os números digitais em radiância e posteriormente em reflectância” através das equações descritas abaixo:

$$L\lambda_i = \frac{a_i + b_i - a_i \times ND}{255}$$

Onde “a” e “b” são radiâncias espectrais mínimas e máximas expressas em $\text{w}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{sr}^{-1}\cdot\mu\text{m}^{-1}$; ND é o número digital do pixel; i representam as bandas do LANDSAT 5 – TM.

$$\rho_\lambda = \frac{\pi \cdot L_\lambda \cdot d^2}{ESUN_\lambda \cdot \cos(\theta)}$$

Onde, ρ_λ segundo Sá *et al* (2010) “é a refletância planetária ao nível de satélite para cada banda, π é o ângulo sólido do hemisfério projetado, L_λ a radiância espectral na abertura do sensor em $\text{w}\cdot\text{sr}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\mu\text{m}^{-1}$ para cada banda, d é a distância do Sol a Terra em unidades astronômicas, $ESUN_\lambda$ é a irradiância solar média espectral fora da atmosfera em $\text{w}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\mu\text{m}^{-1}$, $\cos(\theta)$ é o zênite solar no pixel da imagem em questão que para simplificar utiliza-se o ângulo central fornecido na imagem”.

Com os dados da refletância foi realizado o cálculo Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI) utilizando as bandas 3 (Vermelho– 0,63 μm a 0,69 μm) e 4 (Infravermelho Próximo – 0,76 μm a 0,90 μm). “Os valores de NDVI variam entre -1 e 1, nas áreas com vegetação o NDVI, geralmente, varia entre 0,1 e 0,8, conforme a sua arquitetura, densidade e umidade” (Sá *et al*, 2008).

Para rochas e solos expostos o NDVI possui valores próximos à zero, e a água valores negativos. A equação do NDVI utilizada é descrita abaixo:

$$NDVI = (p_4 - p_3) / (p_4 + p_3)$$

Onde, p_4 e p_3 representam as reflectâncias planetárias ao nível do LANDSAT 5, para as bandas 4 e 3, respectivamente (Sá *et al*, *op cit*).

Foi realizada a classificação não supervisionada. Para Sá *et al* (2010), “após a obtenção da imagem NDVI foi feita uma classificação não supervisionada em 04 classes procurando a diferenciação e a quantificação das fisionomias a partir deste índice”.

De acordo com Centeno (2004), “quando há falta de conhecimento suficiente da região, existe a opção de automatizar a busca dos grupos de pixels espectralmente homogêneos e assumir que estes grupos correspondem às classes de interesse”, ou seja, “o usuário não define quais as classes de interesse, ele apenas fixa o número de classes que deseja obter e os algoritmos de processamento de imagens se encarregam de separar os pixels na imagem” (Centeno, *op cit*) conforme preestabelecido. Essa classificação teve por objetivo identificar e quantificar as fisionomias a partir dos valores estabelecidos.

Para a reprodução do mapa de classificação dos solos foram utilizados dados encontrados no *site* do Instituto Agrônomo de Pernambuco (IPA) - Zoneamento Agroecológico do Estado de Pernambuco (ZAPE) referente ao ano de 2004, na escala de 1:100.000, com base cartográfica da Folha Ouricuri SB.24-Y-D-IV. Os gráficos apresentando os índices pluviométricos referentes aos anos analisados foram desenvolvidos a partir dos dados obtidos no site do Instituto Nacional de Meteorologia.

E por fim, foi realizada a avaliação da dinâmica da fitofisionomia da área de estudo, ao longo de uma série temporal de NDVI gerada a partir de imagens LANDSAT 5 TM, utilizado o método comparativo das mesmas, observando as áreas em que ocorreu diminuição ou aumento da cobertura vegetal onde há a instalação dos empreendimentos minerários.

6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

6.1 Descrições gerais e dados georreferenciados da área estudada

Um dos principais problemas ambientais relacionado com os recursos florestais do bioma Caatinga, no Estado de Pernambuco, é decorrente da degradação ambiental provocada pela extração de madeira nativa na região do Sertão do Araripe (Caatinga), para utilização pelo parque industrial do gesso. O agravante neste caso é que, a degradação do ativo natural é feita de maneira não científica, pois não existe um plano de manejo que permita a sustentabilidade do uso desses recursos, prejudicando inclusive as unidades de produção familiar de produção artesanal de placas, como também a sociedade de agricultura de baixa renda, as quais têm na lenha a principal fonte de combustível para o desenvolvimento de suas atividades produtivas e para consumo doméstico e na ausência de tal plano cometem infração ambiental. Entre os maiores consumidores da biomassa florestal da caatinga estão às indústrias do segmento de gesso.

Com relação especificamente a área de estudo em virtude de suas peculiaridades climáticas, a definição do papel do setor florestal deve levar em conta as suas limitações naturais. Não só na referida região como no Nordeste, o setor florestal possui mais uma nova dimensão como protetor dos solos e regulador do regime hídrico. Todo este esquema de atividades permite ao setor, além de fornecer produtos diretamente relacionados à sua abrangência, favorecer às ações nos setores agrícolas, energéticos e de conservacionismo.

Pereira, Paschoal & Araújo (2014) afirmam:

“A vegetação é formada predominantemente por xerófilas e defende-se com mecanismos próprios para amenizar os efeitos das altas temperaturas e da falta de precipitações nos longos períodos secos, que podem durar mais de seis meses. A vegetação, assim como o solo, apresenta um papel importante na repartição da energia solar em fluxo de calor sensível e fluxo de calor latente de evapotranspiração, assim como na proteção do solo contra a erosão e fixação da umidade, o que sobrepõe o fenômeno da desertificação.”

Logo, o mapeamento das empresas numa área considerada com maior quantitativo de empreendimentos na análise da cobertura vegetal através de imagens de sensoriamento, foi de suma importância, pois, conforme Centeno (2004)

esse procedimento é relevante para as avaliações quanto ao desflorestamento e ao reflorestamento, dentre outros.

Ao longo do percurso e nas proximidades da rodovia PE-690, a qual liga as sedes dos municípios de Trindade e Ipubi e a PE-590 localizada no município de Ipubi, foram localizados 34 pontos correspondentes às empresas mineradoras e/ou calcinadoras, visitadas ou não (Figura 12). A falta de autorização para a coleta de dados dentro do empreendimento configurou uma limitação à esta pesquisa, conforme quantidade dos pontos contidos na tabela 5.

Tabela 5 - Sumário das amostras e suas categorias

Amostras	Classificação				
	Irregular/ regular	Fábrica placas	Indústria Pequena	Indústria Média	Indústria Grande
P1	Desconhecido	Familiar	-	-	-
P2	Regular	-	Calcinadora	-	-
P3	Regular	-	Calcinadora	-	-
P4	Regular	-	Calcinadora	-	-
P5	Regular	-	-	-	Calcina./minera
P6	Regular	-	Calcinadora	-	-
P7	Regular	-	Calcinadora	-	-
P8	Regular	Empresa	Calcinadora	-	-
P9	Regular	-	-	Calcinadora	-
P10	Regular	-	Calcinadora	-	-
P11	Regular	-	Calcinadora	-	-
P12	Regular	-	Calcinadora	-	-
P13	Regular	-	Calcinadora	-	-
P14	Regular	-	Calcinadora	-	-
P15	Regular	-	Calcinadora	-	-
P16	Regular	-	Calcinadora	-	-
P17	Regular	-	Calcinadora	-	-
P18	Regular	-	Calcinadora	-	-
P19	Regular	-	Calcinadora	-	-
P20	Regular	-	-	-	Calcina/minera
P21	Regular	-	Calcinadora	-	-
P22	Regular	-	Calcinadora	-	-
P23	Regular	-	-	-	Calcina/minera
P24	Regular	-	Calcinadora	-	-
P25	Regular	-	Calcinadora	-	-
P26	Regular	-	Calcinadora	-	-
P27	Regular	-	Calcinadora	-	-
P28	Regular	-	Calcinadora	-	-
P29	Regular	-	-	-	Calcina./minera
P30	Regular	-	Calcinadora	-	-
P31	Regular	-	Calcinadora	-	-
P32	Regular	-	-	Mineradora	-
P33	Regular	-	-	-	Calcina./minera
P34	Regular	-	Calcinadora	-	-
TOTAL		02	26	02	05

A tabela 6 completa as informações sobre as amostras informando suas respectivas coordenadas geográficas.

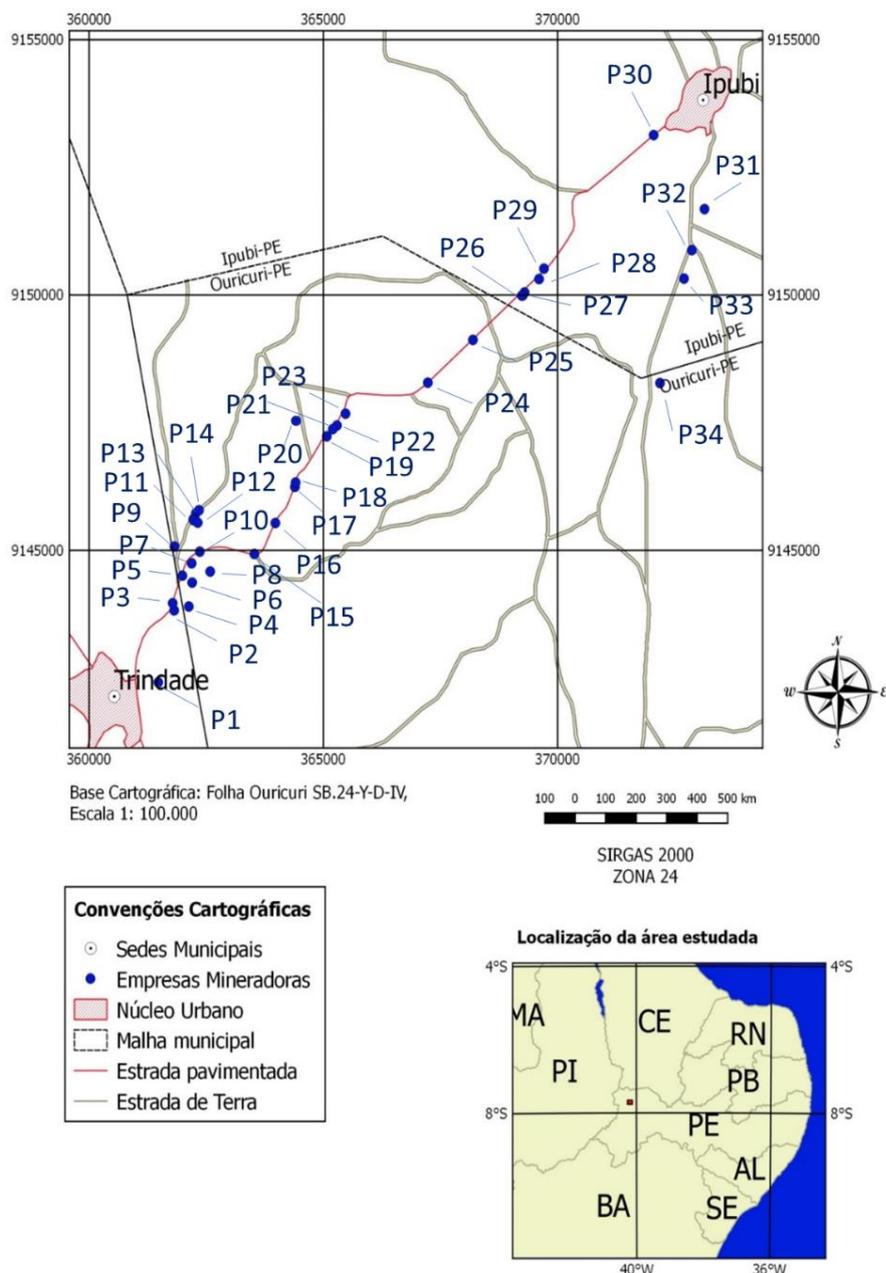
Tabela 6 - Localização geográfica das amostras – Datum – Sirgas 2000

Amostras	Latitude	Longitude
P1	-7,756527778	-40,25619444
P2	-7,685277778	-40,18227778
P3	-7,7425	-40,25336111
P4	-7,726555556	-40,24880556
P5	-7,737638889	-40,25147222
P6	-7,743777778	-40,25308333
P7	-7,733833333	-40,23752778
P8	-7,736916667	-40,24608333
P9	-7,733388889	-40,24808333
P10	-7,732472222	-40,253
P11	-7,735444444	-40,24966667
P12	-7,72825	-40,24847222
P13	-7,726055556	-40,24822222
P14	-7,727638889	-40,24933333
P15	-7,727833333	-40,24925
P16	-7,728361111	-40,23344444
P17	-7,721972222	-40,22963889
P18	-7,721194444	-40,2295
P19	-7,703583333	-40,20386111
P20	-7,709416667	-40,23191667
P21	-7,696027778	-40,19511111
P22	-7,711111111	-40,22147222
P23	-7,713027778	-40,22344444
P24	-7,71175	-40,22227778
P25	-7,709027778	-40,21980556
P26	-7,688166667	-40,18544444
P27	-7,685277778	-40,18227778
P28	-7,687638889	-40,18508333
P29	-7,683444444	-40,18133333
P30	-7,659833333	-40,16002778
P31	-7,674722222	-40,15408333
P32	-7,685277778	-40,15422222
P33	-7,703777778	-40,15891667
P34	-7,738861111	-40,24958333

Perrella, 2017

Observa-se, na figura 14, que em sua maioria, os empreendimentos encontram-se às margens da rodovia, com exceção de algumas mineradoras e suas respectivas cavas e pilhas de rejeitos, as quais avançam para os sentidos sudeste e noroeste. Provavelmente, ocorre, então, uma maior retirada da cobertura vegetal - inclusive de espécies nativas. Devido ao difícil acesso àquelas áreas mineradas, não foi possível realizar uma análise sistemática com identificação das espécies, mas, empiricamente, foram identificadas muitas espécies exóticas, tais como *Prosopis Juliflora* (algaroba) e *Eucalyptus* (eucalipto).

Figura 14 – Mapa da localização dos empreendimentos minerários



Perrella, 2017

Os empreendimentos foram classificados segundo critérios de observações em campo, da autora, baseado na completude ou incompletude das atividades que realizam (mineração e calcinação) ou apenas calcinação, no tamanho de sua estrutura e quantidade de funcionários no segundo semestre de 2016. Sendo assim, aos que possuíam em sua estrutura tanto a calcinadora quanto a mineradora com mais de 100 funcionários foram considerados de grande porte; aos que possuíam apenas a calcinadora ou mineradora com 50 a 100 funcionários foram considerados de médio porte e aos que possuíam apenas calcinadora ou fábrica de placas com 10

a 50 funcionários foram considerados de pequeno porte conforme demonstrado na Tabela 7.

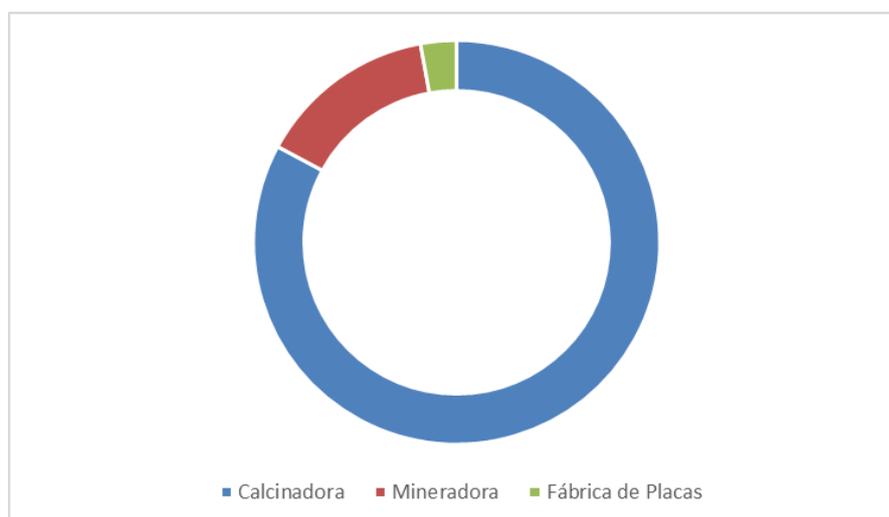
Tabela 7 - Classificação do porte dos empreendimentos levantados

CLASSIFICAÇÃO DAS EMPRESAS					
VISITADAS TOTAL: 15			NÃO VISITADAS TOTAL: 19		
QUANTIDADE	%	PORTE	QUANTIDADE	%	PORTE
8	53	Pequeno	17	100	Pequeno
2	3	Médio	0	0	Médio
5	44	Grande	0	0	Grande

Perrella, 2017.

A figura 15 explicita a representatividade em relação às calcinadoras, fábricas de placas e mineradoras visitadas na área estudada. Portanto, com a visita foi possível observar os critérios, e assim, enquadrar as empresas no perfil determinado anteriormente. Percebe-se que, em sua maioria, os empreendimentos são voltados para a calcinação. Dentre as empresas não visitadas, observou-se desde a entrada das mesmas, que suas estruturas, correspondiam apenas à atividade de calcinação, todas consideradas de pequeno porte.

Figura 15 – Gráfico de classificação do tipo de empreendimentos levantados



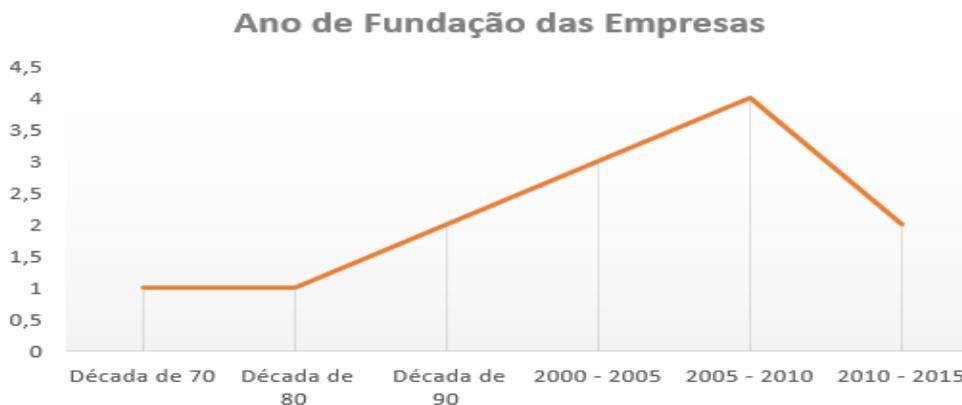
Perrella, 2017.

As fábricas de placas também podem ser artesanais, sem regularização explícita, realizada por famílias de baixa renda nas dependências de sua própria residência. Entretanto, existem as empresas que fabricam suas placas em larga escala, adquirindo os *big bag*, gesso em grandes sacarias, procedentes das calcinadoras de grande porte. As calcinadoras sucedem à etapa de separação do

mineral-minério, pois produzem o gesso a partir do minério de melhor pureza de mineral-minério, a gipsita, tipo “Johnson”, embora haja dois outros tipos aproveitáveis - “rapadura” e “cocadinha” - alvo da extração pelas mineradoras.

Conforme citado nos capítulos anteriores, a região é favorecida por sua geologia e, por isso, a gipsita é reconhecida por sua excelente qualidade, o que a faz, inclusive, ser chamada de “ouro branco do sertão”. Atraiu a atenção dos empresários, gerando crescimento de empreendimentos para a exploração do minério na região. Conforme a Figura 16, a partir da década de 80 ocorreu um aumento no número de atividades minerárias atingindo o máximo em meados de 2006 a 2008. Em 1999, conforme Araujo, (2004) existiam 62 calcinadoras e em 2001, aumentou para 72 na Região do Polo Gesseiro. Araújo & Martins (2011) referindo-se aos dados de 2009, relatam aumento no número de calcinadoras para aproximadamente 120, com 34 minas em produção e mais de 300 pequenas fábricas artesanais. Atualmente, segundo dados do SINDUSGESSO, são 39 minas em produção, 139 calcinadoras e 726 indústrias de pré-moldados.

Figura 16 - Gráfico da evolução da fundação de empreendimentos



Perrella, 2017.

Observa-se que as calcinadoras ainda são as mais presentes na região, sendo um fator preocupante, pois, necessitam de lenha para obtenção da energia térmica e assim, produzem. Entretanto, os empresários afirmaram que a lenha utilizada em seus empreendimentos era oriunda de um plano de manejo florestal localizado no estado do Piauí, seguindo com a legislação vigente e comprovada por meio do DOF Documento de Origem Florestal. De acordo com MMA, o manejo florestal consiste em técnicas sustentáveis de exploração de um recurso florestal com o intuito de obter lenha para a respectiva atividade, sem degradar a vegetação. A aquisição da

lenha legalizada segue regulamentação da Portaria nº 253, de 18 de agosto de 2006, do Ministério do Meio Ambiente (MMA).

Portanto, há necessidade de adoção de técnicas adequadas de manejo dos recursos florestais para atenuar os efeitos nocivos decorrentes do desmatamento desenfreado. Há, também, escassez de madeira, desertificação, assoreamento dos rios, alteração do clima, desaparecimento de espécies, sem uma consciência ambiental daqueles que detêm o poder de usar de forma administrada as florestas. De acordo com dados do CONDEPE (1997), a mesorregião do Sertão de Pernambuco, onde está localizado o polo gesseiro caracteriza-se por fortes agressões ao meio ambiente, as quais contribuem para desencadear uma série de problemas no meio natural da região, entre os quais:

a) "desmatamento": provocado pela exploração extensiva da pecuária e pela utilização para fins energéticos (industrial comercial e doméstico);

b) erosão: resultante, entre outros fatores, de processo de desmatamento acelerado (Figura 17) e da baixa incidência de chuvas regulares, não raro em períodos de curta duração;

Figura 17 - Desmatamento realizado para implantação de atividade minerária, área de bota-fora



Perrella, 2016.

c) poluição atmosférica: mais estudada nos municípios de Araripina e Bodocó, oriunda principalmente do processamento da gipsita e, com menor intensidade, das queimadas realizadas para o preparo das áreas de cultivo; na região estudada a mesma decorre também primariamente da calcinação e gera uma quantidade bastante significativa de particulados, provocando o “engessamento da vegetação” existente no entorno dos empreendimentos como mostra a figura (18), causando

danos, além de ser prejudicial à saúde pública principalmente pelo aumento de muco nas vias respiratórias.

O “engessamento” ocorre quando os particulados em suspensão repousam na superfície da vegetação prejudicando o desenvolvimento de suas funções fisiológicas.

Figura 18 - Vegetação do entorno de um empreendimento coberta por particulados



Perrella, 2016.

Os referidos particulados, através de um processo adequado, do tipo de instalações de finas telas erguidas, poderiam ser capturados e sucedaneamente reaproveitados para fabricação de tijolos, bastante utilizados pela população carente, contribuindo desta forma não só para a diminuição dos impactos ambientais, mas também com projetos sociais.

Cabe destacar, no entanto, que a quantidade de rejeito das calcinadoras é pequena em relação ao gerado pelas mineradoras, onde se formam pilhas com grandes alturas, responsáveis por comprometer também a qualidade do ar, da água, da vegetação e do solo

A consequência dos três problemas citados é a desertificação., abordada a seguir.

Os principais fatores que influenciam no processo são o clima e a ação antrópica, onde a estiagem por longos períodos e as crescentes intervenções humanas, sem a preocupação com o meio ambiente. Na região estudada esse processo decorre principalmente do desmatamento para obtenção de lenha como matriz energética para produção do gesso. Adicionalmente, a calcinação é feita, às expensas da combustão de lenha, sendo um dos principais motivos, inicialmente, para a retirada de espécies nativas na área explorada e posterior substituição por espécies exóticas contribuindo assim, com a degradação da cobertura vegetal

através da competição por espaço, nutrientes e principalmente por água corroborando também com a erosão do solo.. Portanto tratam-se de desdobramentos assustadores.

Além disso, o processo de decapeamento a fim de extrair o minério promove o desmatamento e a perda de sementes contidas no *topsoil* (figura 19).

Figura 19 - Detonação em uma mina de um empreendimento de grande porte. Paisagem local, Ipubi - PE



Perrella, 2016

6.2 Problemas de dimensão econômica, relacionados com exploração da cobertura vegetal

A participação dos produtos florestais em atividades produtivas, principalmente como energético, ocupa posição de destaque no cenário estadual, sendo a segunda fonte de energia do Estado, enfatizando as seguintes premissas de ordem econômica:

a) desempenho das atividades industriais, agroindustriais e de serviços, inferior ao potencial da região. Isto decorre, para o caso das calcinadoras, primordialmente caracterizadas por baixos investimentos em modernização e tecnologia de produção, falta de sistemática de qualificação da mão-de-obra, subutilização do produto (gesso calcinado e agrícola), baixo consumo *per capita* de gesso nacionalmente, infraestrutura logística deficiente, afora o transporte.

b) oferta insuficiente de energia de origem hidroelétrica bem como perda de qualidade de energia ofertada em função da crescente queda de confiabilidade dos sistemas de transmissão e distribuição provocada pela redução dos investimentos.

c) A falta de sustentabilidade do ativo natural o qual sofre degradação por carência de plano de manejo.

Portanto, essa falta de energia vai afetar, consideravelmente, o pólo gesseiro, no sentido de comprometer a sua competitividade, pela limitação de sua escala de produção, além do que, se não houver uma substituição dos combustíveis atuais, especificamente da lenha, por fontes alternativas de baixo impacto ambiental, como o gás natural e em menor escala combustíveis que causam considerável poluição como, o óleo BPF e o diesel.

6.3 Análise dos dados pluviométricos e dados através do uso de imagens de satélite

6.3.1 Dados pluviométricos da região

No intuito de relacionar o aumento das empresas com a crescente degradação da área, fez-se um estudo sobre o clima e vegetação local. De acordo com Maldonado (1999), a região apresenta forte irradiação solar e uma significativa homogeneidade térmica, resultando em uma média anual de temperatura de cerca de 25°C, com uma amplitude térmica menor que 5°C, caracterizando uma zona intertropical. As menores temperaturas médias são de 22°C no mês de julho, e as maiores de 27°C no mês de janeiro. Por isso, segundo Sá *et al* (2010), “a vegetação da região já se encontra sob estresse hídrico”, assim, “a resposta espectral da vegetação pode variar com o sombreamento dos troncos e galhos”.

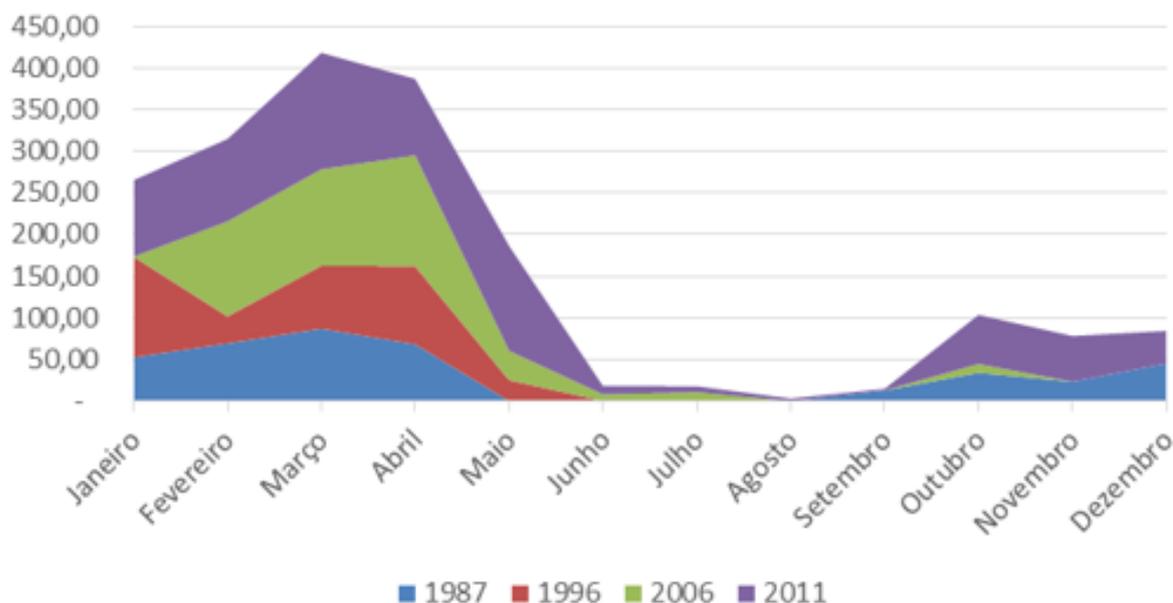
De acordo Pereira, Paschoal & Araújo (2014) a vegetação hiperxerófila e hipoxerófila encontrada na Caatinga, possui mecanismos eficientes que favorecem a sua sobrevivência a altas temperaturas e a longos períodos de estiagem, além disso, são capazes de proteger o solo contra erosão e escassez de água fixando a umidade.

Em complemento, Lopes *et al* (2010) ressaltam que “um acúmulo de 30 mm é suficiente para o surgimento do ciclo fenológico com o aparecimento de folhas em algumas espécies de arbustos e de plantas lenhosas e herbáceas”.

Por isso, conforme já mencionado nos capítulos anteriores e salientado por Sá *et al* (2011), “é de suma importância analisar a precipitação quando se pretende avaliar a cobertura vegetal em ambiente semiárido pois, neste, a resposta da caatinga à precipitação é quase que imediata, fazendo com que se altere a classe de cobertura vegetal”. Sendo assim, analisando os índices pluviométricos referentes

aos anos estudados (1987, 1996, 2006 e 2011), observa-se que os maiores índices foram registrados nos meses de janeiro a março em conformidade com a literatura revisada conforme explicita a figura 20.

Figura 20 - Gráfico da evolução do índice pluviométrico dos anos estudados



Perrella, 2017.

Analisando a curva do índice pluviométrico do ano de 1987 em comparação com os anos 1996, 2006 e 2011 percebe-se que foi inferior sem ocorrência de pico, apresentando uma maior pluviosidade no mês de março, ao contrário dos referidos anos, os quais no período registraram chuvas mais volumosas com índice em escala crescente. Os meses de maio a agosto corresponderam ao período de estiagem, voltando a chover a partir do mês de setembro. Outro enfoque é que 1996, o índice apresenta-se abaixo dos 200 mm no período chuvoso e um período de estiagem que durou além do mês de setembro, sendo incomum para a região. Entretanto, as chuvas de janeiro a maio foram maiores que no ano anterior. O período prolongado de estiagem pode ser explicado segundo Duarte (2000), pelo fato de que nos anos de 1993 a 1998 ocorreu mais uma das grandes secas, sendo considerado pelo autor como o grande desastre natural.

O aumento dos índices pluviométricos nos anos de 2006 e 2011, com ápice em 2011 apesar de ser superior aos registrados em 87 e 96 permaneceram inferiores ao intervalo de 500 a 900 mm usual para a região (ARAÚJO, 2004).

6.3.2 Análise da cobertura vegetal através das imagens de satélites utilizando o NDVI

Os mapas elaborados permitem a identificação das quatro classes resultantes do cálculo de NDVI onde a classe 1 apresentando a variação de -1 e -0.0569, representa os corpos d'água/umidade; classe 2 de -0.0569 e 0.1185, são solos expostos/área urbanizada; classe 3 de 0.1185 e 0.3885, vegetação rala e a classe 4 de 0.3885 a 1, a vegetação densa. Cabe destacar que, para a área em análise, o clima pode ser considerado definido, uma vez que o período chuvoso ocorre geralmente entre janeiro e abril, e nos demais meses o período é de seca. Desta forma, os resultados do cálculo do NDVI podem ser considerados confiáveis.

Na tabela 6, observa-se os resultados referente ao cálculo do NDVI dos anos analisados caracterizando as áreas das classes I, II, III e IV em Km² e em porcentagem possibilitando a comparação das mesmas e identificando perdas ou ganhos, ou até mesmo nem perdas, nem ganhos. Tabela 8.

Tabela 8 - Resultados dos cálculos de NDVI dos anos estudados

Classe	1987		1996		2006		2011	
	Área (km ²)	%						
1	21,418	0,89	46,064	1,63	66,76	2,73	66,863	2,75
2	775,571	32,16	1320,738	44,85	878,196	36,21	878,186	36,20
3	778,878	32,71	1402,811	47,64	831,888	34,30	831,888	34,30
4	825,77	34,24	173,94	5,88	648,992	26,75	648,992	26,75
TOTAL	2401,637	100	2943,553	100	2425,836	100	2425,929	100

Perrella, 2017

De acordo com a quantificação das áreas após o cálculo do NDVI, observa-se no mapa referente ao ano de 1987, os seguintes resultados: a classe 1 que representa corpos d'água/umidade possui 21,418Km² correspondendo a 0,89% do total da área analisada; a classe 2 intitulada área urbanizada/solo exposto com 775,571Km² equivalendo a 32,16% do total; a classe 3, a vegetação rala com 778,878Km² representando 32,71% e a classe 4, vegetação densa com 825,77Km², 34,24% do total.

A data da passagem do satélite, para o ano supracitado, dia 15 de janeiro corresponde ao início do período chuvoso, logo, explica a maior porcentagem para a vegetação densa apresentada no mapa (figura 21).

O mapa referente ao ano de 1996, conforme figura 22, apresenta os seguintes resultados: a classe 1 que representa corpos d'água/umidade possui 46,064Km² correspondendo a 1,63% do total da área analisada; a classe 2 intitulada área urbanizada/solo exposto com 1320,738Km² equivalendo a 44,85% do total; a classe 3, a vegetação rala com 1402,8109Km² representando 47,64% e a classe 4, vegetação densa com 173,49Km², 5,88% do total.

A data da passagem do satélite, para o ano supracitado, dia 22 de outubro. Apesar de este referido mês ser considerado um período com chuva, este ano foi atípico, pois compreendeu o ano da grande seca, logo, explica a maior porcentagem para a vegetação rala e solos expostos apresentada no mapa.

Chama a atenção o aumento na classe NDVI 2 e a correspondente redução espacial na classe NDVI 4, quando comparados os dados de 1996 a 1987.

Em 2006 há recuperação de forma localizada no NDVI 4, em relação ao NDVI classe 2, extensiva a 2011.

Nesses dois levantamentos, observa-se o ressurgimento da classe 4 vinculado com a redução de ocorrências de classes 2 e 3. Por analogia com os comprimentos de onda mais visíveis, associa-se ressurgimento localizado de vegetação, trazendo tênue esperança para evitar catástrofe ambiental

A quantificação das áreas após o cálculo do NDVI, para o mapa do ano de 2006 (Figura 23), apresentou os seguintes resultados: a classe 1 que representa corpos d'água/umidade possui 66,167Km² correspondendo a 2,73% do total da área analisada; a classe 2 intitulada área urbanizada/solo exposto com 878,186Km² equivalendo a 36,21% do total; a classe 3, a vegetação rala com 831,888Km² representando 34,30% e a classe 4, vegetação densa com 648,992,77Km², 26,75% do total.

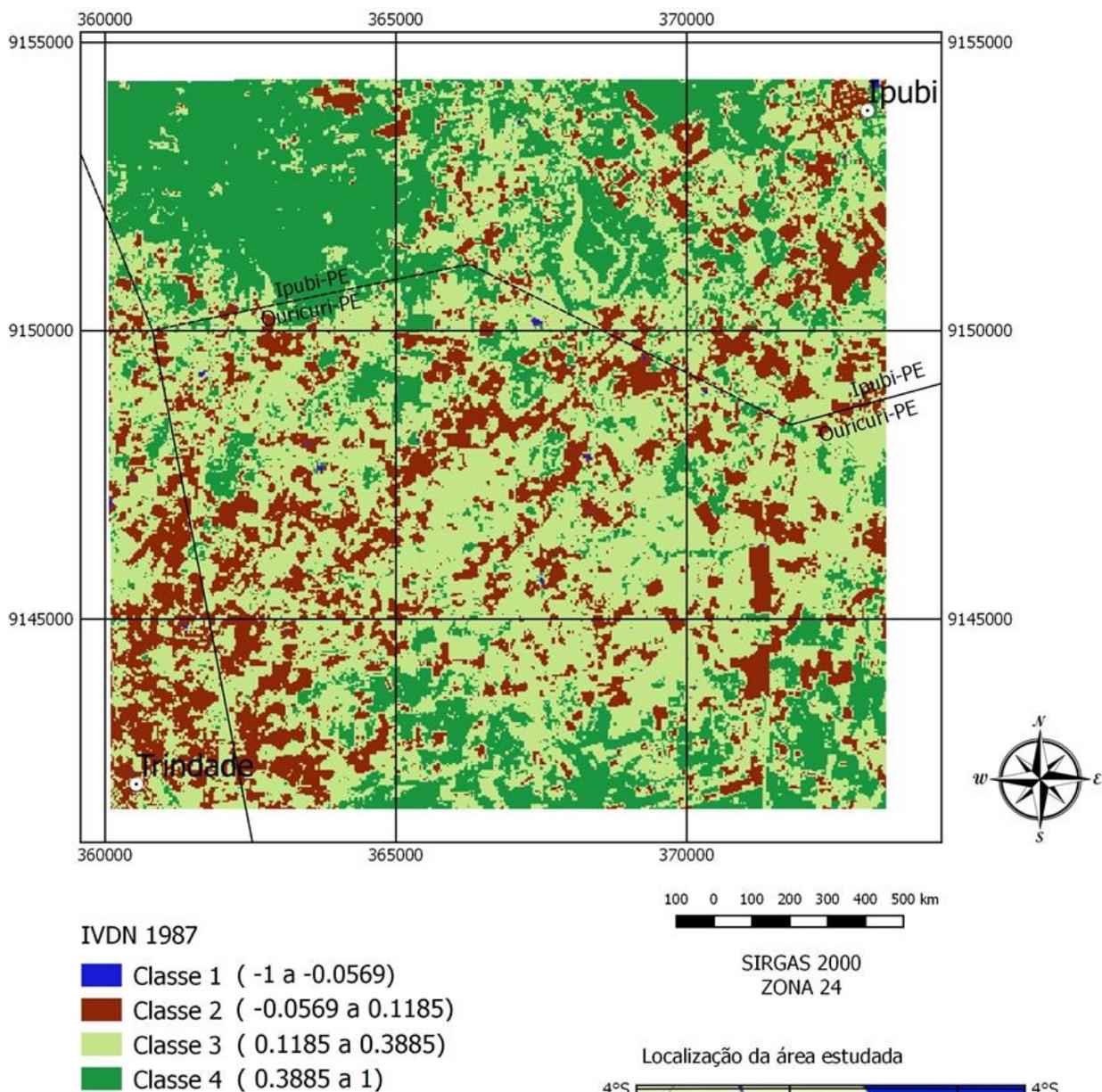
A data da passagem do satélite, para o ano supracitado, dia 21 de dezembro corresponde ao período chuvoso. Entretanto, percebe-se a porcentagem referente à vegetação densa é menor que a rala e solo exposto. Isso pode ser explicado pelo aumento de empresas mineradoras e/ou calcinadoras na área de estudo.

No mapa referente ao ano de 2011, conforme figura 24, observa-se que a classe 1 representada pelos corpos d'água/umidade possui 66,863Km² correspondendo a 2,75% do total da área analisada; a classe 2 intitulada área urbanizada/solo exposto com 878,186Km² equivalendo a 36,20% do total; a classe

3, a vegetação rala com 831,888Km² representando 34,29% e a classe 4, vegetação densa com 648,992Km², 26,75% do total.

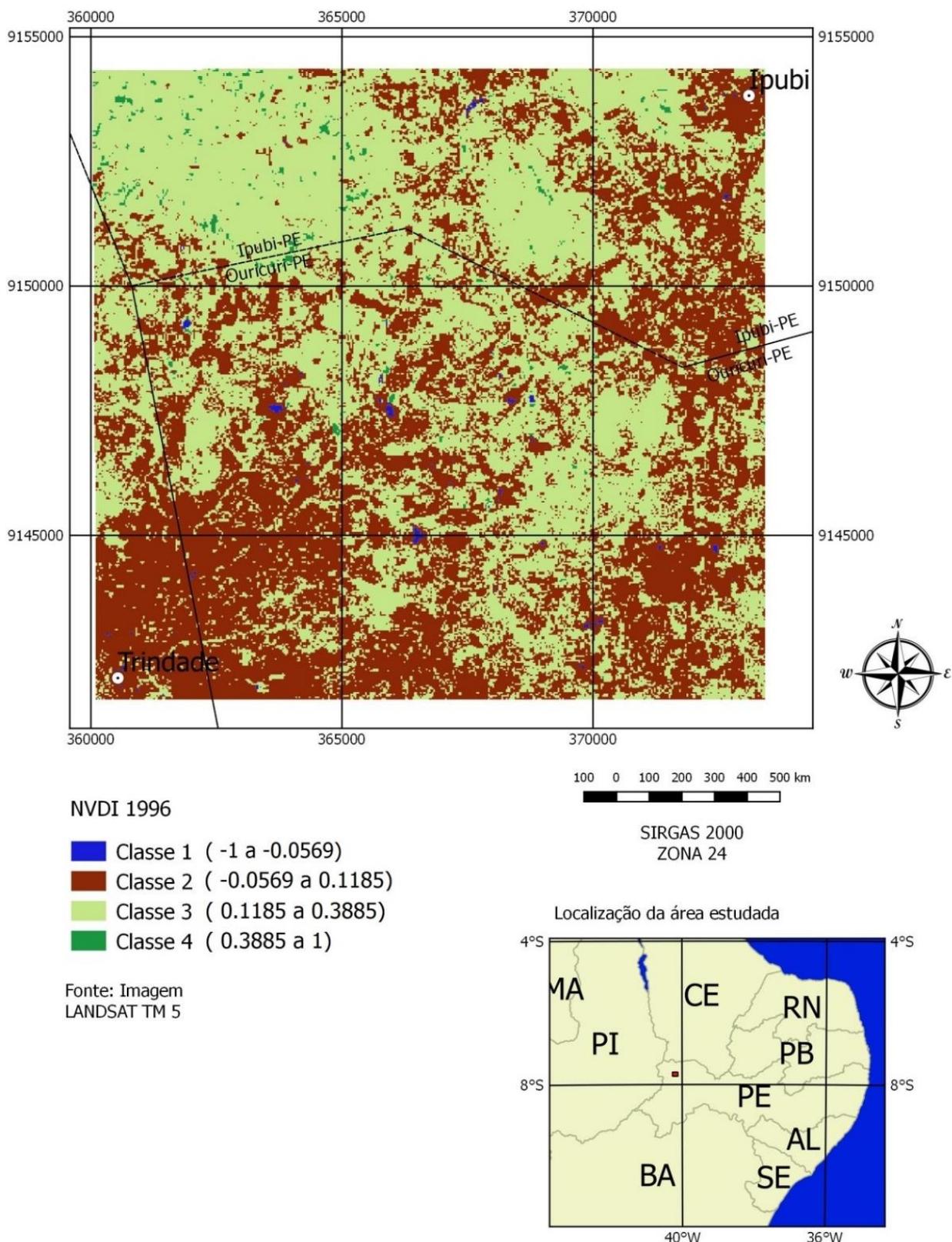
A data da passagem do satélite, para o ano supracitado, dia 29 de agosto corresponde também ao período chuvoso. Porém, nota-se que a porcentagem para a vegetação densa e rala permanece a mesma que a obtida no ano de 2006.

Figura 21 - Mapa NDVI de 1987



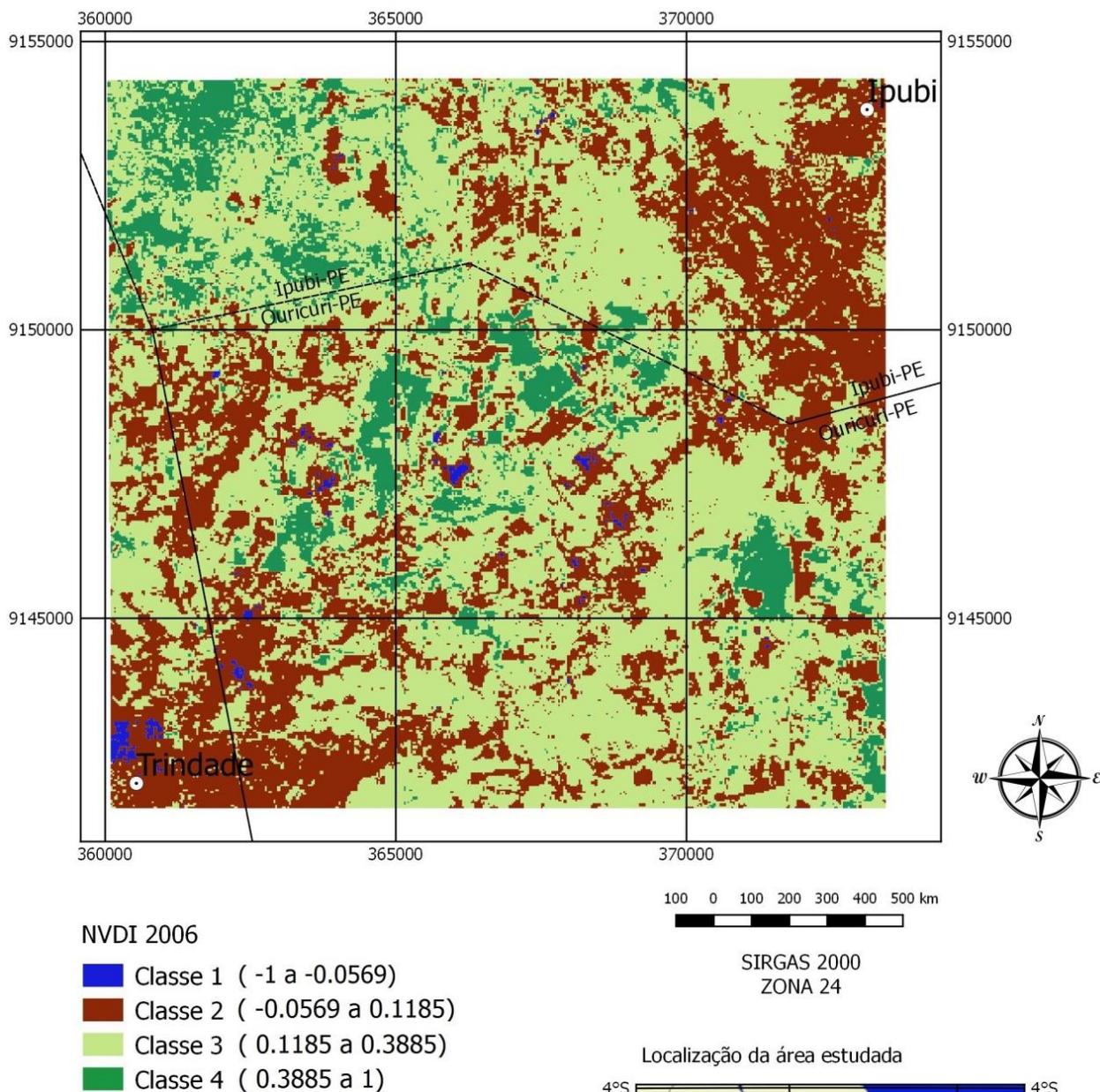
Perrella, 2017.

Figura 22 - Mapa NDVI de 1996



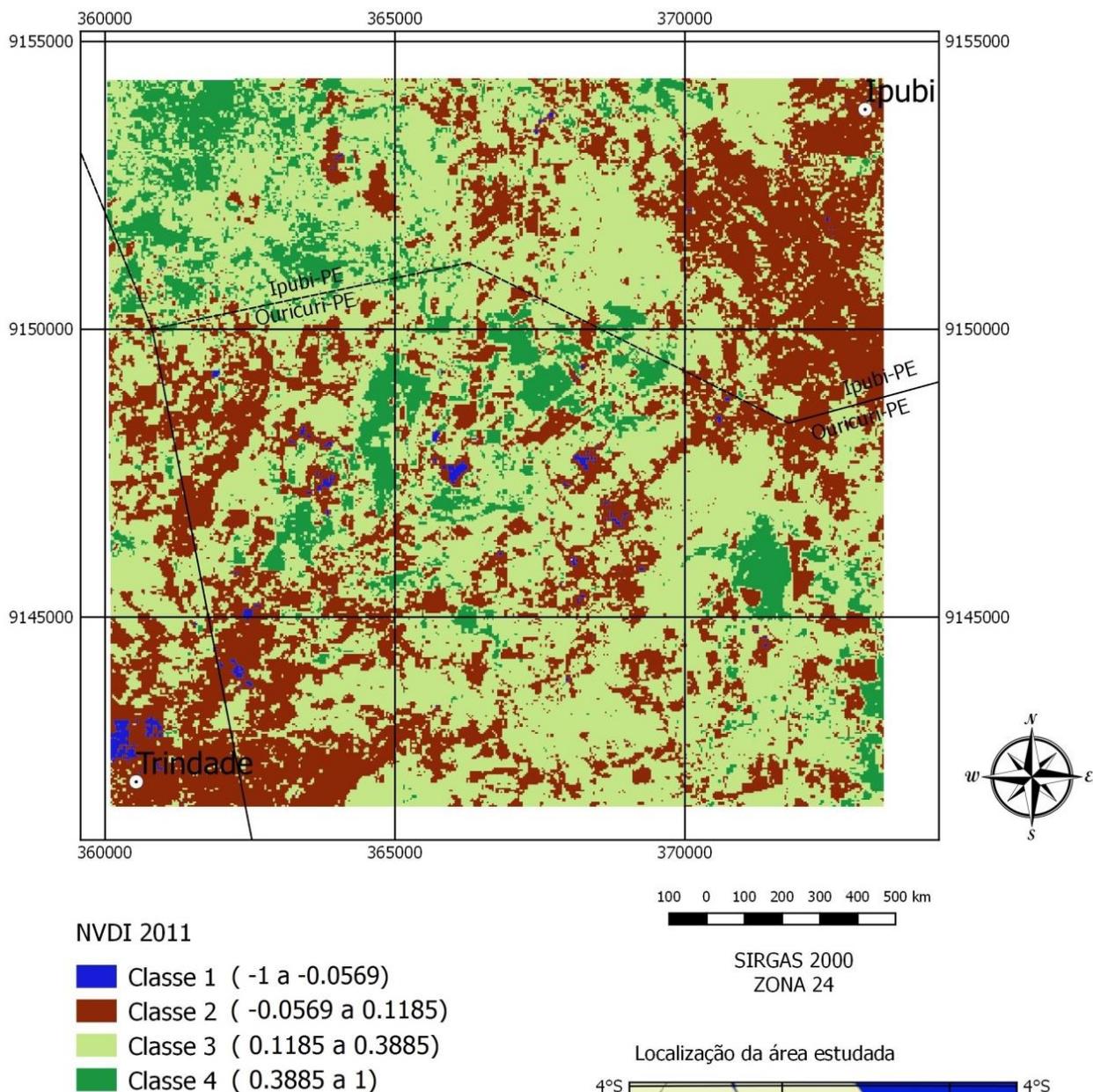
Perrella, 2017.

Figura 23 - Mapa NDVI de 2006



Perrella, 2017.

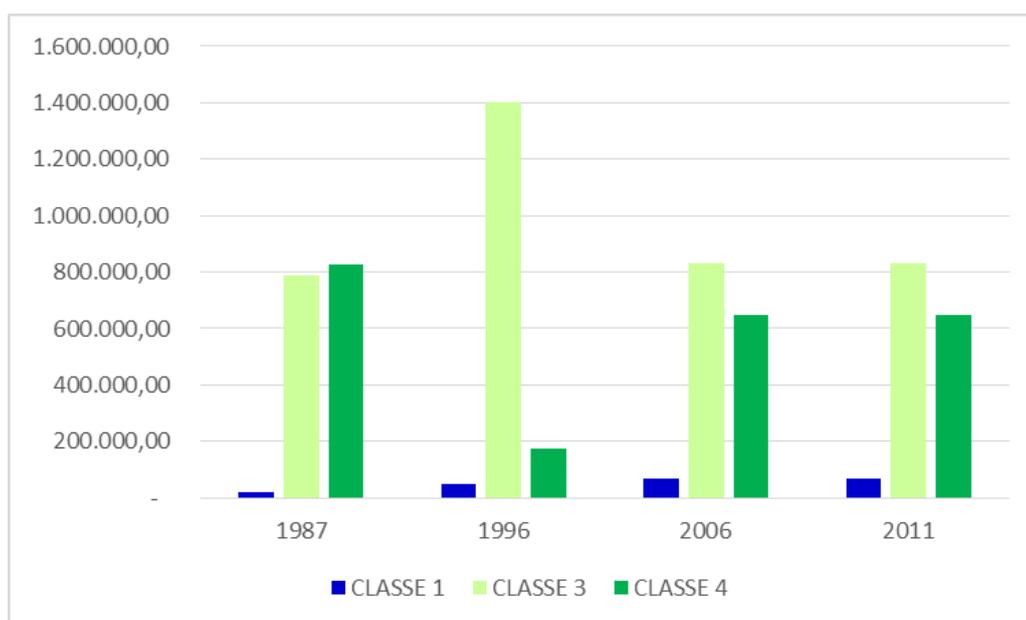
Figura 24 - Mapa NDVI de 2011



Perrella, 2017.

Na figura 25, observa-se a evolução da classe 1 que representa corpos hídricos/umidade, sendo possível identificar um aumento de sua porcentagem nos anos analisados.

Figura 25 – Gráfico da evolução da água/umidade, vegetação rala e vegetação densa dos anos estudados, de acordo com o cálculo de NDVI



Perrella, 2017.

Entretanto, a água no semiárido ainda é considerada escassa, devido ao baixo índice pluviométrico, como foi dito anteriormente. Percebe-se que a máxima atinge aproximadamente 3%. Sendo a água um bem comum a todos e fator primordial à sobrevivência dos seres vivos, é um dever dos cidadãos proteger e preservar os recursos hídricos, logo, as atividades minerárias devem se cumprir com as legislações ambientais vigentes e incluir nos seus respectivos planejamentos de lavras ações que evitem/ minimizem a poluição deste recurso.

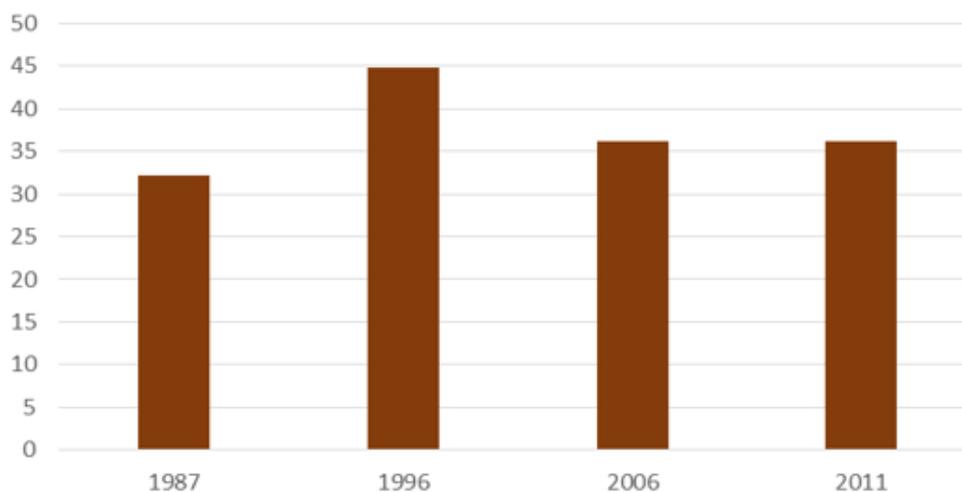
A vegetação necessita da água para sua sobrevivência, é notório que algumas espécies possuem características peculiares que garantem a sua existência em regiões áridas e semiáridas durante os períodos de estiagens.

Na evolução da classe 3, que representa a vegetação rala, ocorreu um aumento nos anos de 1987 e 1996, devido ao crescimento urbano local, aumento no número de empresas de mineração e a grande seca em 1996. E nos anos de 2006 e 2011, se mantém constante. Conforme figura 26.

Além disso, também se observa a evolução da classe 4, referente a vegetação densa, percebe-se que ocorreu diminuição brusca de sua porcentagem do ano de 1987 para 1996, em conformidade com os resultados apresentados por Araújo (2004), entretanto deve-se levar em consideração que 1996 foi um ano atípico em relação a estiagem, ano da grande seca. E nos seguintes anos analisados a sua porcentagem apresentou melhoria em relação aos anos anteriores indicando uma regeneração conforme Sá *et al* (2008) apontou em seus resultados como também é possível observar que este percentual se mantém praticamente o mesmo, mostrando uma estagnação em relação à perda da vegetação saudável.

Analisando a evolução da classe 2 que representa área urbanizada/solo exposto (Figura 24), percebe-se um aumento, em porcentagem, entre os anos de 1987 e 1996.

Figura 26 – Gráfico da área urbana/solo exposto dos anos estudados de acordo com a evolução especificada como classe II do cálculo de NDVI



Perrella, 2017.

Podemos deduzir que ocorreu crescimento urbano e/ou desmatamento da cobertura vegetal devido ao aumento de instalação de empreendimentos minerários na área de estudo. Além disso, em 1996 ocorreu uma grande seca na região afetando diretamente a cobertura vegetal e o solo, aumentando a área de reflectância referente ao solo exposto. Nos anos 2006 e 2011, a porcentagem se mantém acima dos 35%.

Diante do registro fotográfico realizado num período considerado chuvoso, é perceptível que o clima, ultimamente vem se apresentando com variações incomuns,

pois, observa-se a vegetação seca, ou seja, não apresentando folhas vigorosas, apenas galhos e caules secos conforme figura 27. Além disso, percebe-se que na área onde os empreendimentos são instalados não existe a vegetação, principalmente nas áreas de minas sendo um dos fatores que ocasionou o aumento quantitativo de solo exposto aliado a agricultura familiar e ocupação urbana.

Figura 27 – Vegetação arbustiva em sua maioria completamente seca



Perrella, 2016.

Entretanto, mesmo com o aumento do número de empreendimentos minerários, nota-se que a perda da vegetação não aumenta nem diminui e conseqüentemente em relação aos solos expostos também acontece o mesmo. Esse fato pode ocorrer, pois, em visita *in locu*, foi possível identificar pontos de replantio, entretanto, a maioria das espécies plantadas são exóticas, ou seja, foram inseridas em ambientes diferentes do seu local de origem, como a algaroba e o eucalipto isso se deve por perceberam que a biomassa das exóticas representavam maior capacidade energética do que as nativas, logo, o interesse e esforço concentrou-se no replantio das exóticas (Figura 28).

Figura 28 - Plantio de eucalipto no pátio do empreendimento de médio porte

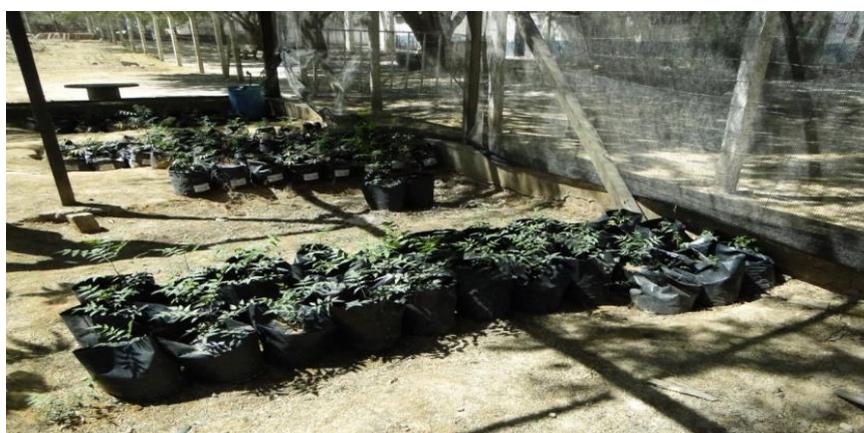


Perrella, 2016.

As espécies exóticas são consideradas uma ameaça à biodiversidade nativa pois, competem com a mesma tanto em relação aos nutrientes, água quanto por espaço levando a extinção dos espécimes nativos, causando assim, impacto ambiental. Como o bioma da Caatinga é peculiar algumas espécies são endêmicas, ou seja, só são encontradas neste bioma, o que o torna de grande importância.

Dentre todos os empreendimentos visitados apenas um empreendimento de grande porte possuía uma sementeira que estava desativada e estavam reativando-a, conforme figura 29. Entretanto, as mudas em sua maioria pertenciam ao grupo das espécies exóticas.

Figura 29 – Sementeira de empreendimento de grande porte sendo reativada



Perrella, 2016.

Além disso, o método de lavra da gipsita continua sendo o mesmo desde o início de sua exploração, consistindo em lavra a céu aberto com desmatamento, capeamento do estéril retirando em média 50 m, perfuração da rocha e desmonte com explosivos e o rejeito não é reaproveitado, simplesmente é deixando no terreno formando pilhas deste material impactando assim a paisagem, na área interna do empreendimento ou até em áreas próximas do mesmo à beira de estradas, por exemplo, conforme figura 30.

Figura 30 – Pequenas pilhas de rejeitos deixados à beira da estrada



Perrella, 2016.

6.3.3 Proposta de medidas mitigadoras do planejamento de Gestão Ambiental

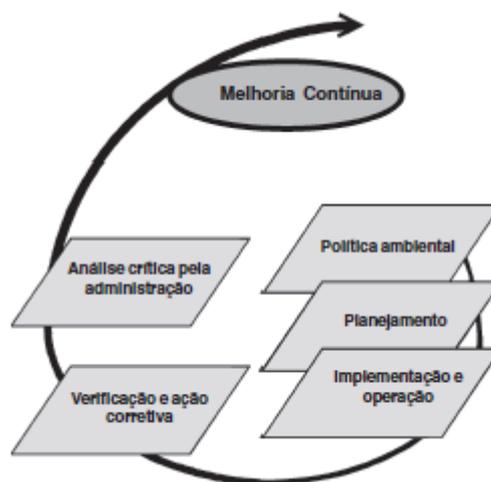
O monitoramento ambiental que consiste na coleta sistemática e periódica de dados é de suma importância por ser capaz de detectar previamente as não conformidades e assim, evidenciar as necessidades de ações corretivas aos empreendedores.

Em pesquisas voltadas para avaliação da cobertura vegetal o geoprocessamento vem contribuindo positivamente, principalmente com as análises através das imagens de satélites utilizando softwares livres, como o QGis, pois representa diminuição de custos e tempo, apresentando resultados confiáveis. E nesta pesquisa este método mostrou-se satisfatório.

Sendo assim, é essencial à adoção de um Sistema de Gestão Ambiental que consiste nas seguintes etapas: Planejamento, Execução e Checagem (EPELBAUM,

2006). Esse sistema contempla a elaboração de uma política ambiental da empresa, identificação dos aspectos ambientais, os impactos e suas ações corretivas (Figura 31).

Figura 31 - Modelo de Sistema de Gestão Ambiental



Fonte: ABNT, 1996.

Inicialmente, é necessário realizar um trabalho de Educação Ambiental contínuo envolvendo todos os atores das atividades minerárias, com o intuito de sensibilizá-los sobre a problemática ambiental da região e a importância do Bioma da Caatinga. Ressaltando também a relevância de se preservar o *topsoil*, e a sua utilização como banco de germoplasma para as sementeiras, orientando-os como proceder desde a remoção e armazenamento adequado da serapilheira, à coleta sistemática de sementes para produção de mudas de espécies nativas. Posteriormente, incentivar o reflorestamento adequado, mantendo-se as características exuberantes da Caatinga.

Cabe também, destacar, a necessidade do aproveitamento de áreas contendo rejeitos, em futuras pesquisas para obtenção de biomassa e poupança ao conforto ambiental. Outrossim, estudos voltados para a utilização, mesmo que parcial, de energia turbo-eólica e/ou energia solar que atendam à infraestrutura do empreendimento, substituindo a energia elétrica e a gerada por combustão a lenha utilizadas, devem ser incentivados como boas práticas ambientais.

7 CONCLUSÃO

Conclui-se que os fatores favoráveis à degradação do solo e da cobertura vegetal recaíram principalmente na grande quantidade de empreendimentos minerários, aliada ao aumento do crescimento urbano, e ao longo período com redução dos índices pluviométricos (abaixo dos 400 mm anuais) registrados na região. Não obstante, a observação em mapas dos dados de NDVI permite afirmar que ocorreram alterações na fitofisionomia sendo possível identificar, embora localizadamente, a recuperação da vegetação, pois, nos anos de 2006 e 2011 o percentual das áreas referentes à vegetação rala e densa apresenta-se como constante, mas superiores aos dados de 1987 e 1996. Vale ressaltar que a partir dos anos 2000, no Brasil, ocorreram novas promulgações normativas referentes ao meio ambiente que contribuiriam para a preservação e recuperação do mesmo.

Entretanto, esta informação não pode ser considerada como motivo de acomodação, por ter sido registrada a existência, em sua maioria, de espécies exóticas através do replantio. A inserção de espécies exóticas dificulta e concorre com as nativas e endêmicas do Bioma da Caatinga, comprometendo a sua biodiversidade e tornando a área susceptível ao processo de desertificação.

A quantificação dos empreendimentos demonstrou que dentre os 34 empreendimentos georreferenciados, 15 foram visitados e dentre destes 53% são de pequeno porte; 3% médio porte e 44% grande porte. Além disso, a maioria é representada pelas calcinadoras. As pilhas de rejeitos encontradas assumiam as mais variadas formas e tamanhos nas áreas dos empreendimentos assim, como em vias de acesso causando impacto visual na paisagem.

A ausência de conhecimentos específicos; a falta de orientação por parte dos órgãos ambientais fiscalizadores como foi mencionada pelos próprios empresários e a inexistência de um sistema de gestão ambiental aliada à falta de normativas ambientais municipais, como a Agenda 21, corroboram para a degradação local.

Por fim, há a esperança de que esta pesquisa sirva de base para o desenvolvimento de novos estudos na área analisada que preconizem tanto a importância dos produtos minerais, presentes no nosso dia-a-dia, quanto a importância da preservação do meio ambiente, principalmente do Bioma Caatinga na qual a área está inserida.

REFERÊNCIAS

ABNT. **Norma Técnica ABNT NBR ISO 14001- Sistemas de gestão ambiental — Requisitos com orientações para uso, 1996.** Disponível em: http://www.labogef.iesa.ufg.br/labogef/arquivos/downloads/NBRISO14001_59064.pdf Acessado em: 15/09/2017.

ANDRADE-LIMA, D. **The caatingas dominium.** Revista Brasileira de Botânica 4: 149-163, 1981.

ANDRADE, G.O. **Alguns aspectos do quadro natural do Nordeste.** SUDENE, Coordenação de planejamento regional - Divisão de Política Espacial, Recife, PE. 75p. 1977.

ANTONIETTO, L.S. **Ostracodes da formação santana (cretáceo inferior, aptiano superior), bacia do araripe, ne-brasil: taxonomia, distribuição estratigráfica e paleoecologia.** Dissertação (Mestrado em Geologia) - Universidade de Brasília, Brasília, 2010.

ACCIOLY, L.J.O, *et al.* **Avaliação das mudanças na cobertura do solo entre os anos de 1973 e 2001 e suas aplicações no potencial lenheiro do município de Araripina-PE.** Aracajú-SE, 2006. Disponível em: http://www.cpatc.embrapa.br/labgeo/srgsr3/artigos_pdf/008_t.pdf. Acessado em: 06/08/2016.

AMARAL, L. A. **Estratégia de utilização de *Topsoil* na restauração ambiental.** Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal, nível de Mestrado, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre. Diamantina, UFVJM, 2013.

ARAÚJO, S. M. S. de. **O Pólo Gesseiro do Araripe: unidades geo-ambientais e impactos da mineração.** Tese de Doutorado. Universidade Estadual de Campinas. Instituto de Geociências. Área de administração e Política de Recursos Minerais. 2004. Disponível em: <http://www.bibliotecadigital.unicamp.br/document/?code=vtls000342194>. Acessado em: 07/08/2016.

ARAÚJO, S. M. S. de & MARTINS, L. A. M. **A indústria extrativa mineral do Pólo Gesseiro do Araripe e seus impactos Socioambientais.** Revista De Geografia (UFPE) V. 29, No. 1, 2012. Disponível em: <http://www.revista.ufpe.br/revistageografia/index.php/revista/article/viewArticle/505>. Acessado em: 21/10/2016.

ARRUDA, G. B. de **Diagnóstico Ambiental da poluição sulfática no Município de Araripina, através da hidroquímica de águas de superfície.** Dissertação apresentada ao Programa de Pós Graduação Em Engenharia Mineral, como parte dos requisitos para título de Mestre, 2012.

ASSINE, M. L. **Análise estratigráfica da bacia do Araripe, Nordeste do Brasil.** Revista: Revista Brasileira de Geociências, 22(3): 289-300, vol. 2. Set. 1992. Acessado em:

BALTAR, C. A. M; BASTOS, F. F de & LUZ, A. B de. **Gipsita** in: Rochas & Minerais Industriais/Ed. LUZ, A. B. da & LINS, F. A. F. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2005.

BARBOSA, M. P.; *et al.* **Estudo da degradação das terras - município de Picos – PI.** In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13. (SBSR), 2007, Florianópolis. Anais... São José dos Campos: INPE, 2007. p. 4357-4363 ISBN 978-85-17-00031-7. Disponível em: <<http://urlib.net/dpi.inpe.br/sbsr@80/2006/11.14.11.17>; Acessado em 21/10/2017.

BARROS, B.C. de, *et al.* **Volumetria e sobrevivencia de espécies nativas e exóticas no Pólo Gesseiro do Araripe-PE.** Ciência Florestal, Santa Maria, v.20, n. 4, p.641-647, out-dez., 2010. Disponível em: <https://periodicos.ufsm.br/cienciaflorestal/article/view/2422>, Acessado em: 03/11/2016.

BATISTA, Z. V. *et al.* **Análise de fácies da Formação Cariri, Bacia Do Araripe, Nordeste do Brasil.** Revista: Estudos Geologicos v. 22(2) 2012 ISSN 1980-8208. Disponível em: <https://www.ufpe.br/estudosgeologicos/paginas/edicoes/2012222/2012222t01.pdf>; Acessado em: 17/11/2016.

BARROS, B. C. de, *et al.* **Volumétrica e sobrevivência de espécies nativas e exóticas no Polo Gesseiro do Araripe-PE.** Revista Ciência Florestal, Santa Maria, v.20, n 4, p.641-647, out-dez., 2010. Disponível em: <https://periodicos.ufsm.br/cienciaflorestal/article/view/2422>; Acessado em: 12/01/2017.

BRASIL. **Código Civil dos Estados Unidos do Brasil.** 1916.

BRASIL. Constituição (1988). **Constituição da República Federativa do Brasil:** promulgada em Cinco de outubro de 1988. Organização do texto: Juarez de Oliveira. 4. ed. São Paulo: Saraiva, 1990. 168 p. (Série Legislação Brasileira).

BRASIL. **Lei nº 6.938/1981.** Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências.

BRASIL. **Lei nº 13.153/2015.** Institui a Política Nacional de Combate à Desertificação e Mitigação dos Efeitos da Seca e seus instrumentos; prevê a criação da Comissão Nacional de Combate à Desertificação; e dá outras providências.

BRASIL. **Decreto nº 97.632/89.** Dispõe sobre a regulamentação do Artigo 2º, inciso VIII, da Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981, e dá outras providências.

BRASIL. **Decreto nº 6.514/ 2008.** Dispõe sobre as infrações e sanções administrativas ao meio ambiente, estabelece o processo administrativo federal para apuração destas infrações, e dá outras providências.

BRASIL. **Código de Mineração (1967)** Código de Mineração: e legislação correlata. Brasília: Senado Federal, Subsecretaria de Edições Técnicas, 2003.

BRASIL. Departamento Nacional de Produção Mineral. **Sumário Mineral /** Coordenadores Thiers Muniz Lima, Carlos Augusto Ramos Neves Brasília: DNPM, 2015.

BRITO, R. T. de N. et al. **Determinação de valores físicos de imagens TM/LANDSAT- 5 utilizando a linguagem LEGAL para obter Índices De Vegetação.** II Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação. Recife, 2008. Disponível em:

CARVALHO, A. R. de A. & BARRETO, A. M. F. **Novos materiais de Araripens barretoí da Formação Romualdo (Albiano – Bacia do Araripe), Pernambuco, Brasil.** Revista: Estudos Geológicos. v25. nº1. p – 3-14, 2015. Disponível em: <https://www.ufpe.br/estudosgeologicos/paginas/edicoes/2015251/2015251t01.pdf>; Acessado em: 09/10/2016.

CARVALHO, L. L.; *et al* **Gesso: uma perspectiva dos Impactos Ambientais, noções básicas sobre sua produção química e ponto estratégico de captação de renda na cidade de Grajaú-Ma.** Revista: Educação Ambiental em Ação , v. Ano XIV, p. 1-9, 2016. Disponível em: <http://revistaea.org/pf.php?idartigo=2248>; Acessado em 15/11/2016.

CENTENO, J. A. S. **Sensoriamento Remoto e Processamento de Imagens Digitais.** Curitiba: Editora Curso de Pós Graduação em Ciências Geodésicas, Universidade Federal do Paraná, 2004.

CONCEIÇÃO, L. A. B. da S. **Diagnóstico Ambiental através do uso de Técnicas de Sensoriamento Remoto como apoio para o planejamento de Unidades Administrativas: o caso de Osório, Rs.** Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do grau de mestre em Sensoriamento Remoto, área de concentração Sensoriamento Remoto Aplicado aos Recursos Naturais e ao Meio Ambiente, Porto Alegre, 2004. Disponível em: <http://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/12666>. Acessado em: 10/12/2016.

CONAMA. **Resolução 237/97.** Regulamenta os aspectos de licenciamento ambiental estabelecidos na Política Nacional do Meio Ambiente.

CHAGAS, D. B. **Litoestratigrafia da Bacia do Araripe: reavaliação e propostas para revisão.** Dissertação de Mestrado elaborada junto ao Programa de Pós-Graduação em Geologia Regional - Área de Concentração em Geologia Regional, para a obtenção do Título de Mestre em Geociências. São Paulo: Rio Claro, 2006.

DIAS, L. F. F. **A utilização de Open Source Gis na mineração: prospecção regional de Pegmatitos da Faixa Seridó Paraibana.** Dissertação apresentada ao Departamento de Engenharia de Minas da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para obtenção do Título de Mestre em Engenharia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mineral - PPGEM, área de concentração – Minerais Industriais. Recife: Universidade Federal de Pernambuco, 2016.

DUARTE, R. S. **As Secas no Nordeste: recorrência climática e descontinuidade na ação pública**. CADERNO CRH, Salvador, n. 32, p. 233-258, jan./jun. 2000. Disponível em: <https://portalseer.ufba.br/index.php/crh/article/viewFile/18563/11938>; Acessado em: 06/03/2017.

DNPM. **Sumário Mineral**. Departamento Nacional da Produção Mineral, Brasília 2015. Disponível em: <http://www.dnpm.gov.br/dnpm/sumarios/sumario-mineral-2015>; Acessado em 04/01/2016.

DNPM. **Mineração no Semiárido**. Departamento Nacional da Produção Mineral, Brasília. 2009. Disponível em: www.dnpm.gov.br.. Acessado em: 23/01/2017.

DNPM. **Balanco Mineral Brasileiro**. Departamento Nacional da Produção Mineral, Brasília. 2001. Disponível em: www.dnpm.gov.br.. Acessado em: 23/01/2017.

ECKHARDT, R.R. *et al* **Análise e Diagnóstico Ambiental do Vale do Taquari –RS- Brasil, utilizando sensoriamento remoto e técnicas de geoprocessamento**. Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Florianópolis, 21-26, Abril, 2007, INPE, p. 5191-51-98. Disponível em: <https://www.google.com.br/#q=An%C3%A1lise+e+Diagn%C3%B3stico+Ambiental+do+Vale+do+Taquari+%E2%80%93RS-+Brasil,+utilizando+sensoriamento+remoto+e+t%C3%A9cnicas+de+geoprocessamento>; Acessado em: 28/11/2015, às 08:30h.

EPELBAUM, M. **Sistemas de gestão ambiental**. In: Modelos e ferramentas de Gestão Ambiental: desafios e perspectivas para as organizações. Alcir Vilela Júnior, Jacques Demajorovic (organizadores). São Paulo: Editora Senac, 2006.

EMBRAPA. **Zoneamento Agroecológico de Pernambuco – ZAPE**. Recife, Embrapa Solos – UEP Recife. Il. 1CD Rom. 2004.

FARIAS, L. C. E. & SILVA, D.A. Produto 2. **Diagnóstico. Apoio técnico e institucional para o Desenvolvimento do programa florestal da Chapada do Araripe em Pernambuco**. Fundação de Pesquisas Florestais do Paraná (Fupef), Curitiba-PR. 2007.

FERNANDES, J. D. & MEDEIROS, A. J. D. de **Desertificação no Nordeste: uma aproximação sobre o fenômeno do Rio Grande Norte**. Revista: Holos, Ano 25, Vol. 3, 2009. Disponível em: <http://www2.ifrn.edu.br/ojs/index.php/HOLOS/article/view/265>; Acessado em: 22/10/2015.

FERREIRA, G. M. L. **Atlas Geográfico: espaço mundial**. 2.ed. São Paulo: Moderna, 2003.

FIGUEIREDO, B. R. **Minérios e ambiente**. Campinas, SP: Editora da Unicamp, 2ª reimpressão, 2014.

FIORILLO, C. A. P.; MORITA, D. M. & FERREIRA, P. **Licenciamento Ambiental**. São Paulo: Saraiva, 2011.

FLORENZANO, T. G. **Imagens de satélites para estudos ambientais**. São Paulo: Oficina de textos, 2002.

FLORENZANO, T. G. **Satélites e suas aplicações**. São José dos Campos: SindCT, 2008.

FREIRIA, R.C. **Aspectos históricos da legislação ambiental no Brasil: da ocupação e exploração territorial ao desafio da sustentabilidade**. História e Cultura, Franca, v. 4, n. 3, p. 157-179, dez. 2015. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/291017783>; Acessado em: 21/05/2016.

GEO-PARK ARARIPE. História Geológica da Bacia do Araripe. Disponível em: historia-geologica-da-bacia-do-araripe/; Acessado em: 08/11/2016.

GIULLIETTI, A. M. *et al* **Parte II. Vegetação. Diagnóstico da vegetação nativa do bioma Caatinga**. In: Biodiversidade da Caatinga: áreas e ações prioritárias para a conservação. Org.: Silva, J. M. C da *et al*. Brasília, DF: Ministério do Meio Ambiente: Universidade Federal de Pernambuco, 2004.

GOMES, A.P.de S.; RODAL, M.J.N. & MELO, A.L. **Florística e fitogeografia da vegetação arbustiva subcaducifólia da Chapada de São José, Buíque, PE, Brasil**. Acta Bot. Bras. 20(1): 37-48.2006. Disponível em:

HOELFLICH, R. & TRZASKOS, B. **Análise comparativa entre o Código de Mineração vigente desde 1967 e o substitutivo ao Projeto de Lei Nº 37, de 2011**. São Paulo, UNESP, Geociências, v. 34, n. 3, p.452-464, 2015. Disponível em: http://www.revistageociencias.com.br/34/volume34_3_files/34-3-artigo-11.pdf; Acessado em: 15/07/2016.

IBGE. **Manuais Técnicos em Geociências**. N.09. Rio de Janeiro, 2001.

IBGE. **Manual técnico de vegetação brasileira**. Rio de Janeiro, 1992. 92 p

IBGE. **Base cartográfica do Brasil ao milionésimo**. Rio de Janeiro, IBGE, 2000.

IBGE. **Mapa de vegetação do Brasil. 1:5. 000.000**. Rio de Janeiro, IBGE. 2004.

IF SERTÃO PERNAMBUCANO. Ipubi. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Sertão Pernambucano. 2010. Disponível em: https://www.ifsertao-pe.edu.br/reitoria/pro-reitorias/prodi/observatorio/microrregiao_araripina/ipubi.pdf; Acessado em 08/02/2017, às 10:00h.

JAKSON, R.D. & HUETE, A.R. **Interpreting vegetation indices**. Preventive Veterinary Medicine, 11, 185-200. Revista: Elsevier Science Publishers B.V. Amsterdam, 1991. Disponível em: <http://www.uprm.edu/biology/profs/chinea/gis/lectesc/intvegindx.pdf>; Acessado em: 13/01/2017.

LANGE, M. B. R. **A conservação da natureza. Conceitos e breve histórico.** In: O direito e o desenvolvimento sustentável. Curso de direito ambiental. Org, RIOS, A. V. V. São Paulo: Peirópolis; Brasília, DF: IEB – Instituto Internacional de Educação do Brasil, 2005.

LOPES, H. L. *et al.* **Parâmetros biofísicos na detecção de mudanças na cobertura e uso do solo em bacias hidrográficas.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.14, n.11, p.1210–1219, 2010. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/rbeaa/v14n11/v14n11a11.pdf>; Acessado em: 19/01/2017.

LUZ, A. B. da; LINS. F. A. F. **Rochas & Minerais Industriais.** Ed. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2005.

LIU, W.T.H. **Aplicações de sensoriamento remoto.** 1 ed. Campo Grande: Editora UNIDERP, 2007.

MACÊDO, M. S. *et al.* **Composição florística de áreas de cerrado na Chapada do Araripe, Nordeste do Brasil.** 64^o Congresso Nacional de Botânica Belo Horizonte, 10-15 de Novembro de 2013. Disponível em: <https://www.botanica.org.br/trabalhos-cientificos/64CNBot/resumo-ins20426-id5610.pdf>; Acessado em: 06/08/2017.

MATALLO JÚNIOR, H. **Proposta de um Sistema básico de indicadores para identificação e monitoramento dos processos de desertificação na América Latina e Caribe.** In: Desertificação. Brasília: UNESCO. 1999, 2003.

MATALLO JÚNIOR, H. **Indicadores de desertificação: histórico e perspectivas.** Brasília: UNESCO, 2001. (Cadernos UNESCO Brasil. Série Meio Ambiente e Desenvolvimento, 2)

MATOS, R.M.D. **The Northeast Brazilian rift system. Tectonics an Agu Journal.** V.1(4), 766–791, doi:10.1029/91TC03092. 1992. Disponível em: <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1029/91TC03092/full>. Acessado em: 21/08/2016.

MENDES, B. V. **Biodiversidade e desenvolvimento sustentável do semiárido.** Fortaleza: SEMACE, 1997.

MENDONÇA, R. A. M. de. **Uso das Geotecnologias para Gestão Ambiental: Experiências na Amazônia Meridional.** Cuiabá: IC V- Instituto Centro de Vida, 2011. Disponível em: <http://www.icv.org.br/wp-content/uploads/2013/08/uso-das-geocnologias-para-gest%C3%A3o-ambiental.pdf>, Acessado em: 13/01/2017.

MDIC, Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior. **Termo de Referência para política nacional de apoio ao desenvolvimento de arranjos produtivos locais.** 2004. Disponível em: <www.mdic.gov.br/portalmDIC/arquivos/dwnl_1289322946.pdf>. Acesso em: 18/10/ 2016.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Manual de Normas e Procedimentos para Licenciamento Ambiental no Setor de Extração Mineral,** Secretaria de Qualidade Ambiental nos Assentamentos Humanos Programa de Proteção e Melhoria da Qualidade Ambiental IBAMA, 2001.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Programa de Ação Nacional de Combate à Desertificação e Mitigação dos Efeitos da Seca - Pan-Brasil**. Ago, 2004. Disponível em: <http://www.aspan.org.br/riodbrasil/pt/documentos/PAN.pdf>. Acesso em: 21/03/2016.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Panorama da desertificação no estado do Rio Grande do Norte, out 2005**. Disponível em: <http://mineiropt.com.br/media/uploads/publications/arq46bdd6587aae5.pdf>.; Acessado em: 21/10/2015.

MOURA, A. S de. **Agenda 21 de Pernambuco**. Fórum Estadual da Agenda 21. 2002. Disponível em: <http://www.cprh.pe.gov.br/downloads/capitulo02.pdf>; Acessada em: 16/10/2015.

MORAES, R. P. *et al.* **Contribuição do Topsoil para a Restauração Ambiental em áreas degradadas por Mineração**. XII Congresso Nacional de Meio Ambiente de Poços de Caldas. Minas Gerais, 2014. Disponível em: [https://www.google.com.br/?gws_rd=cr&ei=HOi2WK30CoqJwgT0-LDoCw#q=Contribui%C3%A7%C3%A3o+do+Topsoil+para+a+Restaura%C3%A7%C3%A3o+Ambiental+em+%C3%A1reas+degradadas+por+Minera%C3%A7%C3%A3o&*](https://www.google.com.br/?gws_rd=cr&ei=HOi2WK30CoqJwgT0-LDoCw#q=Contribui%C3%A7%C3%A3o+do+Topsoil+para+a+Restaura%C3%A7%C3%A3o+Ambiental+em+%C3%A1reas+degradadas+por+Minera%C3%A7%C3%A3o&*>); Acessado em: 01/03/2017.

MOREIRA, M. A. MOREIRA, M. A. **Fundamentos do Sensoriamento Remoto e Metodologias de Aplicação**. 3ª. ed. Atual. Ampl. Viçosa: Editora UFV, 320p. 2005. apud. WAGNER, A. P. L. **Dinâmica temporal de índices de vegetação no Pampa do Rio Grande do Sul e Uruguai e suas relações com os elementos meteorológicos regionais**. TeseTese de Doutorado apresentada como requisito parcial para a obtenção do Título de Doutor em Sensoriamento Remoto. Porto Alegre, 2013.

ORTIZ, J.L., FREITAS, M.I.C. **Mapeamento do uso da terra, vegetação e impactos ambientais por meio de sensoriamento remoto e geoprocessamento**. Revista Geociências, Vol. 24, nº 1, p.91-104, São Paulo: UNESP, 2005. Disponível em: <http://repositorio.unesp.br/handle/11449/68613>, Acessado em: 08/10/2015.

PARAÍBA. Secretaria de Educação/Universidade Federal da Paraíba. **Atlas geográfico do estado da Paraíba**. João Pessoa: GRAFSET, 1985. 100 p.

PEREIRA, A. C. L.; PASCHOAL, S. S. L. & ARAÚJO, P. C. de **Análise espaço-temporal da desertificação no semiárido do Nordeste do Brasil através de imagens de satélite LANDSAT 5**. Revista: Sociedade e Território, Natal, v. 26, nº 2, p. 181 - 196, jul./dez. 2014. Disponível em: <https://periodicos.ufrn.br/sociedadeeterritorio/article/viewFile/5294/4328>; Acessado em: 20/01/2017.

PERNAMBUCO. SECRETARIA DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA E MEIO AMBIENTE. **Região do Araripe: diagnóstico florestal. Secretaria de Ciência e Tecnologia e Meio Ambiente**. Brasília, DF: Ministério do Meio Ambiente, 2007.

PERNAMBUCO. **Lei nº 11.206/1995**. Dispõe sobre a política florestal do Estado de Pernambuco, e dá outras providências.

PERNAMBUCO. **DECRETO DE 4 DE AGOSTO DE 1997**. Dispõe sobre a criação da Área de Proteção Ambiental da chapada do Araripe, nos Estados do Ceará, Pernambuco e Piauí e dá outras providências.

PERNAMBUCO. **Decreto nº 26.055/2003**. Regulamenta o Projeto de Proteção Ambiental da Região do Araripe no Estado de Pernambuco, e dá outras providências.

PERNAMBUCO. **LEI Nº 12.916, DE 08 DE NOVEMBRO DE 2005**. Dispõe sobre licenciamento ambiental, infrações administrativas ambientais, e dá outras providências.

PERNAMBUCO. **LEI Nº 14.091, DE 17 DE JUNHO DE 2010**. Institui a **Política Estadual de Combate à Desertificação e Mitigação dos Efeitos da Seca**, e dá outras providências.

PHILIPPI Jr, A. & ALVES, A. C. **Curso interdisciplinar de direito ambiental**. Barueri, SP: Manole, 2005. –(Coleção Ambiental; 4)

PRADO, D. E. **As Caatingas da América do Sul**. In: **Ecologia e Conservação da Caatinga**. I. R; TABARELLI. M. & SILVA, J. M. C. ed. 3, Recife: Editora Cidade Universitária da UFPE, 2008.

PONZONI, F.J & SHIMABUKURO, Y. E. **Sensoriamento remoto no estudo da vegetação**. São José dos Campos, SP: Editora A. Silva Vieira, 2009.

PNUD – Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento. **Mineração e Meio Ambiente no Brasil. Relatório Preparado para o CGEE PNUD** – Contrato 2002/001604 Autor: Carlos Eugênio Gomes Farias Contribuição: José Mário Coelho, DSc. 2002. Disponível em: http://www.mma.gov.br/estruturas/sqa_pnla/_arquivos/minera.pdf; Acessado em: 10/01/2017.

RAMOS, M.C. **O gesso na escultura contemporânea. A história e as técnicas**. Dissertação apresentada ao Departamento de Mestrado em Escultura na Universidade de Lisboa, Faculdade de Belas Artes, 2011.

RODAL, M. J. N. & SAMPAIO, E. V. S. B. **A vegetação do bioma da Caatinga**. In: **Vegetação e flora da Caatinga**. SAMPAIO, E. V. S. B. *et al* . Recife: Associação Plantas do Nordeste – APNE, Centro Nordestino de Informações sobre Plantas – CNIP, 2002.

SÁ, I. I. S. *et al*. **Uso do índice de vegetação da diferença normalizada (IVDN) para caracterização da cobertura vegetal da região do Araripe Pernambucano**. Revista Brasileira de Geografia Física. Recife-PE, vol 01, nº 01, mai/ago 2008, 28-38. Disponível em: <http://www.revista.ufpe.br/rbgfe/index.php/revista/article/viewArticle/18>; Acessado em: 03/09/2015.

SÁ, I. I. S. *et al*. **Cobertura vegetal e uso da terra na região Araripe pernambucano**. Revista de Geografia da UFC, vol. 9, núm. 19, mayo-agosto, 2010,

pp. 143-163 Universidade Federal do Ceará Fortaleza, Brasil. Disponível em: <http://www.redalyc.org/pdf/2736/273620608012.pdf>, Acessado em: 03/09/2015.

SAMPAIO, E.V.S.B. **Uso das plantas da caatinga**. p. 49-90 In: Vegetação e flora das caatingas (Sampaio, E.V.S.B., A.M.; Giuliatti, J. Virgínio & C.F.L. Gamarra-Rojas, ed.). APNE / CNIP, Recife, PE. 2002.

SANCHEZ, L.H. **Avaliação de impacto ambiental: conceitos e métodos**. São Paulo: Oficina de Textos, 2006.

SANTOS, R. F. dos. **Planejamento Ambiental: teoria e prática**. São Paulo: Oficina de textos, 2004.

SANTOS, S.; PINA, M. F.; CARVALHO, M. S. **Os Sistemas de Informações Geográficas**. IN_PINA, M. F. (Org). **Conceitos básicos de Sistemas de Informação Geográfica e Cartografia aplicados à saúde**. Brasília: OPAS, 2000. p. 13 – 40.

SILVA, J. M. C. *et al.* **Biodiversidade da Caatinga: áreas e ações prioritárias para a conservação**. Brasília, DF: Ministério do Meio Ambiente: Universidade Federal de Pernambuco, 2004).

SILVA, F.B.R. *et al.* **Zoneamento agroecológico do nordeste: diagnóstico do quadro natural e agrossocioeconômico**. Petrolina, EMBRAPA – CPATSA/CNPS. V2. 1993.

SIMPÓSIO PÓLO GESSEIRO. **Potencialidades, problemas e soluções**. Disponível em: <http://www.ipa.br/publicacoes/Relat%C3%B3rio%20apresenta%C3%A7%C3%B5es.pdf>; Acessado em 23/11/2016.

SINDUSGESSO – **Sindicato da Indústria do Gesso do estado de Pernambuco**. Disponível em: <https://www.sindusgesso.org.br/>; Acessado em: 22/02/2017.

SOARES, D. B. **Degradação ambiental no semiárido pernambucano : contribuição ao estudo da desertificação**. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco, CFCH. Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente, 2012. Disponível em: <http://doczz.com.br/doc/18811/degrada%C3%A7%C3%A3o-ambiental-no-semi%C3%A1rido-pernambucano--contribui%C3%A7%C3%A3o>; Acessado em: 21/01/2017.

SOBRINHO, A. C. P. de L. *et al.* **Gipsita**. Balanço Mineral. DNPM. Disponível em: <http://www.dnpm.gov.br/dnpm/paginas/balanco-mineral/arquivos/balanco-mineral-brasileiro-2001>; Acessado em: 21/01/2017.

SOUZA, M.J.M. *et al.* **Redimensionamento da região semiárida do Nordeste do Brasil**. In: **Conferência Nacional e Seminário Latino-americano de Desertificação**. Anais, Fortaleza, 1994.

SOUZA, R. F. de.; *et al.*; **Estudo da evolução espaço-temporal da cobertura vegetal do município de Boa Vista-PB, utilizando Geoprocessamento**. In:

Cobertura vegetal e uso da terra na região Araripe pernambucano. Revista de Geografia da UFC, vol. 9, núm. 19, mayo-agosto, 2010, pp. 143-163 Universidade Federal do Ceará Fortaleza, Brasil. Disponível em: <http://www.redalyc.org/pdf/2736/273620608012.pdf>, Acessado em: 03/09/2015.

TEOTIA ,H.S., *et al* **Integração do Sensoriamento Remoto e SIG/SIT na preparação de modelo de desenvolvimento da terra para planejamento rural.** In: **Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, 10. Foz de Iguaçu, Paraná. Abril, 2001. Anais. São José dos Campos: INPE, 2001.

VELLOSO, A.; SAMPAIO, E. V. S. B. & PAREYN, F. G. C. **Ecorregiões: propostas para o Bioma da Caatinga.** Recife: Associação de Plantas do Nordeste; Instituto de Conservação Ambiental The Nature Conservancy do Brasil, 2002.

VAN ETEN, E.J.B.; NEASHAM, B.; DALGLEISH, S. **Soil seed banks of fringing salt lake vegetation in arid Western Australia – density, composition and implications for postmine restoration using topsoil.** *Ecol. Management & Restoration*, v. 15, n. 3, p. 239–242, 2014. Disponível em: <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/emr.12119/full>; Acessado em: 01/03/2017.

VIANA, M. S. S. & NEUMANN, V. H. L. M. 2002. **Membro Crato da Formação Santana, Chapada do Araripe, Ceará: riquíssimo registro da fauna e flora do Cretáceo.** In: Schobbenhaus, C.; Campos, D. A. C.; Queiroz, E. T., Winge, M. & Berbert-Bron, M. *Sítios Geológicos e Paleontológicos do Brasil*. Brasília, DNPM, p. 113-120.

VIST, h. I; GONÇALVES, A. M. & SANTOS, R. N. dos. **Apostila do curso: Quantum GIS Básico – Módulo I.** Porto Alegre, 2013. Disponível em: http://cvist.com.br/publicacoes/quantum_gis_2013.pdf; Acessado em: 20/10/2016.

WAINER, A. H. **Legislação Ambiental Brasileira: Evolução Histórica do Direito Ambiental.** Revista de informação legislativa : v. 30, n. 118. Abr./jun. Brasília, 1993. Disponível em: <http://www2.senado.leg.br/bdsf/item/id/176003>; Acessado em: 09/08/2016.

WAGNER, A. P. L. **Dinâmica temporal de índices de vegetação no Pampa do Rio Grande do Sul e Uruguai e suas relações com os elementos meteorológicos regionais.** Tese de Doutorado apresentada como requisito parcial para a obtenção do Título de Doutor em Sensoriamento Remoto. Porto Alegre, 2013. Disponível em: http://www.ufrgs.br/srm/ppgsr/publicacoes/tese_AnaWagner.pdf; Acessado em: 12/01/2017.

ZHANG, Z. Q., SHU, W. S., LAN, C. Y., WONG, M. H. **Soil seed bank as an input of seed source in revegetation of lead/zinc mine tailings.** *Restoration Ecology*, Washington,, v.9, n.4, p.378-384, 2001. Disponível em: <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1046/j.1526-100X.2001.94007.x/full>; Acessado em 21/03/2017.