



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ**  
**CAMPUS CRATEÚS**  
**CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE MINAS**

**WILLIAN ALVES NASCIMENTO**

**ANÁLISE MULTITEMPORAL COM USO DO NDVI DA LAVRA DE GIPSITA  
PELAS PRINCIPAIS EMPRESAS PRODUTORAS NA MICRORREGIÃO DO  
ARARIPE PERNAMBUCANO ENTRE OS ANOS DE 2013 A 2017**

**CRATEÚS**

**2021**

WILLIAN ALVES NASCIMENTO

ANÁLISE MULTITEMPORAL COM USO DO NDVI DA LAVRA DE GIPSITA PELAS  
PRINCIPAIS EMPRESAS PRODUTORAS NA MICRORREGIÃO DO ARARIPE  
PERNAMBUCANO ENTRE OS ANOS DE 2013 A 2017

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia de Minas da Universidade Federal do Ceará, Campus Crateús, como requisito parcial para obtenção do título do grau de bacharel de Engenharia de Minas.

Orientador: Prof. Me. Rafael Chagas Silva

Coorientador: Prof. Dr. Francisco Diones  
Oliveira Silva

CRATEÚS

2021

WILLIAN ALVES NASCIMENTO

ANÁLISE MULTITEMPORAL COM USO DO NDVI DA LAVRA DE GIPSITA PELAS  
PRINCIPAIS EMPRESAS PRODUTORAS NA MICRORREGIÃO DO ARARIPE  
PERNAMBUCANO ENTRE OS ANOS DE 2013 A 2017

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado  
ao Curso de Engenharia de Minas da  
Universidade Federal do Ceará, Campus  
Crateús, como requisito parcial para obtenção  
do título do grau de bacharel de Engenharia de  
Minas.

Orientador: Prof. Me. Rafael Chagas Silva

Coorientador: Prof. Dr. Francisco Diones  
Oliveira Silva

Aprovada em: \_\_/\_\_/\_\_\_\_.

BANCA EXAMINADORA

---

Prof. Me. Rafael Chagas Silva (Orientador)

Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Prof. Dr. Francisco Diones Oliveira Silva (Coorientador)

Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Prof.<sup>a</sup> Me. Debora Nogueira Lopes

Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Prof. Dr. Vinícius Anselmo Carvalho Lisboa

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba (IFPB)

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

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

---

- N199a Nascimento, Willian Alves.  
Análise multitemporal com uso do NDVI da lavra de gipsita pelas principais empresas produtoras na Microrregião do Araripe pernambucano entre os anos de 2013 a 2017 / Willian Alves Nascimento. – 2021.  
76 f. : il. color.
- Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Campus de Crateús, Curso de Engenharia de Minas, Crateús, 2021.  
Orientação: Prof. Me. Rafael Chagas Silva.  
Coorientação: Prof. Dr. Francisco Diones Oliveira Silva.
1. Gipsita. 2. Produção mineral. 3. Microrregião do Araripe. 4. Avaliação multitemporal . I. Título.  
CDD 622
-

## RESUMO

O mineral industrial gipsita utilizado como matéria prima na fabricação do gesso e do cimento, apresenta grande importância para o desenvolvimento da construção civil. A lavra de gipsita na microrregião do Araripe, localizada na porção oeste do estado de Pernambuco, representa uma das principais atividades econômicas da região. Deste modo, a extração, o beneficiamento e a comercialização da gipsita na região, gera emprego e renda a população e promove o desenvolvimento econômico dos municípios situados no polo gesseiro pernambucano. Nos últimos anos, o aumento da demanda de consumo de gipsita no mercado nacional, promoveu um crescimento nos trabalhos de prospecção da gipsita e intensificação de produção nas minas em operação. À vista disso, este trabalho teve como objetivo realizar uma análise multitemporal entre os anos de 2013 a 2017 do desenvolvimento da lavra de gipsita na microrregião do Araripe pernambucano, usando-se os registros dos anuários de produção mineral e a análise dos territórios por imagens do satélite Landsat 8. Para tanto, a pesquisa foi dividida em duas etapas, a primeira correspondeu a seleção das principais empresas produtoras de gipsita na microrregião do Araripe pernambucano e a segunda foi desenvolvida por meio da análise multitemporal das áreas produtoras de gipsita mediante o uso da técnica do Índice de Vegetação da Diferença Normalizada – NDVI, utilizando-se das bandas 4 e 5 das cenas Landsat-8 TM, correspondentes ao vermelho e ao infravermelho próximo, respectivamente. Verificou-se nos anuários de produção mineral do Pernambuco, entre os anos de 2013 a 2017, que as três principais empresas produtoras de gipsita na microrregião do Araripe foram: Votorantim Cimentos, a Mineradora São Jorge, e a LafargeHolcim. Dentre as empresas produtoras, a Votorantim cimentos registrou os maiores valores de produção de gipsita no período analisado. Verificou-se nas análises multitemporais, que as principais empresas produtoras de gipsita na microrregião do Araripe, apresentaram discretos aumentos de áreas lavradas, desde modo, a Votorantim Cimentos N/NE, Mineradora São Jorge e a LafargeHolcim acrescentaram a suas cavas: 2,45; 3,97 e 4,84 hectares, respectivamente, correspondentes ao período estudado. Os pequenos aumentos de áreas, são justificados pelo período em avaliação ser curto, se comparado ao tempo de operação das minas. Além disso, verificou-se que o método de lavra das minas do polo gesseiro desenvolveu-se por meio de bancadas múltiplas, o que favoreceu o aprofundamento da cava, reduzindo assim, o aumento superficial de área lavrada no decorrer do tempo.

**Palavras-chaves:** Gipsita. Produção mineral. Microrregião do Araripe. Avaliação Multitemporal

## ABSTRACT

The industrial mineral gypsum used as raw material in the manufacture of gypsum and cement is of great importance for the development of civil construction. Gypsum mining in the Araripe microregion, located in the western portion of the state of Pernambuco, represents one of the main economic activities in the region. In this way, the extraction, processing and sale of gypsum in the region generates employment and income for the population and promotes the economic development of the municipalities located in the gypsum complex in Pernambuco. In recent years, the increase in the demand for consumption of gypsum in the domestic market has promoted a growth in gypsum prospecting work and intensification of production at the mines in operation. In view of this, this study aimed to carry out an analysis between the years 2013 to 2017 of the development of gypsum mining in the Araripe microregion of Pernambuco, using the records of mineral production yearbooks and the analysis of territories by satellite images Landsat 8. Therefore, the research was divided into two stages, the first corresponding to the selection of the main gypsum producing companies in the Araripe Pernambuco microregion and the second was developed through the analysis of

comparisons of years of gypsum producing areas using the Normized Difference Vegetation Index – NDVI technique, using bands 4 and 5 of the Landsat-8 TM scenes, corresponding to red and near infrared, respectively. It was verified in the mineral production annuals of Pernambuco, between the years 2013 to 2017, that the three main companies producing gypsum in the Araripe microregion were: Votorantim Cimentos, Mineradora São Jorge, and Lafargeholcim. Among the producing companies, Votorantim Cements recorded the highest gypsum production values in the period analyzed. It was verified in the analysis of the comparisons of the years, that the main companies producing gypsum in the Araripe microregion, presented slight increases in the plowed areas, therefore, Votorantim Cimentos N/NE, Mineradora São Jorge and Lafargeholcim added to their caves: 2.45; 3.97 and 4.84 hectares, respectively, corresponding to the period studied. The small increases in areas are justified by the period under evaluation being short, if compared to the operating time of the mines. Furthermore, it was found that the mining method in the gypsum pole mines was developed using multiple benches, which favored the deepening of the pit, thus reducing the surface increase in the plowed area over time.

**Keywords:** Gypsum. Mineral production. Araripe microregion. Comparative analysis of years

## LISTA DE ILUSTRAÇÃO

Figura 1: localização do polo gesseiro .....	15
Figura 2: unidades litológicas.....	17
Figura 3: coluna litoestratigráfica da bacia sedimentar do araripe.....	18
Figura 4: formações e unidades litoestratigráficas da bacia do araripe.....	19
Figura 5: amostra de gipsita .....	20
Figura 6: operações mineiras de perfuração, detonação, carregamento e transporte de rochas.....	22
Figura 7: perfuratriz rotopercussiva utilizada na perfuração de gipsita .....	23
Figura 8: compressor de ar utilizado para acionamento da perfuratriz rotopercussiva ....	24
Figura 9: retroescavadeira sobre esteira modelo 944 da liebherr .....	25
Figura 10: carregadeira sobre pneus modelo 580 da liebherr.....	26
Figura 11: caminhão rodoviário basculante.....	26
Figura 12: rota do beneficiamento da gipsita .....	28
Figura 13: propagação da onda eletromagnética e oscilações ortogonais dos campos magnético (b) e elétrico (e).....	31
Figura 14: resposta da reflectância conforme à textura da superfície. (a) reflectância especular de uma superfície lisa. (b) reflectância difusora de uma superfície rugosa.....	32
Figura 15: espectro eletromagnético. ....	34
Figura 16: ilustração de resoluções espaciais diferentes (1, 2,3 e 5 metros).....	36

Figura 17: imagens com diferentes níveis de cinza e bits correspondentes, respectivamente: (a) 2048 e 11 bits, (b) 256 e 8 bits, (c) 128 e 7 bits, (d) 16 e 5 bits, (e) 4 e 2 bits, (f) 2 e 1 bits. ....	37
Figura 18: série de satélites landsat .....	39
Figura 19: fluxograma da metodologia de realização do trabalho .....	46
Figura 20: localização dos processos minerários das principais empresas produtoras de gipsita no estado do pernambuco. ....	48
Figura 21: análise dos anos de 2013 e 2014 da votorantim cimentos n/ne .....	50
Figura 22: índice pluviométrico dos municípios do polo gesseiro .....	51
Figura 23: análise dos anos de 2014 e 2015 da votorantim cimentos n/ne .....	51
Figura 24: análise dos anos de 2015 e 2016 da votorantim cimentos n/ne .....	52
Figura 25: análise dos anos de 2016 e 2017 da votorantim cimentos n/ne .....	52
Figura 26: análise dos anos de 2013 e 2017 da votorantim cimentos n/ne .....	53
Figura 27: comparação dos anos de 2013 e 2016 no google earth pro da votorantim cimentos n/ne.....	54
Figura 28: comparação dos anos de 2016 e 2018 no google earth pro da votorantim cimentos n/ne.....	55
Figura 29: diagnóstico da área da votorantim cimentos n/ne .....	56
Figura 30: análise dos anos de 2013 e 2014 da mineradora são jorge s/a - cava 1 .....	58
Figura 31: análise dos anos de 2014 e 2015 da mineradora são jorge s/a - cava 1 .....	58
Figura 32: análise dos anos de 2015 e 2016 da mineradora são jorge s/a - cava 1 .....	59
Figura 33: análise dos anos de 2016 e 2017 da mineradora são jorge s/a - cava 1 .....	59



Figura 34: comparação dos anos de 2013 e 2016 no google earth pro da mineradora são jorge.....	60
Figura 35: comparação dos anos de 2016 e 2018 no google earth pro da mineradora são jorge.....	61
Figura 36: diagnóstico da área da mineradora são jorge s/a - cava 1 .....	62
Figura 37: análise dos anos de 2013 e 2014 da mineradora são jorge s/a - cava 2 .....	63
Figura 38: análise dos anos de 2014 e 2015 da mineradora são jorge s/a - cava 2 .....	64
Figura 39: análise dos anos de 2015 e 2016 da mineradora são jorge s/a - cava 2 .....	64
Figura 40: análise dos anos de 2016 e 2017 da mineradora são jorge s/a - cava 2 .....	65
Figura 41: comparação dos anos de 2013 e 2016 no google earth pro da mineradora são jorge s/a - cava 2.....	66
Figura 42: comparação dos anos de 2016 e 2018 no google earth pro da mineradora são jorge s/a - cava 2.....	67
Figura 43: análise dos anos de 2013 e 2014 da mineradora lafargeholcim.....	69
Figura 44: análise dos anos de 2014 e 2015 da mineradora lafargeholcim.....	69
Figura 45: análise dos anos de 2015 e 2016 da mineradora lafargeholcim.....	70
Figura 46: análise dos anos de 2013 e 2014 da mineradora lafargeholcim.....	70
Figura 47: comparação dos anos de 2013 e 2016 no google earth pro da mineradora lafargeholcim.....	71
Figura 48: comparação dos anos de 2016 e 2018 no google earth pro da mineradora lafargeholcim.....	72
Figura 49: diagnóstico da área da mineradora lafargeholcim.....	73

## LISTA DE TABELA

Tabela 1 - especificações do landsat 8 .....	40
Tabela 2 - especificações dos sensores oli e tirs .....	41
Tabela 3 - empresas e participações na comercialização comercializada.....	47

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>13</b>
<b>2 OBJETIVOS .....</b>	<b>14</b>
<b>2.1 Objetivo geral.....</b>	<b>14</b>
<b>2.2 Objetivos específicos: .....</b>	<b>14</b>
<b>3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....</b>	<b>14</b>
<b>3.1 Localização e Aspectos fisiográficos da microrregião do Araripe .....</b>	<b>15</b>
<b>3.2 Geologia da Bacia do Araripe .....</b>	<b>16</b>
<b>3.3 Características e propriedades mineralógicas da gipsita.....</b>	<b>20</b>
<b>3.4 Lavra de gipsita na microrregião do Araripe .....</b>	<b>20</b>
<b>3.4.1 Desenvolvimento .....</b>	<b>21</b>
<b>3.4.2 Operações mineiras da lavra de gipsita .....</b>	<b>21</b>
<b>3.4.2.1 Perfuração de rochas em pedreiras de gipsita.....</b>	<b>22</b>
<b>3.4.2.2 Desmonte de rochas aplicado a lavra de gipsita na microrregião do Araripe.....</b>	<b>24</b>
<b>3.4.2.3 Operações de carregamento e transporte de gipsita na Microrregião do Araripe .....</b>	<b>25</b>
<b>3.5 Processamento Industrial da Gipsita.....</b>	<b>27</b>
<b>3.6 Principais usos da gipsita .....</b>	<b>29</b>
<b>3.6.1 Gipsita in natura.....</b>	<b>29</b>
<b>3.6.2 Gipsita calcinada .....</b>	<b>29</b>
<b>3.7 Sensoriamento remoto.....</b>	<b>30</b>
<b>3.7.1 Natureza da radiação eletromagnética (REM).....</b>	<b>30</b>
<b>3.7.1.1 Modelo Ondulatório da radiação eletromagnética.....</b>	<b>31</b>
<b>3.7.1.2 Modelo corpuscular da radiação eletromagnética .....</b>	<b>32</b>
<b>3.7.2 Espectro eletromagnético .....</b>	<b>33</b>
<b>3.7.3 Resoluções das imagens de satélite .....</b>	<b>34</b>
<b>3.7.3.1 Resolução espacial .....</b>	<b>35</b>
<b>3.7.3.2 Resolução espectral.....</b>	<b>36</b>
<b>3.7.3.3 Resolução radiométrica.....</b>	<b>37</b>
<b>3.7.3.4 Resolução temporal.....</b>	<b>38</b>
<b>3.7.4 Índice de Vegetação da Diferença Normalizada .....</b>	<b>38</b>
<b>3.7.5 Satélites imageadores utilizados no sensoriamento remoto .....</b>	<b>38</b>
<b>3.7.5.1 Landsat 8.....</b>	<b>39</b>

<b>4 MATERIAIS E MÉTODOS.....</b>	<b>42</b>
<b>4.1 Seleção das empresas produtoras de gipsita .....</b>	<b>42</b>
<b>4.2 Avaliação multitemporal por imagens de satélite das principais áreas produtoras de gipsita no sertão pernambucano .....</b>	<b>42</b>
<b>5 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>47</b>
<b>5.1 Principais empresas produtoras de Gipsita no polo gesseiro pernambucano .....</b>	<b>47</b>
<b>5.2 Avaliação multitemporal por imagens de satélite das principais empresas produtoras de gipsita na Microrregião do Araripe .....</b>	<b>49</b>
<b>5.2.1 Votorantim Cimentos N/NE .....</b>	<b>49</b>
<b>5.2.2 Mineradora São Jorge S/A .....</b>	<b>57</b>
<b>5.2.3 Lafargeholcim.....</b>	<b>68</b>
<b>6 CONCLUSÕES.....</b>	<b>74</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>75</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A mineração, agricultura e construção civil estão entre as atividades mais antigas e importantes desenvolvidas pelo homem. Ao longo do tempo, as civilizações vêm utilizando recursos minerais para criar e aprimorar utensílios, ferramentas, armas, casas, meios de transportes, equipamentos e diversos outros produtos que tornam as atividades humanas mais fáceis e eficientes (FARIAS, 2002)

O Brasil possui um dos maiores patrimônios minerais do mundo, sendo um importante produtor e exportador de minérios de alta qualidade. A indústria da mineração é um dos setores básicos da economia nacional, favorecendo decisivamente para o bem-estar e a melhoria da qualidade de vida da população (CHAVES NETO, 2013). A implantação e operação das mineradoras geram efeitos significativos no desenvolvimento socioeconômico de regiões situadas próximas às minas. Enumeram-se vários desses efeitos, entre eles, a geração de emprego e renda, a implantação de infraestrutura econômica que traz benefícios coletivos, o surgimento de novos núcleos urbanos e o desenvolvimento de outros setores produtivos (LEITE, 2012).

O nordeste brasileiro evidencia atividades econômicas diversificadas, sobretudo no setor primário produtivo da economia, com destaque para agricultura, pecuária ou agropecuária. Em outras vertentes, a região conota um grande potencial para o turismo, a indústria e o comércio e, mais recentemente vem registrando um progresso significativo nas atividades do setor mineral (ECONOMIA, 2007).

De acordo com o Anuário Mineral Brasileiro de 2019, o estado da Bahia lidera o ranking de produção de substâncias minerais do Nordeste, com destaque para os elementos metálicos, como ouro, ferro-níquel e cobre. O Pernambuco é o quinto estado nesse ranking, registrando um potencial significativo para produção de rochas e minerais industriais, tais como rochas ornamentais, brita, cascalho, areias, argilas e, com destaque para a gipsita, utilizada na produção de argamassas e gesso, cuja produção representa cerca de 90% do consumo nacional.

A gipsita produzida em Pernambuco situa-se no polo gessífero do Araripe, localizado no extremo oeste do estado e abrange os municípios de Araripina, Bodocó, Ipubi, Ouricuri e Trindade. As atividades de lavra, beneficiamento e comércio de gipsita, configuram as principais atividades econômicas da região. Segundo o Anuário Mineral do Estado de Pernambuco de 2018, a produção deste bem mineral é realizado por 33 empresas de micro, pequeno e médio porte que executam as operações a céu aberto. O valor agregado a

comercialização de gipsita é baixo, o que corrobora para uma alta produtividade que contribui para a formação de grandes áreas superficiais de produção nas minas.

Desta forma, tendo em vista o grande dinamismo ocorrido nas áreas produtivas de gipsita na região, o presente trabalho utilizou de ferramentas do sensoriamento remoto, para realizar a avaliação multitemporal nas principais minas de gipsita do polo gesseiro, utilizando as imagens de satélite do Landsat 8, usando-se a técnica do Índice da Diferença da Vegetação Normalizada - NDVI para realizar um diagnóstico do crescimento espacial das áreas de produção entre 2013 e 2017.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo geral**

Este trabalho teve por objetivo realizar uma análise multitemporal do desenvolvimento da lavra de gipsita na microrregião do Araripe pernambucano, usando-se os registros dos anuários de produção mineral entre os anos de 2013 a 2017 e a análise das cavas por imagens do satélite Landsat 8 com o uso do NDVI.

### **2.2 Objetivos específicos:**

- Selecionar nos anuários de produção mineral as principais empresas produtoras de gipsita na microrregião do Araripe pernambucano;
- Identificar a localização dos processos de requerimento de pesquisa, autorização de pesquisa, requerimento de lavra e concessão de lavra de gipsita das principais empresas produtoras na região.
- Adquirir e processar imagens do satélite Landsat 8 entre os anos de 2013 e 2017.

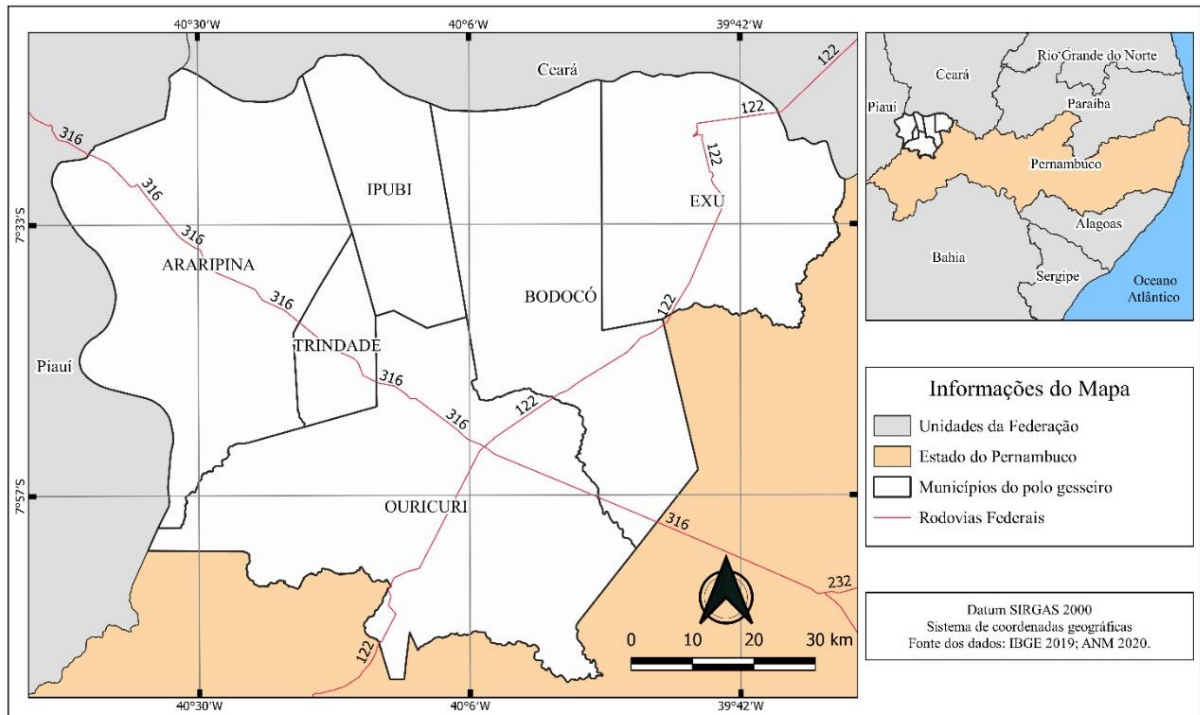
## **3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

Este capítulo apresenta uma revisão da literatura sobre os temas estudados neste trabalho, com fundamento na caracterização dos municípios produtores de gipsita na microrregião do Araripe pernambucano e no processamento digital de imagens de satélites.

### 3.1 Localização e Aspectos fisiográficos da microrregião do Araripe

Localizado no estado pernambucano, o Polo Gesseiro (Figura 1), situa-se, predominantemente, na microrregião do Araripe pernambucano, formado pelos municípios de Araripina, Bodocó, Exu, Ipubi, Ouricuri e Trindade, inseridos na unidade geoambiental da Depressão Sertaneja, que representa a paisagem típica do semiárido nordestino (PERRELLA, 2017).

Figura 1: Localização do Polo Gesseiro



Fonte: elaborada pelo autor

Segundo Barros, Lages e Santos (2019) a microrregião do Araripe, registra médias anuais de temperatura de 27 °C e apresenta duas estações climáticas bem definidas, inverno e verão, com períodos de chuvas intermitentes entre os meses de janeiro e abril, com média pluviométrica de 800 mm/ano.

O relevo preeminente da microrregião do Araripe é suave-ondulado, cortado por vales estreitos, com vertentes dissecadas (BELTRÃO *et al*, 2005). Os vales e serras são recobertos por árvores e arbustos do tipo hiperxerófila, vegetação típica do bioma caatinga do nordeste brasileiro. A flora desenvolve-se em solos poucos profundos e com alta pedregosidade, devido aos processos de lixiviação. Os fatores climáticos e o perfil do solo, favorecem a uma vegetação de porte, predominantemente, rasteiro, com arbustos espinhentos e árvores de pequeno porte com troncos retorcidos com destaque para cactos e bromélias (MENDES, B,1997).

### 3.2 Geologia da Bacia do Araripe

Localizada na Província da Borborema, a Bacia Sedimentar do Araripe é a mais extensa do interior do nordeste brasileiro e abrange os estados do Pernambuco, Piauí e Ceará, em uma área de, aproximadamente, 9.000 km<sup>2</sup> (ASSINE, 2007). Segundo Lima, Flavia *et al* (2010), região preserva grande diversidade de rochas sedimentares, como os calcários, argilitos, arenitos e espessos depósitos de gipsita, além de preservar, grande quantidade de registros fossilíferos.

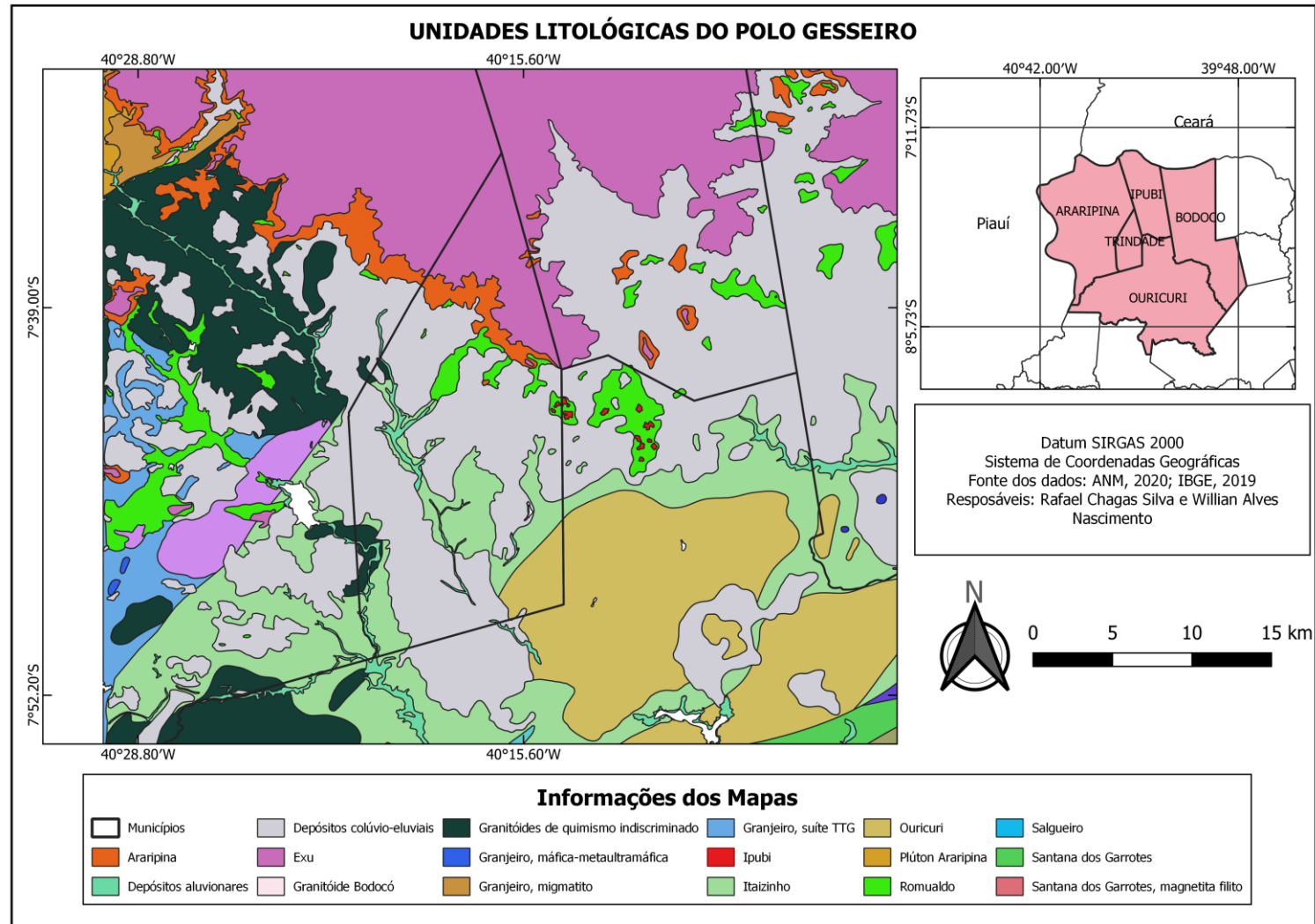
A geologia da Bacia Sedimentar do Araripe é classificada e organizada em unidades litológicas (Figura 2), mostrando-se complexa em virtude de diversos processos geológicos e fatores climáticos ocorridos ao longo do tempo. De acordo com (LIMA, Flavia *et al*, 2010), a região que corresponde atualmente à Bacia do Araripe desenvolveu-se lentamente como uma grande área de depressão na superfície terrestre, há aproximadamente 150 milhões de anos, causada pela separação dos continentes do antigo supercontinente Gondwana. Este evento geológico durou dezenas de milhões de anos, resultando em diferentes cenários climatológicos e topográfico para o preenchimento da bacia pelo carreamento de sedimentos e matéria orgânica provenientes de regiões montanhosas, resultando em distintos contatos estratigráficos.

Segundo Barros, Lages e Santos (2019) os estudos geológicos da bacia do Araripe iniciaram-se em 1913, a partir do empilhamento estratigráficos de quatro unidade litológicas: conglomerado basal, arenito inferior, calcário Santana e arenito superior. A partir de 1960, novos estudos geológicos foram realizados com o intuito de caracterizar a hidrogeologia regional para fins de combate às secas. Os resultados das pesquisas possibilitaram a publicação de inúmeros trabalhos sobre estratigrafia, potencial hidrogeológico e geotectônica regional. Em 1980, foram realizadas investigações Geofísicas, com o foco na pesquisa de Petróleo, por meio das técnicas de gravimetria, magnetometria e sísmica de reflexão. De forma abrangente, estes trabalhos resultaram em diversas classificações estratigráficas da bacia, o que dificultou uma classificação exata (BARROS; LAGES; SANTOS, 2019).

Todavia, a descrição estratigráfica que melhor descreve a Bacia do Araripe, foi idealizada entre os anos de 2007 e 2015 por Assine e Neumann (BARROS; LAGES; SANTOS, 2019). Baseados em estudos prévios, os pesquisadores aprimoraram o modelo estratigráfico, conforme mostrado na Figura 3. Nesta classificação, a bacia foi pormenorizada em grupos e formações, seguindo a seguinte ordem de sobreposição: Embasamento Cristalino; Formação Cariri; Grupo Vale do Cariri (Formação Brejo Santos, Formação Missão Velha e Formação Abaiara); Grupo Santana (Formação Barbalha, Formação Crato, Formação Ipubi e Formação Romualdo); e Grupo Araripe (Formação Araripina e Formação Exu).



Figura 2: Unidades litológicas



Fonte: elaborada pelo autor

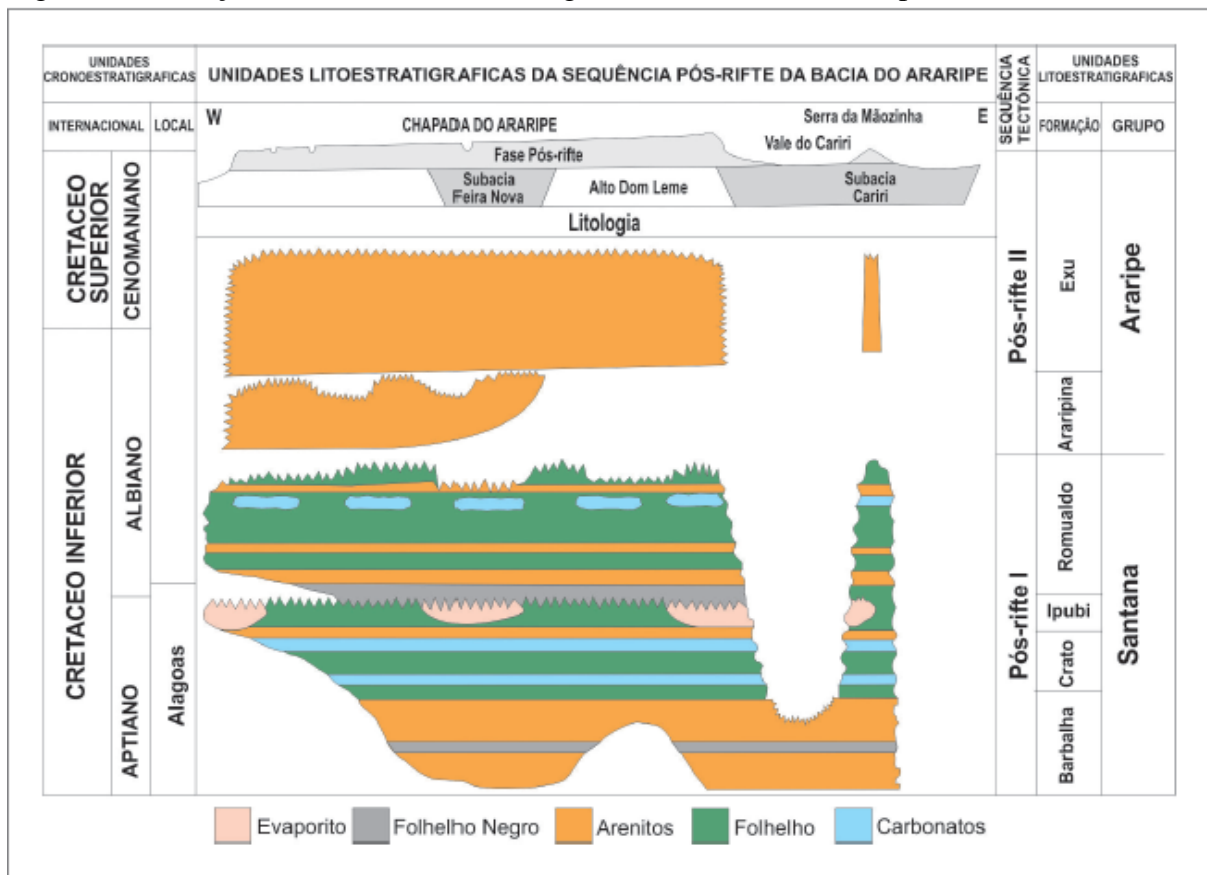
Figura 3: Coluna litoestratigráfica da Bacia Sedimentar do Araripe

EON	ERA	PERÍODO	ÉPOCA	IDADE	M.A.	SEQUÊNCIA TECTÔNICA	UNIDADE LITOESTRATIGRÁFICA	
							GRUPO	FORMAÇÃO
Fanerozóico	Mesozóico (MZ)	Cretáceo (K)	Superior (K2)	Cenomaniano	93,9	Pós-Rifte II	Araripe	Exu
				Albiano	~100,5			Disc.erosiva Araripina
			Inferior (K1)	Aptiano	~113,0	Pós-Rifte I	Santana	Disc.erosiva Romualdo
								Ipubi
					Crato			
					Barbalha			
				~125,0	Discordância Pré-aptiana			
		Jurássico (J)	Superior (J3)		Pré-Rifte	Vale do Cariri	Abaiara	
							Missão Velha	
							Brejo Santo	
		~145,0						
Discordância Pré-mesozóica								
	Paleozóico	Siluriano ?				Beta		Cariri
Discordância Pré-fanerozóica								
Pré-Cam.						Embasamento Cristalino		

Fonte: Barros, Lages e Santos (2019)

A Formação Ipubi dentro do Grupo Santana é constituída de evaporitos composto por camadas lenticulares (descontínuas) de gipsita e anidrita (Figura 4), posicionadas em diferentes profundidades, atingindo espessuras que podem chegar a 30 metros, em associação faciológica com folhelhos pretos e verdes (BARROS; LAGES; SANTOS, 2019). Estes depósitos de evaporitos formaram-se a partir da precipitação química de sais concentrados na água do lago presente na bacia (LIMA, Flavia *et al*, 2010). Os afloramentos de gipsita são quase inexistentes devido sua alta solubilidade. Assim os trabalhos de prospecção superficiais devem ser feitos baseados em rochas subjacentes da Formação Romualdo, tais como arenito fino, folhelho verde, rico em ostracodes, folhelho cinza escuro e preto, rico em matéria orgânica. Ressaltando, não sendo possível afirmar que sempre existe gipsita abaixo dessas camadas dessas rochas (ASSINE, 2007).

Figura 4: Formações e Unidades Litoestratigráficas da Bacia do Araripe.



Fonte: Barros, Lages e Santos (2019)

### 3.3 Características e propriedades mineralógicas da gipsita

A gipsita (Figura 5),  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ , ou sulfato de cálcio di-hidratado, é um mineral industrial abundante que ocorre em diversas regiões do planeta e apresenta um amplo e diversificado campo de utilizações, sobretudo na construção civil e na agricultura. Dentre suas propriedades, a facilidade de desidratação e reidratação mostra-se como principal característica de interesse industrial (BALTAR; BASTOS; LUZ, 2005).

De acordo com Lyra Sobrinho *et al* (2001) a gipsita tem dureza 2 na escala de Mohs, densidade 2,35, índice de refração 1,53, elevada solubilidade e coloração variável entre incolor, branca, cinza e marrom claro, a depender das impurezas contidas nos cristais. Do ponto de vista estequiométrico, a gipsita apresenta 32,5% de CaO, 46,6% de  $\text{SO}_3$  e 20,9% de  $\text{H}_2\text{O}$ . Trata-se de um mineral de baixa resistência que sob ação do calor (em torno de  $160^\circ\text{C}$ ), desidrata-se parcialmente, originando um semi-hidrato conhecido comercialmente como gesso ( $\text{CaSO}_4 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O}$ ). Os termos “gipsita”, “gipso” e “gesso”, são frequentemente usados como sinônimos. Todavia, a denominação gipsita é reconhecidamente a mais adequada ao mineral em estado natural, enquanto gesso é o termo mais apropriado para designar o produto calcinado.

Figura 5: Amostra de Gipsita



Fonte: capturada pelo autor

### 3.4 Lavra de gipsita na microrregião do Araripe

As operações de lavra da gipsita no sertão pernambucano são realizadas em diversas etapas interdependentes. Inicialmente, realizam-se os trabalhos de desenvolvimento mineiro que perfazem a infraestrutura da mina e a preparação da área para exploração do material, rocha estéril ou gipsita. De forma síncrona, executam-se as operações mineiras de desmonte de rochas

por ação de explosivos que visam converter a rocha em fragmentos menores para auxiliar nas etapas de carregamento e transporte. Diante disso, os tópicos seguintes descrevem as etapas da lavra da gipsita na microrregião do Araripe.

### **3.4.1 Desenvolvimento**

O desenvolvimento mineiro compreende um conjunto de trabalhos que precedem e sincronizam as operações de lavra. Nesta etapa, são realizados trabalhos de desmatamento da cobertura vegetal, remoção do capeamento, abertura de vias de acesso, e construção de edificações inerentes ao empreendimento, tais como: prédios administrativos, refeitórios, dormitórios, oficinas, subestações de abastecimento de água e energia elétrica, entre outros (ARAÚJO; MARTINS, 2012).

O decapeamento do depósito de gipsita pode ser realizado por tratores de esteira, retroescavadeiras e pás-mecânicas (carregadeiras). A execução desta tarefa consiste na retirada, transporte e armazenamento de solo superficial que contém matéria orgânica e, posteriormente, quando as atividades mineiras são encerradas, este material é realocado ao local de origem, visando a recuperação da área lavrada. A porção de solo estéril, desprovida de matéria orgânica, apresenta espessura variável de 5 a 10 metros. Devido à baixa coesão, torna-se possível desagregar este solo pela ação de trabalho mecânico por meio de tratores e/ou escavadeiras e, posteriormente, carregá-lo em caminhões rodoviários ou fora-de-estrada, que transportam o material para uma área do terreno destinada a recebê-lo, denominada 'bota-fora' ou pilha de estéril (ARAÚJO; MARTINS, 2012).

### **3.4.2 Operações mineiras da lavra de gipsita**

As operações mineiras compreendem um conjunto de etapas coordenadas que buscam o aproveitamento eficiente, seguro e sustentável de recursos minerais. Estas operações podem ser de caráter contínuo ou cíclico. Os trabalhos contínuos são desenvolvidos por equipamentos que podem desenvolver um conjunto de ações simultâneas, como a fragmentação ou corte do material *in natura*, o carregamento e o transporte.

Os mineradores contínuos equipados com correia transportadora e o motoscaper são exemplos de equipamentos de mineração contínua. As operações cíclicas (Figura 6), totalizam o maior aporte das operações mineiras em minas a céu aberto de gipsita. São desenvolvidas por etapas interdependentes que se iniciam com a preparação de uma bancada para o desmonte com uso de explosivos, objetivando a formação de uma pilha com



granulometria, distribuição e geometria adequada para o carregamento e transporte do material, estéril ou gipsita, ao destino adequado (JIMENO *et al.*, 1987).

Figura 6: Operações mineiras de perfuração, detonação, carregamento e transporte de rochas.



Fonte: elaborada pelo autor

### 3.4.2.1 Perfuração de rochas em pedreiras de gipsita

A perfuração de rochas, dentro do campo dos desmontes, constitui a primeira etapa do ciclo de operações e tem como finalidade abrir e adequar os furos com distribuição e geometria adequada dentro dos maciços rochosos para alojar as cargas de explosivos e acessórios iniciadores (HERRMANN, 1972). Segundo Castro e Parras (2007) a perfuração compreende a etapa mais importante no desmonte de rochas, tendo em vista, que a eficiência do explosivo alojado no maciço rochoso depende, principalmente, da distribuição espacial e geométrica dos furos.

Nas minas de gipsita do polo gesseiro pernambucano, a perfuração de detonação é executada por perfuratrizes rotopercussivas pneumáticas (Figura 7), que executam furos com diâmetros de 2" a 4" (BALTAR; BASTOS; LUZ, 2005). Estes equipamentos são acionados por ar comprimido proveniente de um compressor (Figura 8). Os mecanismos pneumáticos que realizam a perfuração, são: impacto, rotação e empuxo, auxiliados por um sistema de limpeza

de detritos por meio do ar comprimido. O principal mecanismo de perfuração é o impacto, gerado por golpes sucessivos do pistão, também denominado de martelo. A energia do impacto percorre a coluna de perfuração até atingir a interface com a rocha pelo contato da broca. A rotação tem como finalidade garantir que os impactos do pistão sejam transmitidos a rocha em diferentes posições. O mecanismo de empuxo, garante o contato da broca com a rocha para favorecer a efetividade dos impactos do martelo (JIMENO, *et al.* 1987).

Figura 7: Perfuratriz rotopercussiva utilizada na perfuração de gipsita



Fonte: capturada pelo autor

Figura 8: Compressor de ar utilizado para acionamento da perfuratriz rotopercussiva



Fonte: capturada pelo autor

#### 3.4.2.2 Desmonte de rochas aplicado a lavra de gipsita na microrregião do Araripe

O desmonte de rochas em pedreiras de gipsita na microrregião do Araripe compreende o principal ciclo de produção das etapas de lavra. A detonação busca fragmentar a gipsita *in situ* em uma granulometria e volume que melhor se adequem às operações subsequentes de carregamento, de transporte e de britagem. Além disso, o desmonte da gipsita deve produzir o mínimo de riscos e incômodos possíveis. Nas detonações próximas a áreas urbanas deve-se tomar precauções quanto a ruídos, níveis de vibração do solo e ultralancamento de fragmentos de rocha. Qualquer atividade de desmonte de rocha exige, obrigatoriamente, um plano de fogo, que deve ser elaborado por profissional técnico habilitado (JIMENO, *et al.* 1987; MENDES, M, 2015).



### 3.4.2.3 Operações de carregamento e transporte de gipsita na Microrregião do Araripe

O ciclo de operações de carregamento e transporte de gipsita no polo gesso pernambucano, são realizados no decorrer das operações mineiras, que iniciam-se no desenvolvimento da pedreira e intensificam-se nas etapas de exploração da gipsita. As operações de carregamento da gipsita, previamente, desmontada na frente de lavra são realizadas por escavadeiras hidráulicas ou pás carregadeiras (Figuras 9 e Figura 10). O transporte consiste em mover a gipsita extraída da frente de lavra por meio de caminhões rodoviários basculantes (Figura 11), até os locais de descargas que, normalmente, são os britadores das calcinadoras, fábricas de cimento ou indústrias em geral.

Figura 9: Retroescavadeira sobre esteira modelo 944 da LIEBHERR



Fonte: capturada pelo autor

Figura 10: Carregadeira sobre pneus modelo 580 da LIEBHERR



Fonte: capturada pelo autor

Figura 11: Caminhão rodoviário basculante



Fonte: capturada pelo autor

### 3.5 Processamento Industrial da Gipsita

O beneficiamento da gipsita compreende um conjunto de operação com a finalidade de adequar sua granulometria por meio de processos de britagem e moagem, intercaladas por etapas de classificação granulométrica, para o uso em fornos de calcinação (ARAÚJO; MARTINS, 2012). A Figura 12 mostra a principal rota de beneficiamento da gipsita processada na microrregião do Araripe.

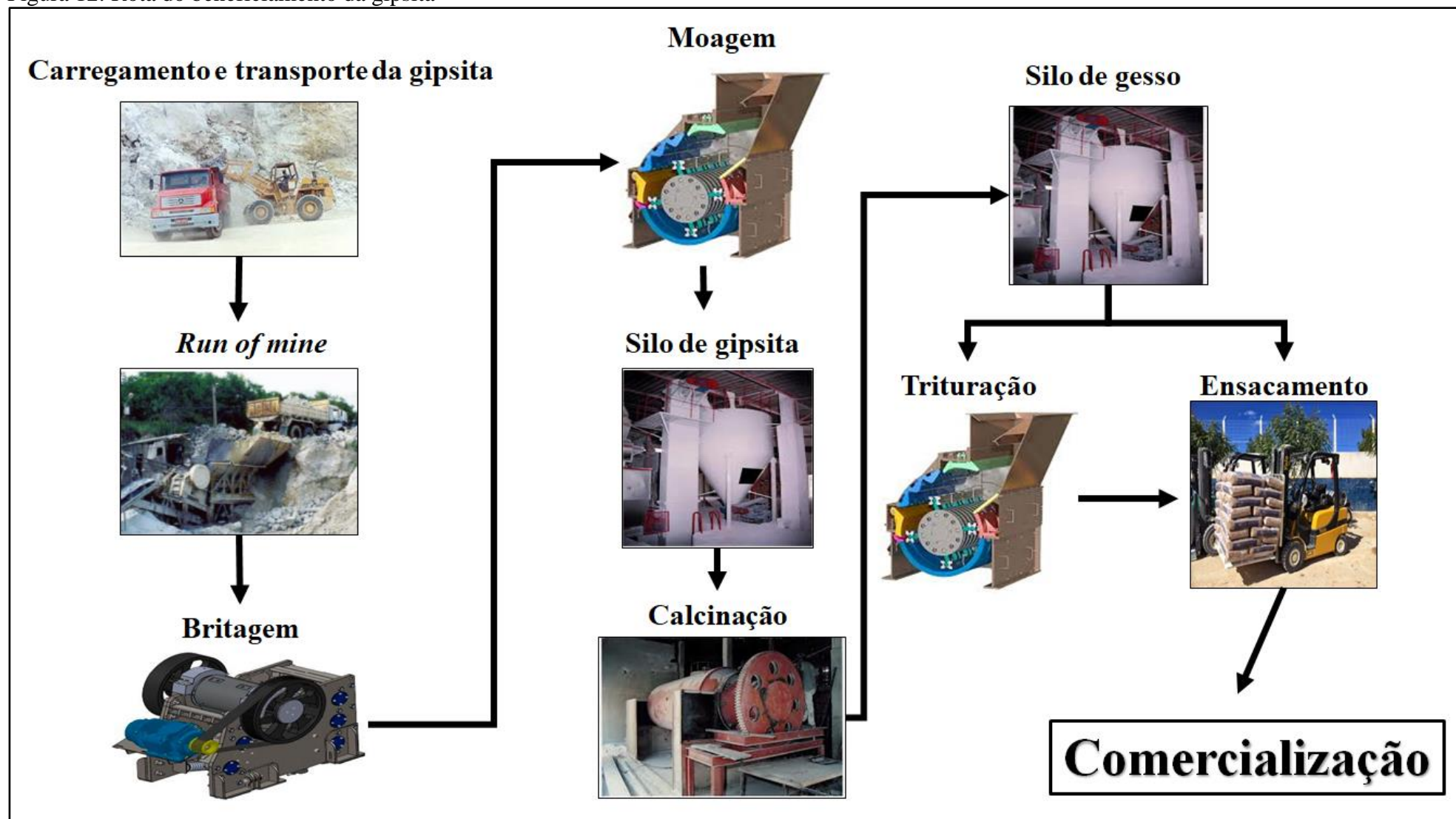
As etapas de cominuição são iniciadas pela britagem primária, por meio de um britador mandíbulas que opera em circuito aberto com o peneiramento. O *undersize* do peneiramento segue para o moinho de martelos, enquanto que, o *oversize* segue para britador secundário que fragmenta o material com granulometria adequada para alimentação do moinho de martelos. Cerca de 86% do material moído, apresenta granulometria abaixo de 74  $\mu\text{m}$ , disposição adequada a alimentação dos fornos de calcinação. Conforme mostrado na Figura 12, O material calcinado pode ser ensacado e comercializado ou pode seguir para uma moagem secundária (moinho de martelos) para posterior ensacamento e comercialização.

A calcinação é realizada em temperaturas média de 300°C, sendo mais frequente o uso de fornos com capacidade térmica de 180°C. O processo consiste na desidratação do sulfato de cálcio hidratado natural ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ), transformando-o em um semi-hidrato de sulfato de cálcio ( $\text{CaSO}_4 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O}$ ). A gipsita começa a perder água ( $\text{H}_2\text{O}$ ) a partir de 105° C e o processo continua até atingir 300° C, em média. Em alguns casos, os fornos ultrapassam essa temperatura e podem alcançar até os 600° C (ARAÚJO; MARTINS, 2012).

A variação de temperatura do processo de calcinação, permite a obtenção de diferentes variedades de gesso, com propriedades distintas para usos específicos, tais como: gesso rápido ou de fundição e gesso lento ou de revestimento. Além desses tipos, existe o gesso cerâmico, que é uma variedade mais nobre do gesso de fundição, e o gesso *filler*, que corresponde à fração de finos recuperados dos vapores lançados na atmosfera, durante a etapa de calcinação (LYRA SOBRINHO *et al*, 2001).



Figura 12: Rota do beneficiamento da gipsita



Fonte: elaborado pelo autor

### 3.6 Principais usos da gipsita

Quando explotada, a gipsita pode ser utilizada *in natura* ou calcinada. A forma natural é muito utilizada na agricultura e na indústria de cimento. Enquanto que, a forma calcinada, conhecida como gesso, demanda usos diversos na construção civil (BALTAR; BASTOS; LUZ, 2005). No polo gesseiro do Araripe, estima-se que cerca de 60% do gesso produzido é utilizado para fundição (conformação de placas), 36% para revestimento, 3% para moldes cerâmicos e 1% para outros usos (LYRA SOBRINHO *et al*, 2001).

#### 3.6.1 Gipsita *in natura*

Quando a gipsita é utilizada sem prévio processamento por calcinação, convencionou-se chamá-la de gipsita *in natura*. Esta variedade de gipsita é amplamente usada na fabricação de cimento Portland, submetida previamente a um processo de cominuição por meio de britadores de mandíbulas. Na indústria cimenteira, a gipsita é adicionada ao clínquer durante a moagem, na proporção de 2 a 5% com a finalidade de retardar o tempo de pega do cimento (BALTAR; BASTOS; LUZ, 2005).

Na agricultura, a gipsita *in natura* conhecida popularmente como gesso agrícola, após britada e moída, pode ser utilizada na correção de solos alcalinos, corrigindo a acidez subsuperficial dos solos com alta saturação de alumínio o que impede o crescimento do sistema radicular das plantas (LYRA SOBRINHO *et al*, 2001). Segundo Bezerra (2009) o gesso agrícola funciona como nutriente de cálcio e de enxofre, além de condicionar a excessiva quantidade de sódio adsorvido nos argilominerais de alguns tipos de solos, contribuindo para a dessalinização.

#### 3.6.2 Gipsita calcinada

A gipsita calcinada, também denominada de gesso, é largamente utilizada na construção civil e na indústria.

O gesso utilizado na construção civil subdivide-se em dois grupos: revestimento e fundição.

- O gesso para revestimento é utilizado como substituto para a cal virgem, o cimento e a madeira. Esta variedade de gesso pode revestir paredes e tetos em ambientes internos e secos (BALTAR; BASTOS; LUZ, 2005).

- Na fundição, a gipsita calcinada é utilizada na fabricação de pré-moldados como placas de decoração, placas para forro, acartonado (*drywall*), blocos, painéis de gesso e bloquetes (blocos de divisória) (BALTAR; BASTOS; LUZ, 2005).

O uso industrial do gesso calcinado, destina-se a confecção de moldes para fabricação de materiais cerâmicos, metalúrgicos e plásticos; em moldes artísticos, ortopédicos e dentários, e como aglomerante do giz. Devido a elevada resistência fogo, o gesso também é utilizado na composição de portas corta-fogo e como isolantes de recobrimento de tubulações de portas de caldeiras (BEZERRA, 2009).

### **3.7 Sensoriamento remoto**

Factualmente o termo sensoriamento remoto é usado para designar as atividades de obtenção de imagens da superfície terrestre a distâncias remotas. De acordo com Florenzano (2002), “o sensoriamento remoto é a tecnologia que permite obter imagens e outros tipos de dados, da superfície terrestre, por meio da captação e do registro da energia refletida ou emitida pela superfície”. Segundo De Moraes Novo e Ponzoni (2001) a definição do sensoriamento remoto refere-se ao conjunto de técnicas utilizados na obtenção de informação sobre objetos, sem que haja contato físico com eles. Estas definições ratificam que o resultado do sensoriamento remoto é condicionado a quantificação da radiação eletromagnética refletida ou emitida pelo objeto na superfície terrestre, posteriormente coletas pelo sensor.

O sensoriamento remoto oferece um amplo campo de aplicações, como confecção de mapas da superfície da Terra e da topografia do fundo dos oceanos, monitoramento de recursos naturais, infraestrutura e ocupação urbana. Esses produtos do sensoriamento remoto são obtidos por meio do processamento de imagens digitais ou fotografias aéreas obtidas a partir de aeronaves ou satélites artificiais de imageamento, permitindo grandes varreduras da superfície terrestre num curto intervalo de tempo. A tecnologia dos satélites possibilita que todo o globo terrestre seja sistematicamente imageado e monitorado (MACHADO; QUINTANILHA, 2008).

#### **3.7.1 Natureza da radiação eletromagnética (REM)**

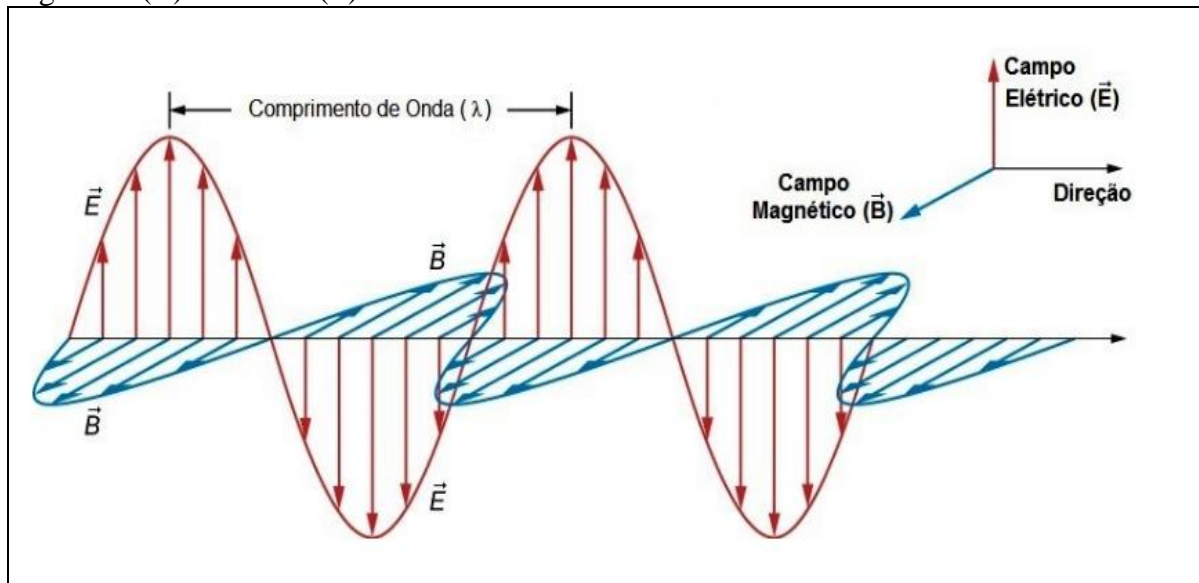
A radiação eletromagnética pode ser descrita como uma dualidade, agindo como uma onda e como energia. No sensoriamento remoto, a ideia da dualidade é extremamente importante na análise e processamento das imagens, isto porque a coexistência da radiação eletromagnética na forma de onda e na forma de energia explica o que é mostrado nas imagens

com referências e características dos objetos imageados. A dualidade do comportamento da radiação eletromagnética, onda e energia, é formulada pelos modelos denominados de ondulatório de Maxwell (onda) e corpuscular de Planck (energia) (ALMEIDA; MENESES; ROSA, 2012).

### 3.7.1.1 Modelo Ondulatório da radiação eletromagnética

Formulado por Maxwell, o modelo ondulatório descreve a REM como uma onda senoidal e harmônica, onde uma partícula eletricamente carregada, forma um campo elétrico em torno de si e ao movimentar-se desenvolve um campo magnético. O campo elétrico e o campo magnético possuem a mesma amplitude, realizando vibrações ortogonais entre si. A Figura 13 mostra o modelo de movimento senoidal e harmônico entre os campos elétrico e magnético, a partir de então, denominado de onda eletromagnética que se propaga na direção ortogonal à direção de amplitude dos campos (ALMEIDA; MENESES; ROSA, 2012).

Figura 13: Propagação da onda eletromagnética e oscilações ortogonais dos campos magnético (B) e elétrico (E).



Fonte: Adaptado Halliday e Resnick (2003).

As características mais importantes das ondas eletromagnéticas são: velocidade de propagação, comprimento de onda e frequência. No vácuo, as ondas eletromagnéticas propagam-se na velocidade da luz, aproximadamente 300.000 km/s, o comprimento de onda ( $\lambda$ ) é quantificado pela distância entre dois picos sucessivos da onda, enquanto que a frequência é calculada pela quantidade de oscilações realizadas pela onda em um segundo. De acordo com a física clássica, a lei do comportamento ondulatório descreve a relação entre o comprimento

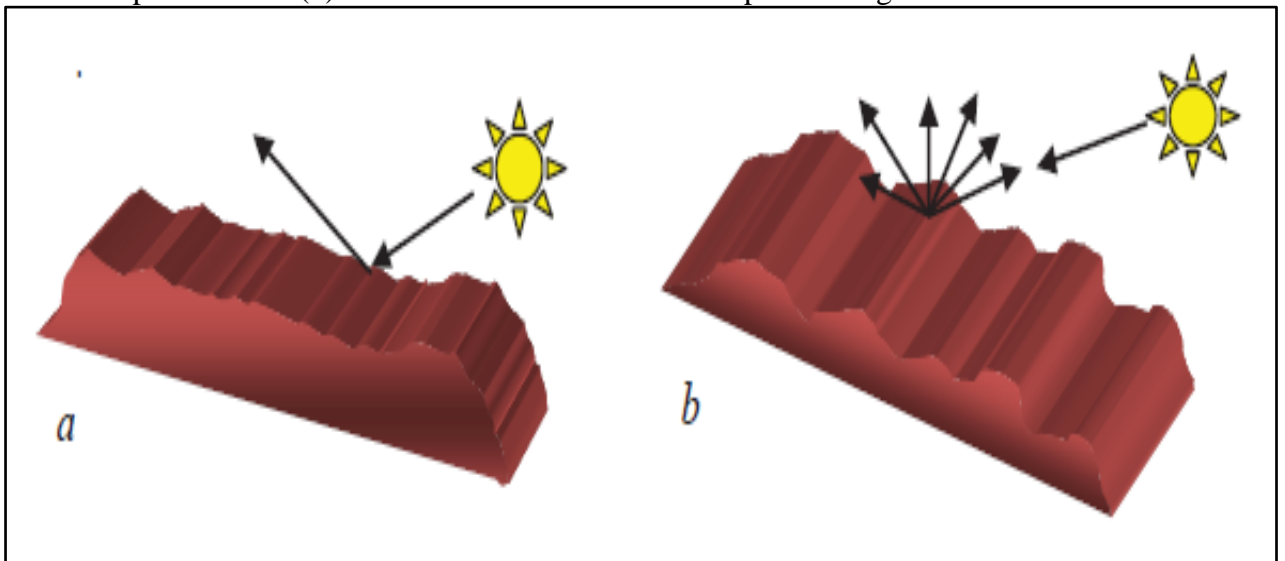
de onda, frequência e velocidade da luz no vácuo, conforme mostrado na equação 1 (HALLIDAY E RESNICK, 2003).

$$\lambda = c / \nu \quad (1)$$

Onde:  $\lambda$  = comprimento de onda;  
 $c$  – velocidade da luz no vácuo 299.792.458 m/s;  
 $\nu$  – frequência da onda

O sensoriamento remoto é fundamentado pela interação da radiação eletromagnética com a superfície dos objetos. De acordo com o modelo ondulatório, as peculiaridades das imagens são explicadas considerando a relação entre o tamanho da onda e a textura da superfície do objeto, essa interação é denominada de macroscópica. A interação macroscópica da REM com os objetos é mostrada na Figura 14, onde é possível observar o comportamento da reflectância condicionada a variáveis importante do alvo, tais como: o ângulo de incidência da REM (especular ou difusor), a textura da superfície (lisa ou rugosa) e o comprimento de onda (ALMEIDA; MENESES; ROSA, 2012)

Figura 14: Resposta da reflectância conforme à textura da superfície. (a) reflectância especular de uma superfície lisa. (b) reflectância difusora de uma superfície rugosa.



Fonte: Almeida, Meneses e Rosa (2012)

### 3.7.1.2 Modelo corpuscular da radiação eletromagnética

O Modelo corpuscular descrito por Planck em 1901, postulou que as ondas eletromagnéticas eram emitidas em forma de pulsos que carregavam certas quantidades de energia. Neste sentido, a REM transportava energia de um corpo para outro em quantidades fixas e discretas, à qual denominou de fótons, que atuam como partículas mensageiras da



energia da onda eletromagnética. Vale salientar que os fótons são corpúsculos de energia sem matéria (TAGLIANI *et al*, 2012).

No modelo corpuscular, quando uma onda eletromagnética atingir a superfície de um objeto, ocorrerá uma interação entre a energia da onda e a energia contida nos átomos ou moléculas do objeto. As energias contidas nos átomos e moléculas estão distribuídas por níveis de energia, que são determinados pelos orbitais dos elétrons em torno do núcleo e pelas forças de vibrações das ligações moleculares. Neste sentido, para que ocorra uma troca ou interação da energia da radiação da onda com a energia da matéria, é preciso que a radiação eletromagnética incidente seja em parte absorvida pelos elétrons ou moléculas, promovendo a mudança do elétron de um orbital para outro de maior energia. A fração de energia da radiação eletromagnética que não é absorvida pelo objeto é refletida e pode ser captada pelo sensor de imageamento. Nesse processo, as imagens medem a radiação refletida, mas, indiretamente, pode-se avaliar o que foi absorvido pelos materiais, o que permite definir informações composicionais dos alvos terrestres nas imagens de sensoriamento remoto (ALMEIDA; MENESES; ROSA, 2012).

As mudanças nos níveis de energia dos átomos ou moléculas somente ocorrerão quando a energia da radiação eletromagnética for exatamente igual a energia necessária para promover a mudança. Essas interações de energia ocorrem em escala microscópica e dependem da composição química do material. Materiais com diferentes composições químicas têm absorções e reflectâncias diferentes, resultando nas imagens em diferentes tons de cinza. Para o sensoriamento remoto, o modelo corpuscular é mais adequado para os comprimentos de ondas menores, pois estes possuem maiores energias. Por outro lado, a quantidade de energia de ondas maiores é insuficiente para provocar uma mudança nos níveis energéticos dos átomos ou moléculas e, conseqüentemente, pouquíssima quantidade de energia incidente é absorvida pela matéria (ALMEIDA; MENESES; ROSA, 2012).

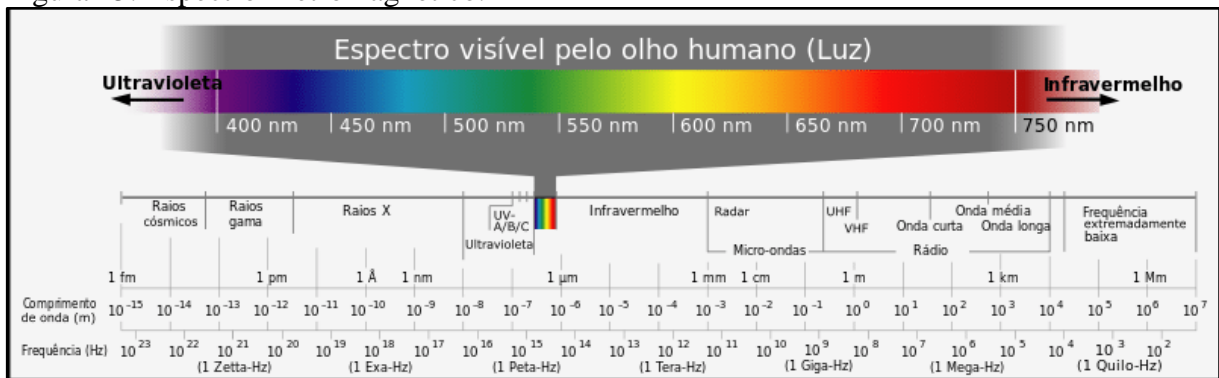
### ***3.7.2 Espectro eletromagnético***

O espectro eletromagnético corresponde às regiões espectrais formadas pela radiação eletromagnética, logo os comprimentos de onda conhecidos pelo homem são quantificados e organizados conforme a sua magnitude, gerando assim a regiões espectrais. As regiões espectrais ou bandas espectrais conhecidas, estende-se dos raios cósmicos até as redes de distribuição de energia de alta tensão. O espectro eletromagnético foi dividido conforme os intervalos de comprimento de onda com base nos mecanismos físicos geradores da energia

eletromagnética e nos mecanismos físicos de sua detecção. Os nomes atribuídos a cada região do espectro, foi idealizado conforme o uso e aplicação pelo homem. O entendimento do espectro eletromagnético abrange os valores dos comprimentos de onda das bandas espectrais e quais regiões podem ser detectadas por cada tipo de sensor (ALMEIDA; MENESES; ROSA, 2012).

Dentre as bandas espectrais, a faixa do visível compreende apenas uma pequena porção do universo das ondas eletromagnéticas, o intervalo de comprimentos de onda do visível, abrange entre 400nm – 750nm. A Figura 15, mostra as bandas espectrais e seus respectivos comprimentos de onda (HALLIDAY; RESNICK, 2003).

Figura 15: Espectro Eletromagnético.



Fonte: Adaptado Halliday e Resnick (2003).

A principal fonte de radiação eletromagnética utilizada no sensoriamento remoto é a luz solar. Todavia, a maior parte desta radiação é absorvida pelos gases atmosféricos da Terra. Isto posto, acha-se intervalos em determinadas faixas espectrais da radiação eletromagnética que não são absorvidas pelos gases, denominadas de janelas atmosféricas (TAGLIANI *et al*, 2012).

### 3.7.3 Resoluções das imagens de satélite

A evolução do sensoriamento remoto ocorreu a partir do desenvolvimento da tecnologia espacial e da óptica. Atualmente, o sensoriamento remoto por imageamento orbital é favorecido pela quantidade de satélites que estão disponíveis na órbita terrestre, obtendo imagens diariamente. Para o monitoramento da evolução e mudanças da paisagem, ou seja, a realização de uma avaliação temporal em uma determinada superfície, pode-se recorrer aos sensores com alta taxa de revisita à área. Por outro lado, para efetuar estudos relacionados a identificação da composição ou constituição dos minerais ou rochas, usam-se sensores com um grande número de bandas espectrais. Por estes motivos, os sensores imageadores apresentam

resoluções características que corroboram para diversos tipos de uso no sensoriamento remoto (ALMEIDA; MENESES; ROSA, 2012).

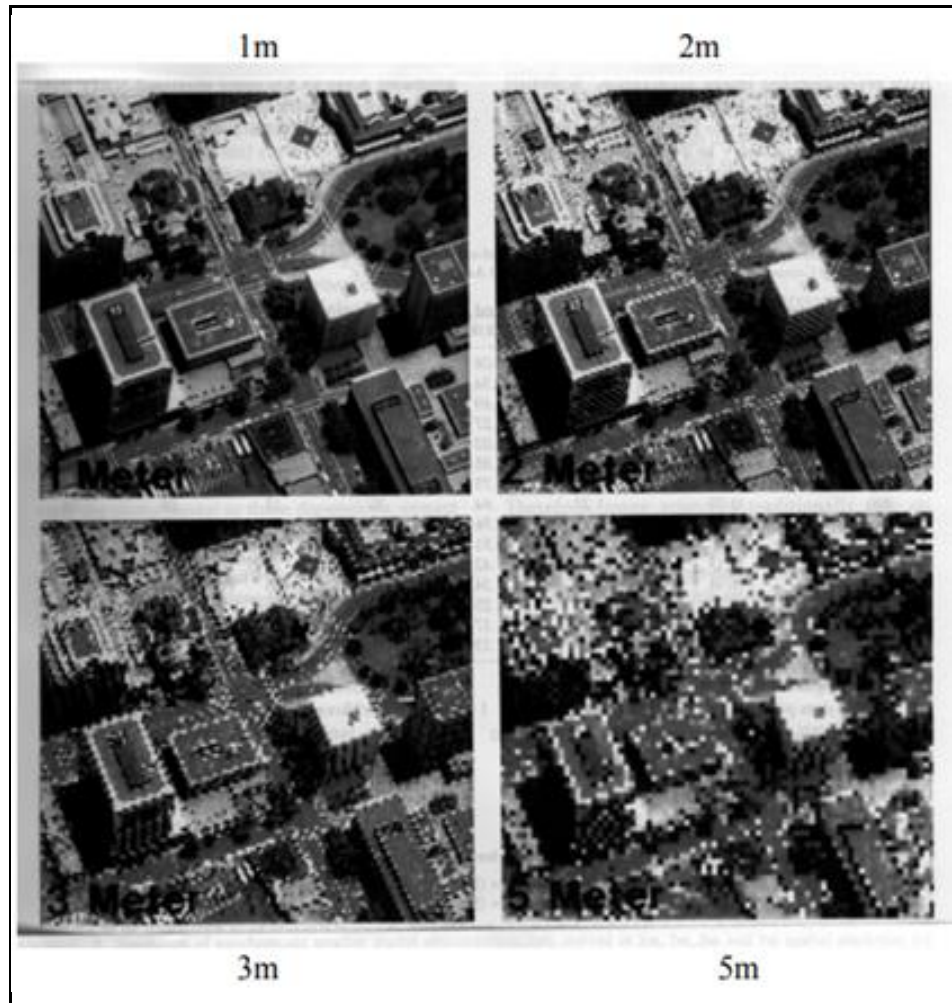
As resoluções das imagens no sensoriamento remoto, referem-se às características dos sensores imageadores. Estas propriedades determinam as limitações e aplicabilidades das imagens. As resoluções das imagens são subdivididas em quatro tipos: resolução espacial, resolução espectral, resolução radiométrica e resolução temporal.

### *3.7.3.1 Resolução espacial*

A resolução espacial do sensor imageador refere-se ao menor tamanho do objeto que pode ser identificado na imagem, em outras palavras, a resolução espacial é a capacidade do sensor diferenciar objetos na superfície terrestre. Desta forma, a visualização dos objetos da imagem só poderá ocorrer caso suas dimensões sejam no mínimo, igual ou maior que a resolução da imagem do sensor. Assim, quanto menor o objeto possível de ser identificado na imagem, maior a resolução espacial do sensor (TAGLIANI *et al*, 2012).

A escolha da resolução espacial apropriada no sensoriamento remoto é determinada pela aplicação da imagem, a identificação de objetos com poucas variações numa grande área de monitoramento não necessita de altas resoluções espaciais, já quando as análises de sensoriamento remoto são executadas em áreas que os trabalhos exigem grande detalhamento a resolução espacial deverá ser maior, ou seja, de poucos metros (ALMEIDA; MENESES; ROSA, 2012). A Figura 16 mostra diferentes resoluções espaciais.

Figura 16: Ilustração de resoluções espaciais diferentes (1, 2,3 e 5 metros)



Fonte: De Moraes Novo e Ponzoni (2001).

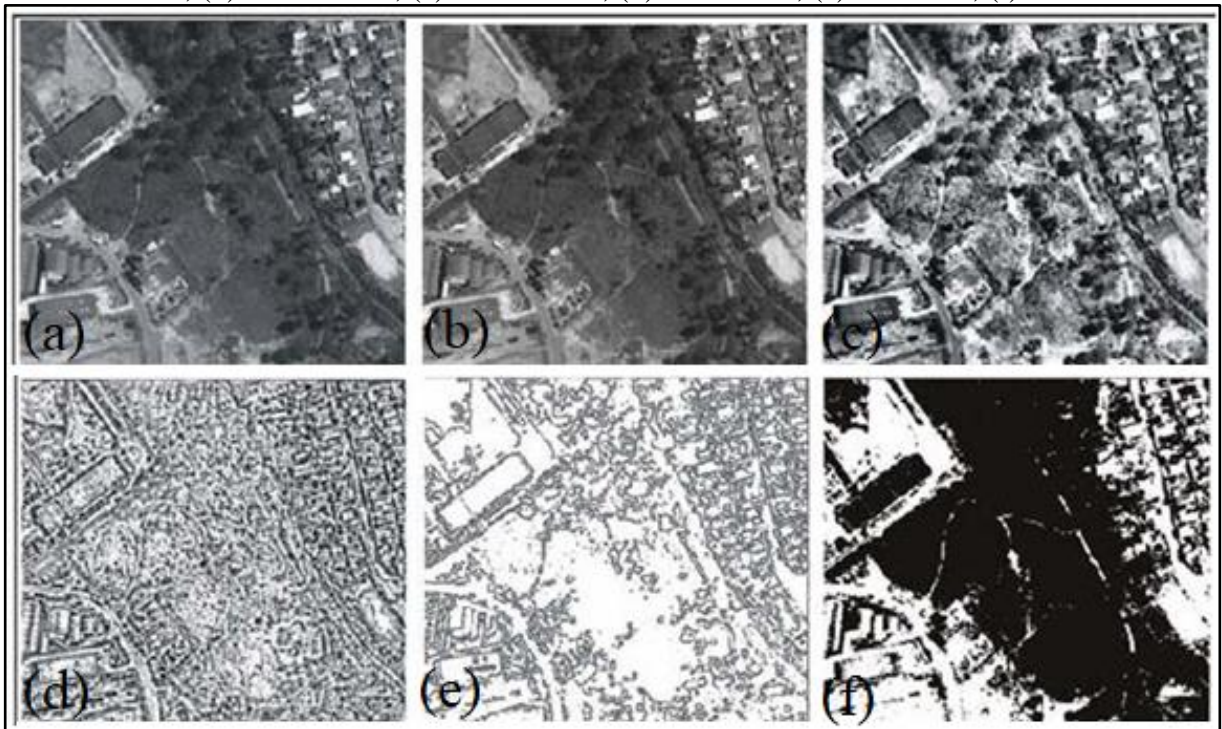
### 3.7.3.2 Resolução espectral

A resolução espectral corresponde a quantidade de bandas espectrais do sensor e a largura do intervalo de comprimento de onda coberto por cada banda. Quanto maior o número de bandas e menor a largura do intervalo, melhor a resolução espectral do sensor. Esta resolução permite identificar diferenças relativas de reflectância entre os materiais da superfície terrestre, possibilitando distinguir um objeto dos demais, em determinados comprimentos de onda. Atualmente os sensores orbitais em operação, apresentam relações entre resolução espectral e a resolução espacial, para otimizar a quantidade de dados gerados, que posteriormente serão transmitidos para terra, assim, sensores com alta resolução espacial possuem poucas bandas espectrais, sendo essas a banda do visível e infravermelho próximo, já os sensores com baixa resolução espacial possui grande quantidade de bandas (TAGLIANI *et al*, 2012).

### 3.7.3.3 Resolução radiométrica

A resolução radiométrica do sensor corresponde ao número de níveis digitais, representados por tons de cinza ou níveis da radiância, usados para expressar os dados coletados pelo sensor, quanto maior for a capacidade do detector para medir as diferenças de intensidades dos níveis de radiância, maior será a resolução radiométrica do sensor. O sensor converte a intensidade da radiação em números digitais discretos, essa quantização, normalmente, é expressa em números binários (*bits*). À vista disso, sensores com elevada resolução radiométrica possuem mais *bits* e podem formar imagens de maior qualidade visual e mais detalhadas, conforme mostrado na Figura 17. O número de níveis de cinza é calculado pela equação 2 (ALMEIDA; MENESES; ROSA, 2012).

Figura 17: Imagens com diferentes níveis de cinza e bits correspondentes, respectivamente: (a) 2048 e 11 bits, (b) 256 e 8 bits, (c) 128 e 7 bits, (d) 16 e 5 bits, (e) 4 e 2 bits, (f) 2 e 1 bits.



Fonte: Laurent Martin (2015)

$$\text{números de tons de cinza} = 2^{\text{número de bits}} \quad (2)$$

#### 3.7.3.4 Resolução temporal

A resolução temporal corresponde ao tempo que um sensor leva para repetir o imageamento de uma mesma área. Essa característica do sensor é essencial para monitoramento multitemporal de uma determinada área na superfície terrestre. Esse tipo de resolução possibilita a realização de diversos trabalhos de avaliação dinâmica do território, tais como: ciclo fenológico de culturas, desmatamentos, desastres ambientais, entre outros.

#### 3.7.4 Índice de Vegetação da Diferença Normalizada

Os Índices espectrais de vegetação têm sido largamente utilizados para monitorar a cobertura vegetal da Terra em escalas global e/ou local, os índices são combinações de dados espectrais de duas ou mais bandas, selecionadas com o objetivo de sintetizar e melhorar a relação desses dados com os parâmetros biofísicos da vegetação (ZANZARINI *et al*, 2013).

O Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) é calculado de acordo com a Equação 3, no qual a partir das bandas 4 e 5 das cenas Landsat-8 TM, correspondentes ao vermelho V (parte do espectro visível com comprimento de onda de 0,63 a 0,69  $\mu\text{m}$ , onde a clorofila demonstra baixa reflectância) e ao infravermelho próximo (parte do espectro infravermelho com comprimento de onda de 0,76 a 0,90  $\mu\text{m}$ , onde a clorofila demonstra alta reflectância), respectivamente. O NDVI é utilizado para indicar a presença de cobertura vegetal no pixel, e seus valores variam de -1 a +1, assim os resultados negativos correspondem a alvos não vegetais, representados pelas cores avermelhadas, enquanto os valores próximos de +1 representam a vegetação densa com alto vigor, no qual são apresentadas por tonalidades da cor verde. (OLIVEIRA; FREITAS, 2015).

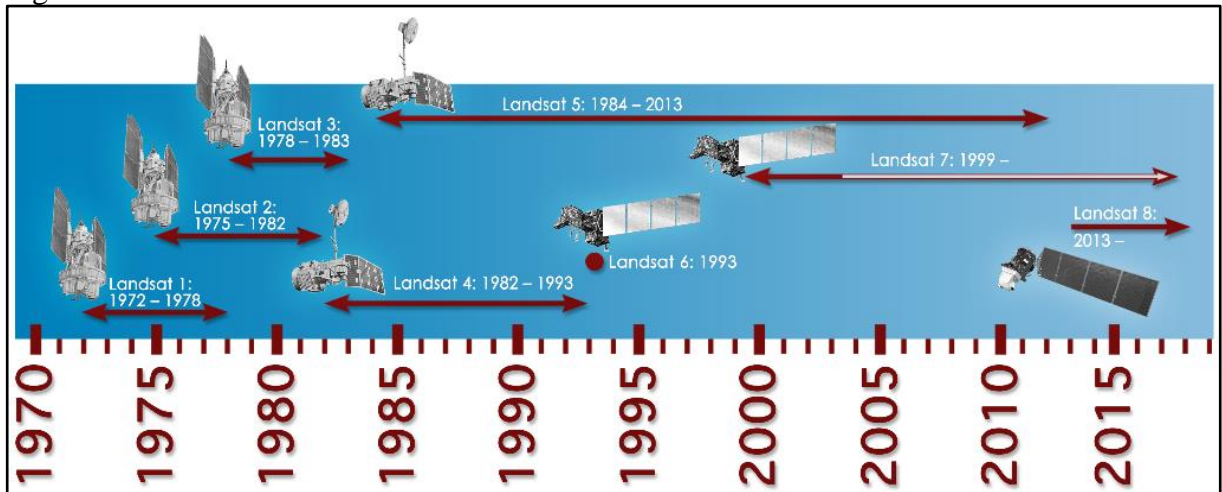
$$NDVI = \frac{INFRAVERMELHO\ PROX - VERMELHO}{INFRAVERMELHO\ PROX + VERMELHO} \quad (3)$$

#### 3.7.5 Satélites imageadores utilizados no sensoriamento remoto

Os satélites orbitais da série Landsat foram desenvolvidos pela Administração Nacional Aeronáutica e Espaço (NASA), dedicados exclusivamente para o monitoramento e observação dos recursos naturais da superfície terrestre. No total foram lançados oito satélites com capacidade de obtenção de imagens multiespectrais. O desenvolvimento tecnológico possibilitou o lançamento periódico de satélites da série, que apresentaram melhorias de resolução em comparação aos modelos anteriores. A Figura 18 mostra a série de lançamento dos satélites Landsat e o período em que ficaram em operação (INPE, 2018).



Figura 18: Série de satélites LANDSAT



Fonte: INPE (2018)

### 3.7.5.1 Landsat 8

O satélite Landsat 8 é um grande trunfo para o monitoramento da Terra. Lançado em fevereiro de 2013, o Landsat 8 é o satélite mais atual da série lançada pela NASA (*National Aeronautics and Space Administration*). As principais características do Landsat 8 estão apresentadas na Tabela 1. A Tabela 2 mostra as resoluções de imageamento dos sensores do Landsat 8. No processamento de imagens, as fusões digitais das cenas são obtidas pelos sensores *Operational Land Imager* (OLI) que processa imagens do visível ao infravermelho de ondas curtas ( $0,4 \mu\text{m}$  a  $2,5 \mu\text{m}$ ) e o sensor infravermelho térmico (TIRS), que opera no intervalo de  $10 \mu\text{m}$  a  $12,5 \mu\text{m}$ , permitindo gerar imagens coloridas com resolução espacial de 15 metros (LIMA, Anderson, 2017).

As imagens do Landsat 8 foram disponibilizadas para público em todo mundo, permitindo o monitoramento temporal em diversas áreas da superfície terrestre. Os sensores do Landsat 8 processam imagens com qualidades radiométricas e geométricas superiores aos modelos anteriores da série (LIMA, Anderson, 2017).

Tabela 1 - Especificações do Landsat 8

Instrumento/Sensor	OLI e TIRS
Operadora/Instituição Responsável	NASA
País	Estados Unidos
Situação Atual	Ativo
Lançamento	02/11/2013
Altitude	705 Km
Inclinação	98,2°
Órbita	Circular, Polar, Heliossíncrona
Faixa Imageada	185 Km
Tempo de Duração da Órbita	99 min.
Horário da Passagem	10h / 12h
Período de Revisita	16 dias
Resolução Espacial	Pancromático: 15 m   Multiespectral: 30 m Termal: 100 m reamostrada para 30 m

Fonte: INPE-Instituto Nacional de Pesquisa Espacial (2018)



Tabela 2 - Especificações dos sensores OLI e TIRS

Sensor	Bandas espectrais	Resolução espectral ( $\mu\text{m}$ )	Resolução espacial (m)	Resolução temporal	Área imageada	Resolução radiométrica
OLI	(B1) azul costeiro	0,43 - 0,45	30	16 dias	170 x 183 km	16 bits
	(B2) azul	0,45 - 0,51				
	(B3) verde	0,53 - 0,59				
	(B4) vermelho	0,64 - 0,67				
	(B5) infravermelho próximo	0,85 - 0,88				
	(B6) infravermelho médio	1,57 - 1,65				
	(B7) infravermelho médio	2,11 - 2,29				
	(B8) pancromática	0,50 - 0,68	15			
	(B9) cirrus	1,36 - 1,38	30			
TIRS	(B10) infravermelho termal	10,6 - 11,19	100			
	(B11) infravermelho termal	11,5 - 12,51	100			

Fonte: Laurent Martin (2015)

## 4 MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia idealizada para este trabalho foi desenvolvida em duas etapas. Na primeira etapa, foram selecionadas as principais empresas produtoras de gipsita da microrregião do Araripe pernambucano entre os anos de 2013 a 2017. A segunda fase foi desenvolvida por meio do estudo multitemporal das áreas produtoras de gipsita na região por meio de imagens de satélite. Os tópicos adiante descrevem, detalhadamente, as fases citadas.

### 4.1 Seleção das empresas produtoras de gipsita

A Figura 19 mostra o fluxograma da metodologia empregada para realização da pesquisa. Inicialmente, a seleção das principais empresas produtoras de gipsita no polo gesseiro pernambucano foi realizada por meio dos dados disponíveis nos anuários de produção mineral do estado do Pernambuco entre os anos de 2013 a 2017, item (I) da Figura 19, emitidos pela Agência Nacional de Mineração (DNPM 2016; 2017 e 2018). O critério de seleção baseou-se na participação percentual da empresa no valor da comercialização da produção mineral no estado.

Em seguida, foi acessado o Sistema de Informações Geográficas da Mineração, SIGMINE, na página da Agência Nacional da Mineração para obtenção do arquivo *shapefile* referente às áreas dos processos minerários de gipsita em regimes de requerimento de pesquisa, autorização de pesquisa, requerimento de lavra e concessão de lavra no estado do Pernambuco, conforme apresentado no item (II) da Figura 19. À vista disso, as informações foram processadas no *software* de sistema de informações geográficas Qgis, para identificar e localizar as principais empresas produtoras de gipsita na microrregião do Araripe, item (III) da Figura 19.

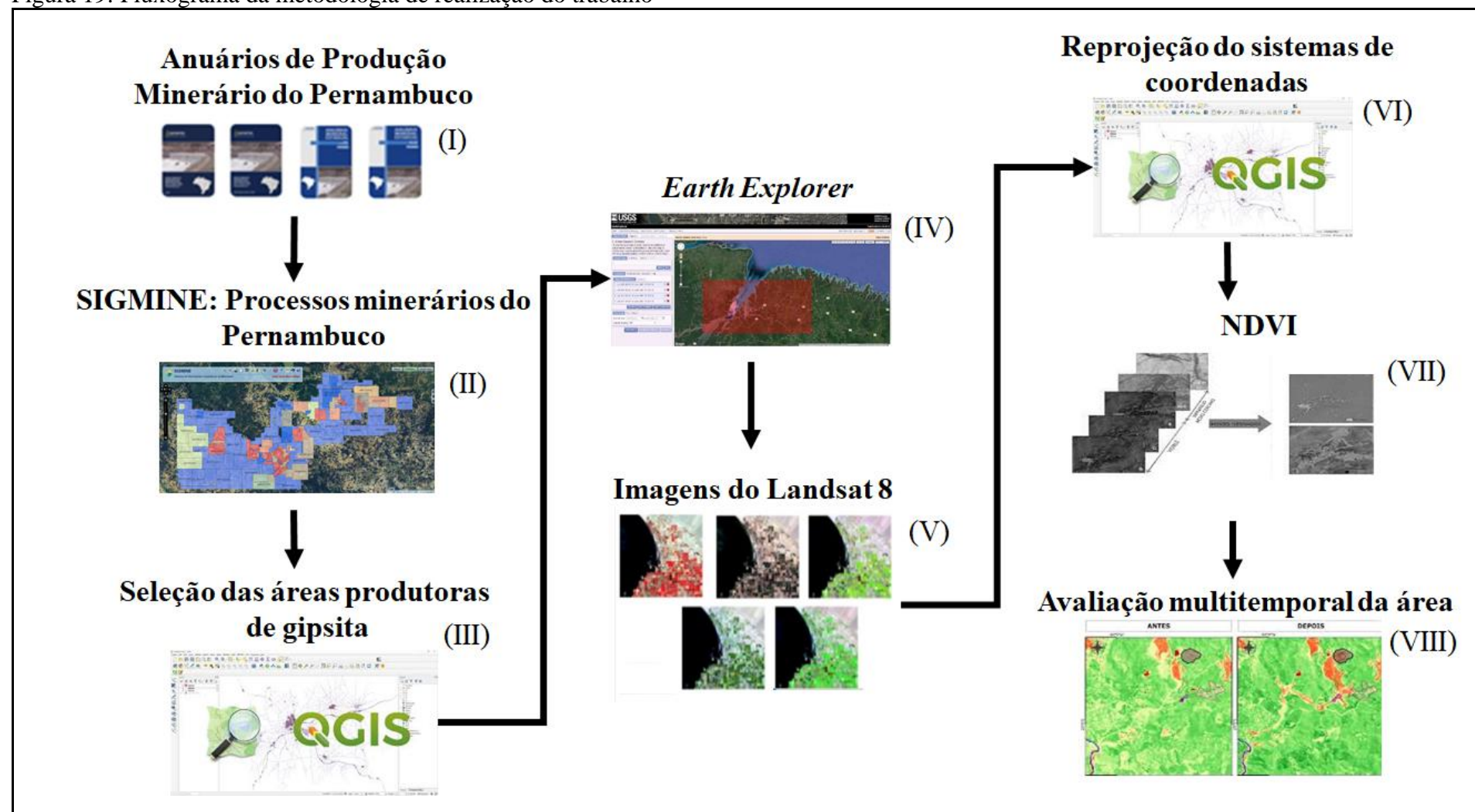
### 4.2 Avaliação multitemporal por imagens de satélite das principais áreas produtoras de gipsita no sertão pernambucano

A avaliação multitemporal das áreas produtoras de gipsita no polo gesseiro do Pernambuco entre os anos de 2013 a 2017, foi realizada por meio da aquisição de imagens do satélite Landsat 8, na plataforma *Earth Explorer* do serviço geológico americano, *U. S. Geological Survey*, itens (IV) e (V) da Figura 19, respectivamente. Vale salientar que todas as imagens foram obtidas entre os meses de setembro e outubro dos anos em estudo, considerando que este período apresentou a menor incidência de obstrução atmosférica. As imagens foram

carregadas no Qgis e reprojctadas para o sistema de coordenadas UTM, usando-se o Datum Sirgas 2000 zona 24 S, itens (VI) e (VII) da Figura 19, respectivamente. Posteriormente, as Bandas 4 e 5 que representam os comprimentos de onda do vermelho e do infravermelho próximo, respectivamente, foram utilizadas para compor uma imagem NDVI. A Equação 03 foi utilizada na calculadora de raster para compor a imagem NDVI usando-se as bandas 4 e 5. As imagens processadas foram agrupadas no editor de mapas para realizar a avaliação multitemporal da área, item (VIII) da Figura 19.

As avaliações multitemporais foram realizadas de forma qualitativa e semi-quantitativa, por meio da análise visual e delimitação das áreas que representam os limites de produção de gpcita para as empresas selecionadas entre os anos de 2013 a 2017. Posteriormente, os mapas de NDVI foram comparados com as imagens multitemporais do Google Earth Pro, estando somente disponível os anos de 2013, 2016 e 2018.

Figura 19: Fluxograma da metodologia de realização do trabalho



Fonte: elaborado pelo autor

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 Principais empresas produtoras de Gipsita no polo gesseiro pernambucano

A análise dos anuários de produção mineral do estado do Pernambuco entre os anos de 2013 a 2017, permitiu selecionar as três principais empresas produtoras de gipsita na microrregião do Araripe, conforme apresentado na Tabela 3. Verifica-se que a participação percentual no valor comercializado para a gipsita no estado variou ao longo dos anos para todas as empresas listadas. Dentre as empresas selecionadas, a Votorantim Cimentos N/NE registrou os maiores valores de produção de gipsita nos anos de 2013, 2014 e 2017, neste último com percentual expressivo de 26,21% do valor de participação na comercialização da produção mineral no estado. A mineradora São Jorge também mostrou-se participativa na produção de gipsita e liderou com 4,65% do valor comercializado no estado no ano de 2015. A LafargeHolcim, apresentou valores percentuais mais discretos na produção de gipsita ao longo dos anos, porém em 2016, totalizou 6,02% na participação de comercialização da produção mineral no Pernambuco.

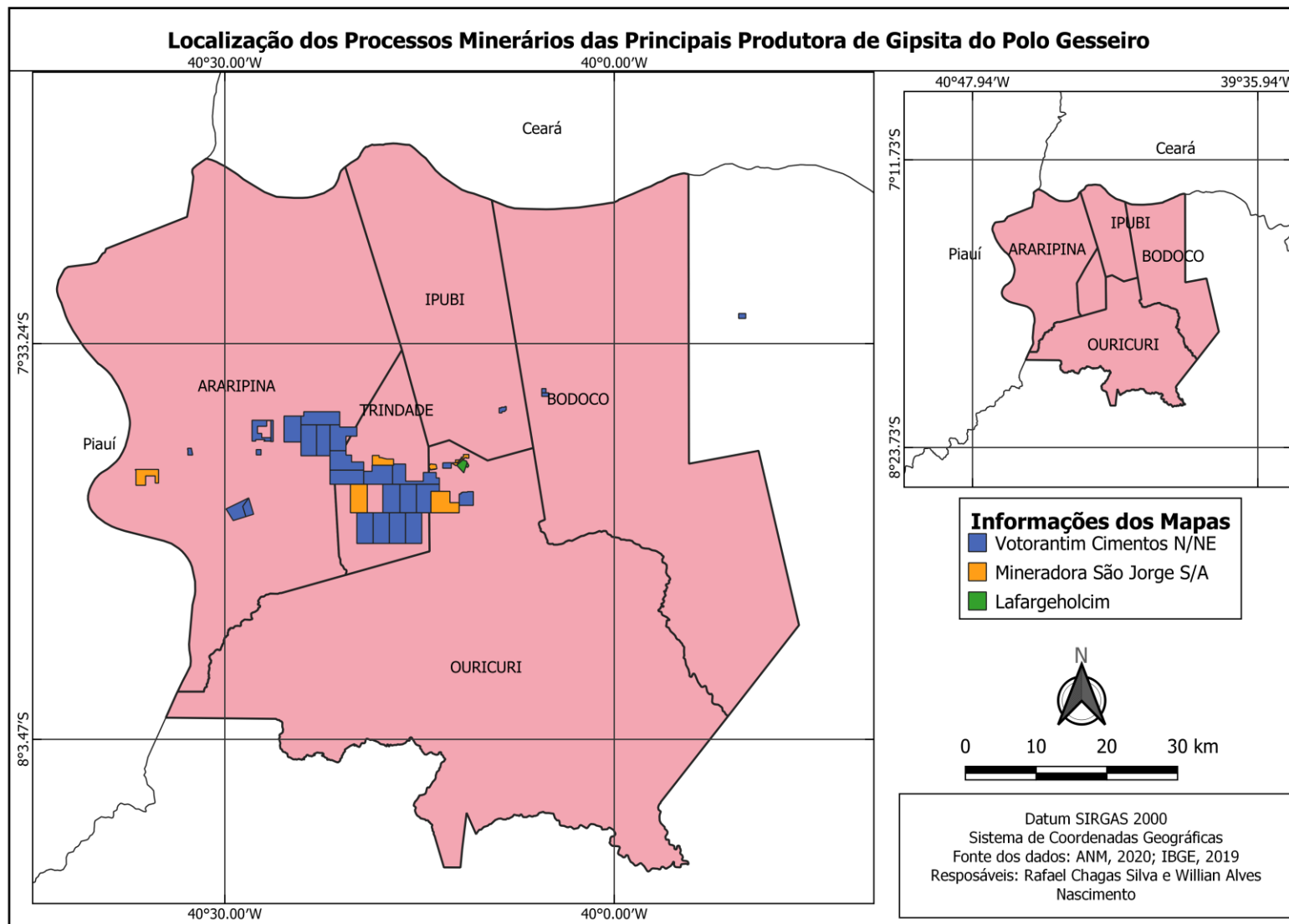
Tabela 3 - Empresas e participação percentual no valor total da produção mineral no estado do Pernambuco

Empresas produtoras Participação (%)	Anos				
	2013	2014	2015	2016	2017
Votorantim Cimentos N/NE S.A.	4,03	2,72	4,39	3,4	26,21
Mineradora São Jorge S/A	2,13	2,40	4,65	2,83	2,23
LafargeHolcim	0,62	1,04	2,17	6,02	0,46

Fonte: elaborado pelo autor

A análise dos processos minerários de gipsita no polo gesseiro pernambucano por meio do SIGMINE, permitiu identificar 125 processos de autorização de pesquisa, 77 concessões de lavra, 6 diretos de requerer a lavra, 07 áreas em disponibilidade, 23 requerimentos de lavra e 27 requerimentos de pesquisa, totalizando 265 processos de exploração ou exploração de gaitista. As empresas listadas na Tabela 3, totalizam 41 destes processos minerários, sendo 28 da Votorantim Cimentos, 12 da Mineradora São Jorge e 01 da LafargeHolcim. A Figura 20 mostra a localização de todos os processos minerários das empresas listadas na Tabela 3.

Figura 20: Localização dos processos minerários das principais empresas produtoras de gipsita no estado do Pernambuco.



Fonte: elaborado pelo autor

## **5.2 Avaliação multitemporal por imagens de satélite das principais empresas produtoras de gipsita na Microrregião do Araripe**

A elaboração dos mapas com o uso do NDVI possibilitou identificar as áreas de lavra das principais empresas produtoras de gipsita listadas na Tabela 03 no polo gesseiro pernambucano. Mediante a visualização dos mapas, verifica-se colorações de pixels que variam do verde ao vermelho conforme os padrões identificados pelo NDVI. A construção e análise dos mapas permitiu inferir possíveis elementos que compõem os mapas: cavas, “bota fora”, estradas, vegetação, reservatórios d’águas e edificações. Devido os formatos e colorações dos pixels.

Os pixels de coloração com tonalidades da cor verde representam a vegetação sadia e pouco sadia; os pixels de colorações mais avermelhadas representam os alvos não vegetais, que correspondem às áreas lavradas, frentes de produção, estradas, edificações ou reservatórios d’água.

### **5.2.1 Votorantim Cimentos N/NE**

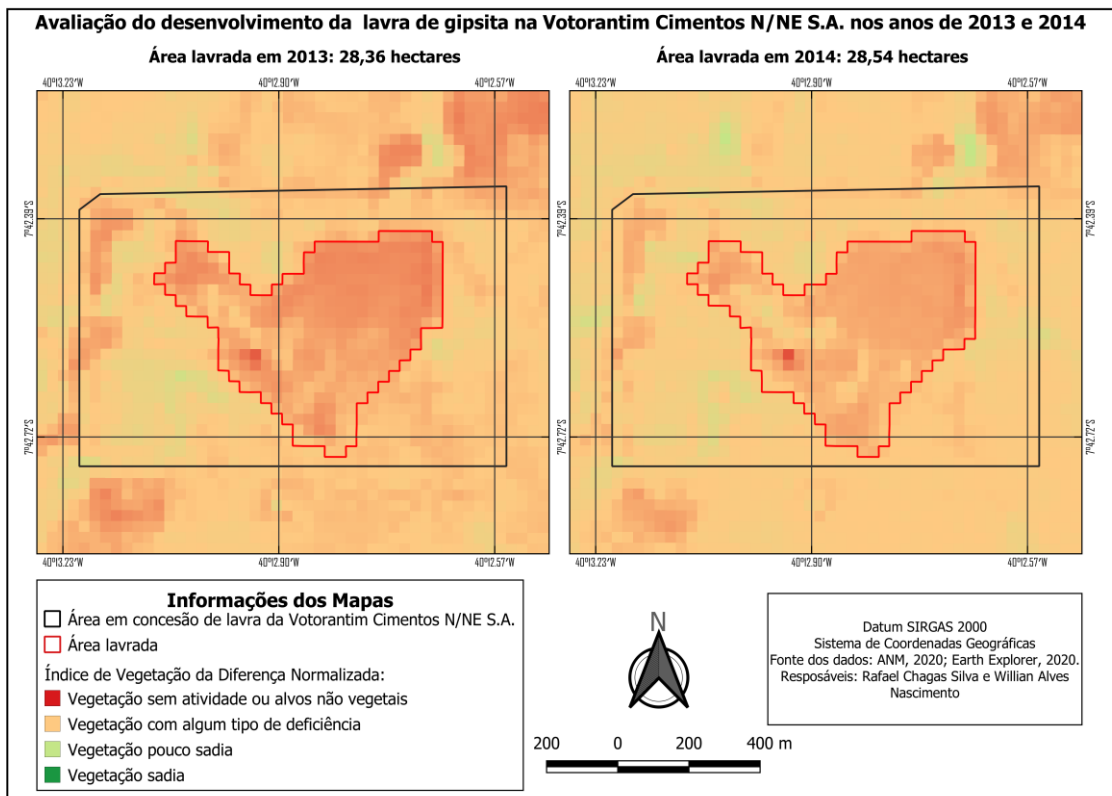
A Figura 21 mostra a região espacial referente ao processo de concessão de lavra da Votorantim Cimentos N/NE para os anos de 2013 e 2014. Verifica-se na análise comparativa do NDVI que a área em 2013 apresentou coloração mais avermelhada que a área em 2014, tal fato pode ser associado à quantidade inferior de chuvas no período da obtenção da imagem, conforme apresentado no gráfico da Figura 22.

As Figuras 21, 23, 24 e 25 mostram as poligonais que representam as delimitações das áreas de produção da Votorantim Cimentos N/NE entre os anos de 2013 a 2017. Nota-se que durante o período analisado ocorreu um aumento discreto nas áreas de lavra. Desse modo, em 2013 a delimitação da área lavrada foi quantificada em 28,36 ha, em 2014 a área passou para 28,54 ha; em 2015, 2016 e 2017 as áreas calculadas foram de 28,90; 30,33 e 30,81 ha, respectivamente. A Figura 26 apresenta uma comparação da área lavrada para os anos de 2013 e 2017 que corresponde ao início e ao fim do período em análise. O acréscimo total de área no período analisado foi de 8,64%, resultando em 2,16% de acréscimo médio anual. A utilização do NDVI permitiu identificar que o aumento discreto na área de produção de gipsita está diretamente associado ao aprofundamento da cava em cotas inferiores que não foi comprovado nas imagens do Landsat 8.

À vista disso, foram obtidas imagens multitemporais por meio do Google Earth Pro, a análise espacial das Figuras 27 e 28, permitiram identificar três níveis de rebaixamento de produção na área em lavra da Votorantim Cimentos N/NE. Verificou-se também nas Figuras 27 e 28, que as bancadas de gipsita são explotadas na direção nordeste.

A Figura 29 mostra a relação obtida pelas avaliações multitemporais no software Qgis e Google Earth Pro. Nota-se que as delimitações de área de produção apresentaram resultados equivalentes.

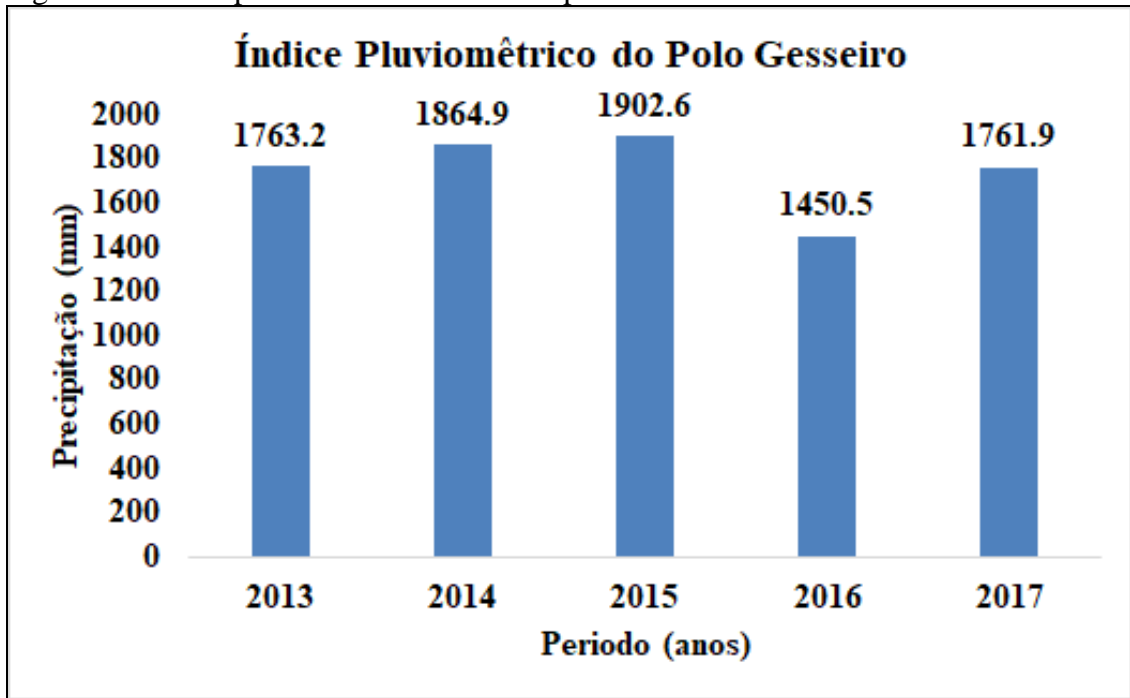
Figura 21: Análise dos anos de 2013 e 2014 da Votorantim Cimentos N/NE



Fonte: elaborada pelo autor

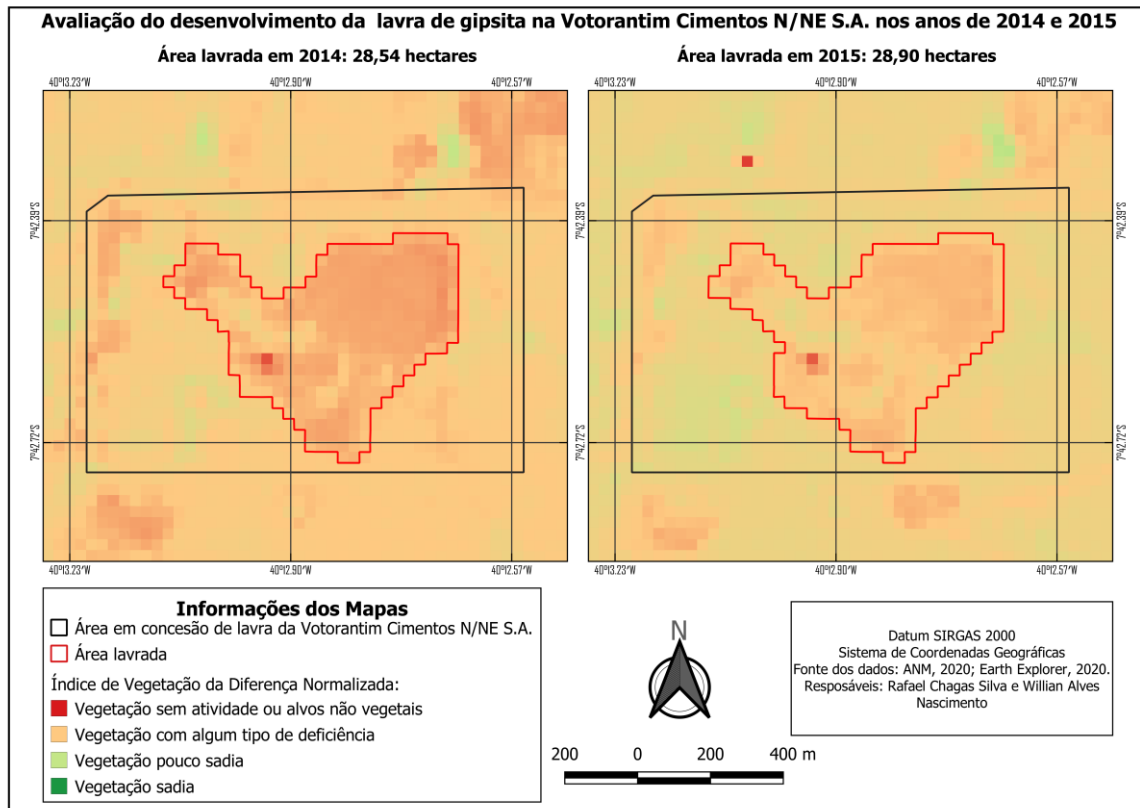


Figura 22: Índice pluviométrico dos municípios do Polo Gesseiro



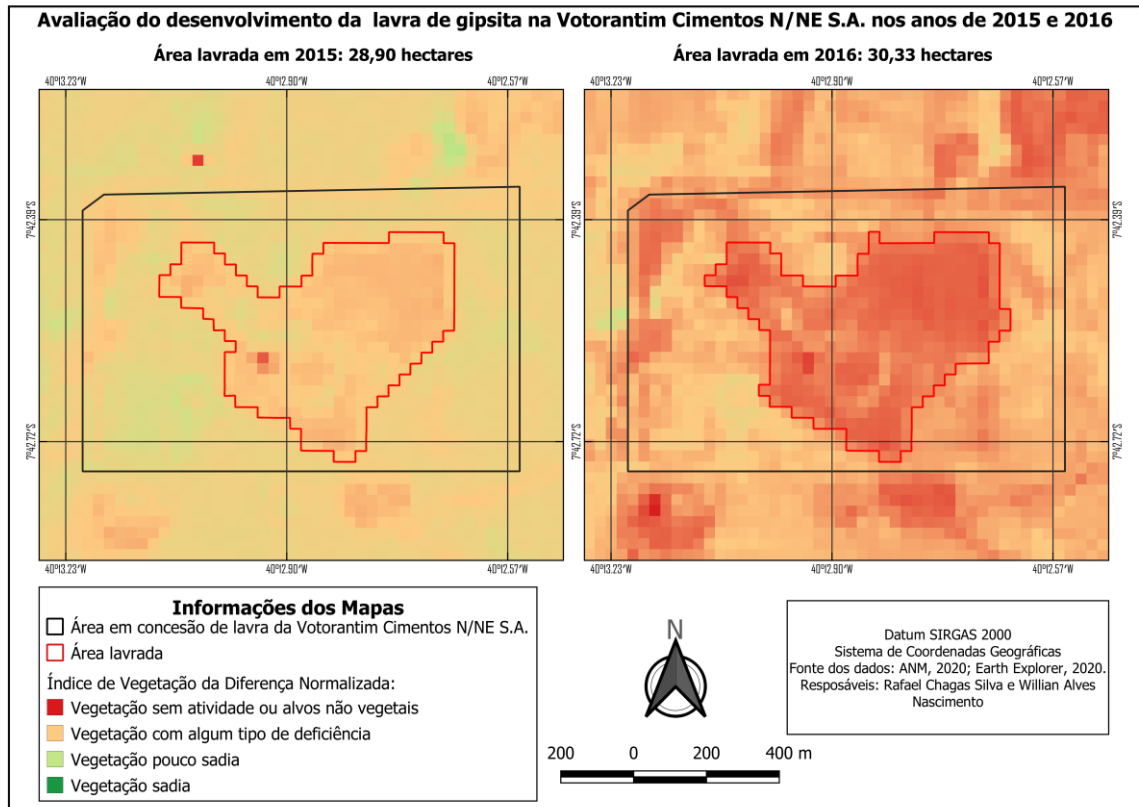
Fonte: adaptado IPA (2021)

Figura 23: Análise dos anos de 2014 e 2015 da Votorantim Cimentos N/NE



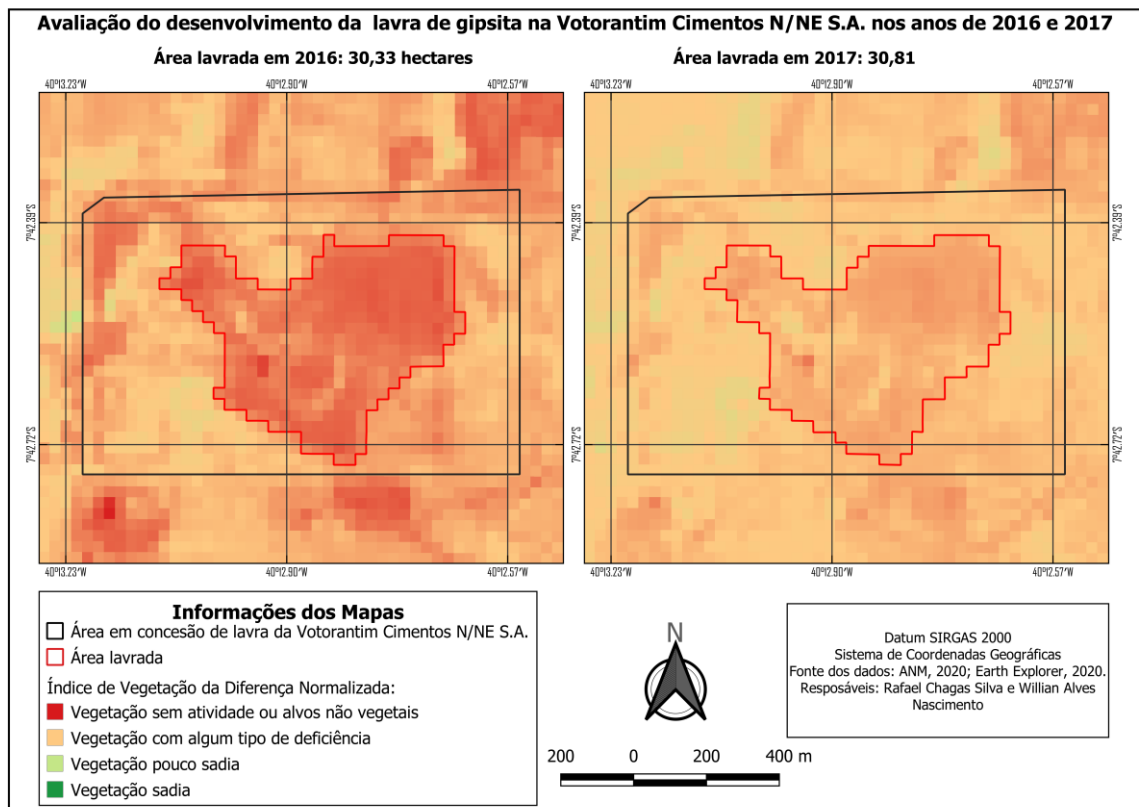
Fonte: elaborada pelo autor

Figura 24: Análise dos anos de 2015 e 2016 da Votorantim Cimentos N/NE



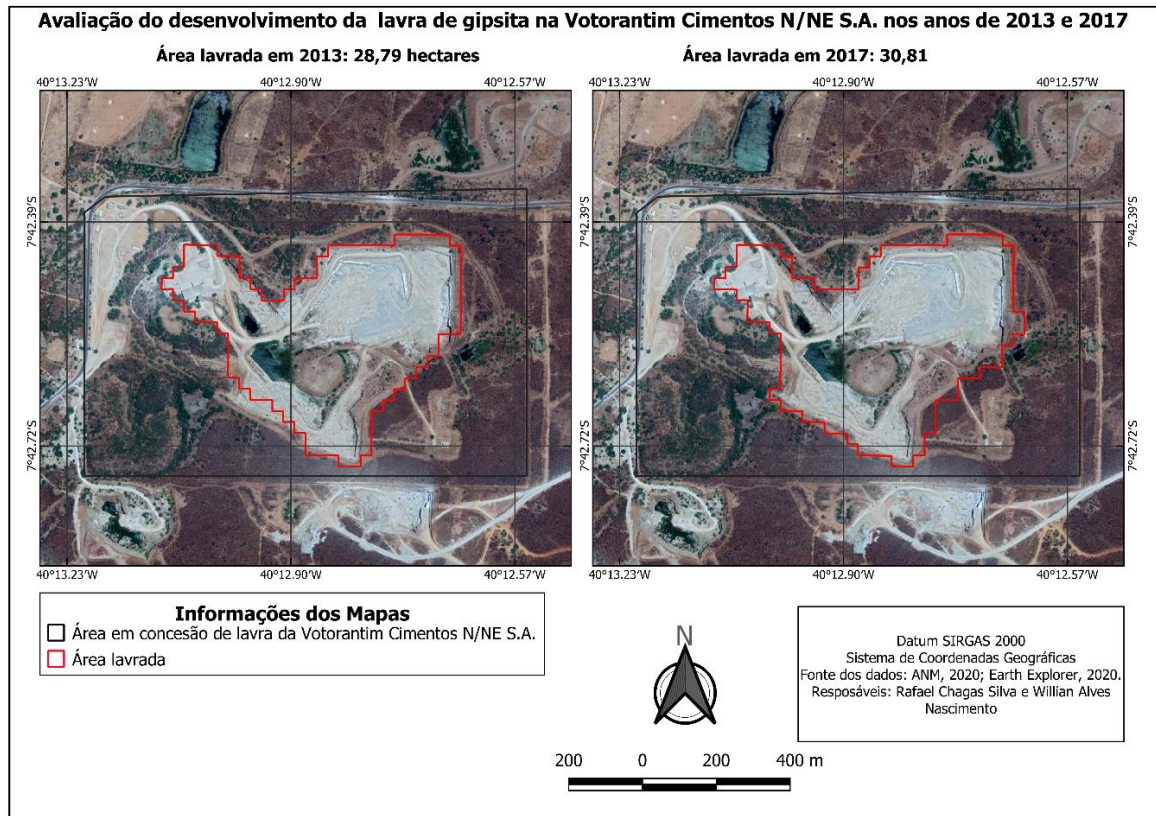
Fonte: elaborada pelo autor

Figura 25: Análise dos anos de 2016 e 2017 da Votorantim Cimentos N/NE



Fonte: elaborada pelo autor

Figura 26: Análise dos anos de 2013 e 2017 da Votorantim Cimentos N/NE



Fonte: elaborada pelo autor



Figura 27: Comparação dos anos de 2013 e 2016 no Google Earth Pro da Votorantim Cimentos N/NE



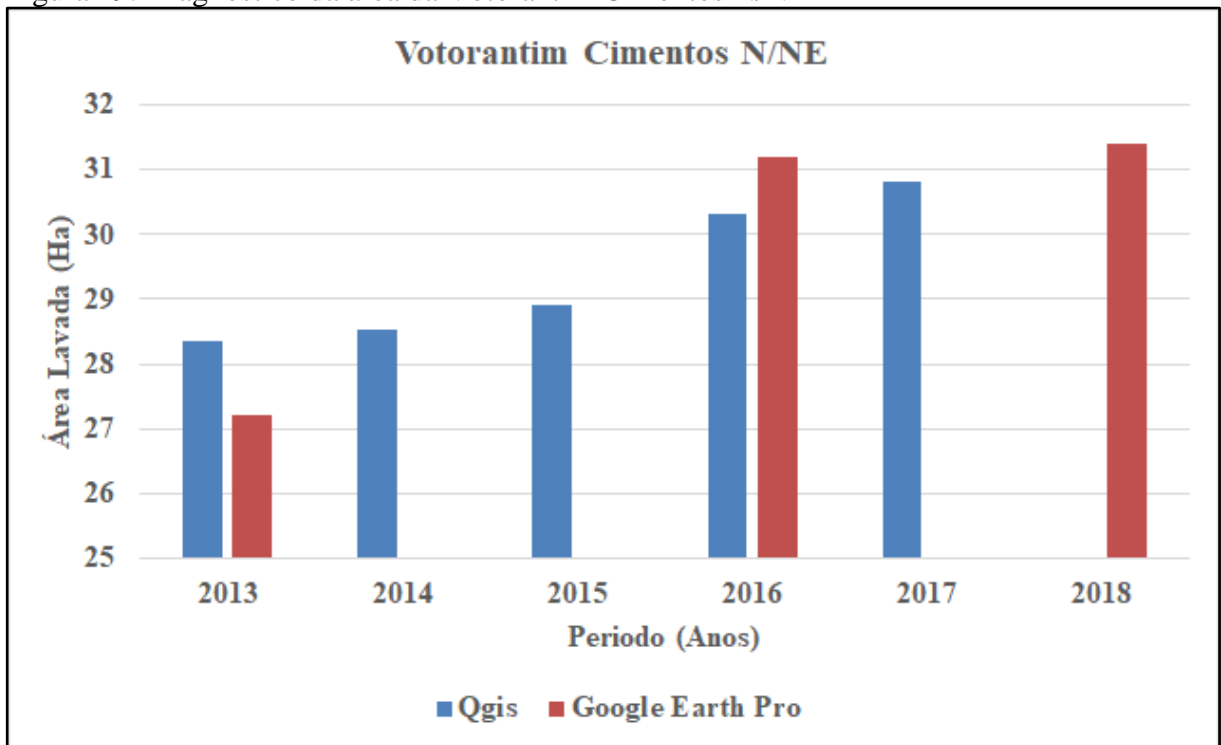
Fonte: Elaborada pelo autor no Google Earth Pro

Figura 28: Comparação dos anos de 2016 e 2018 no Google Earth Pro da Votorantim Cimentos N/NE



Fonte: elaborada pelo autor no Google Earth Pro

Figura 29: Diagnóstico da área da Votorantim Cimentos N/NE



Fonte: Elaborada pelo autor



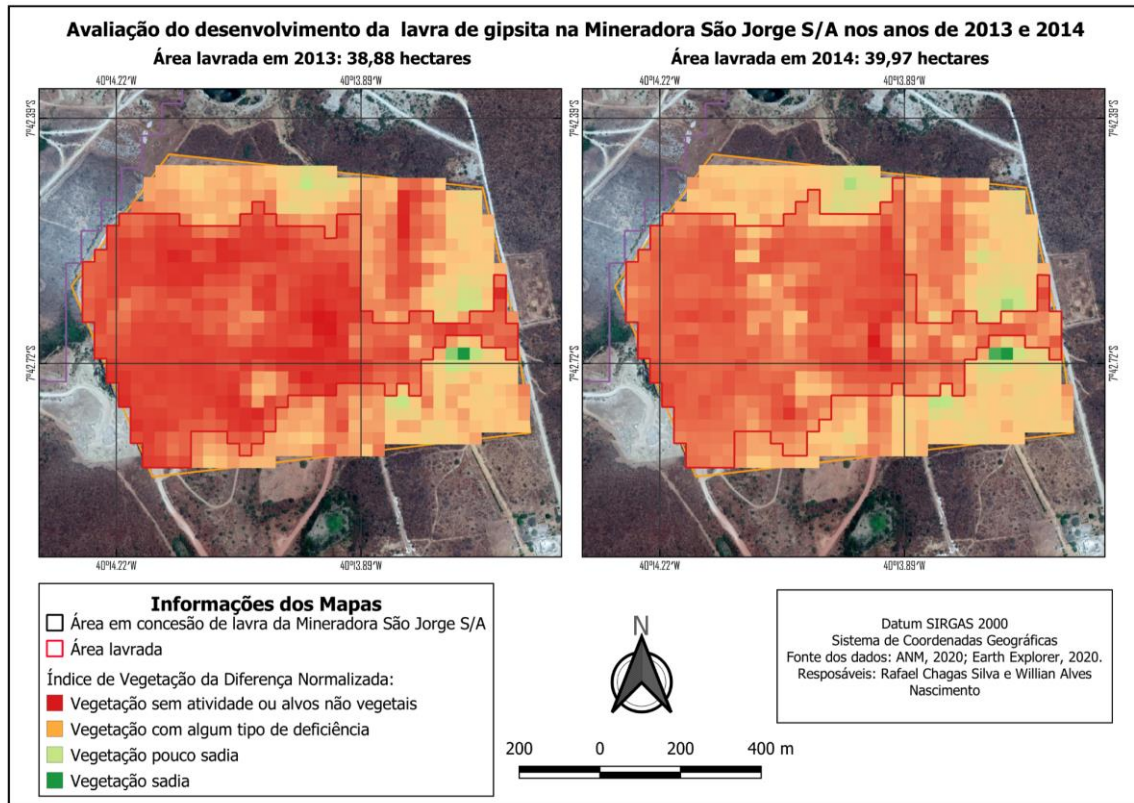
### **5.2.2 Mineradora São Jorge S/A**

A mineradora São Jorge S/A registrou duas áreas em concessão de lavra dentre os processos minerários analisados que foram classificadas como cava 1 e cava 2. As Figuras 30, 31, 32 e 33, mostram as poligonais das delimitações de áreas de produção da cava 1, que correspondem a mina mais antiga da empresa, referentes aos anos de 2013 a 2017. Notou-se que o NDVI nesta cava, apresentou tons avermelhados, tal fato pode ser associado ao demasiado processo de decapeamento existente na área. Verifica-se nos resultados obtidos pelo Qgis, que os incrementos de área cresceram de modo constante, aumentando de 38,88 ha em 2013 para 42,85 ha em 2017, ocasionando um aumento total de 10,21%.

Os acréscimos de área observados no Google Earth Pro mantiveram-se discretos. De acordo com a Figura 34 a cava aumentou 1,4 ha de 2013 a 2016. Conforme é apresentado na Figura 35, observa-se que não ocorreu aumento de área de 2016 a 2018.

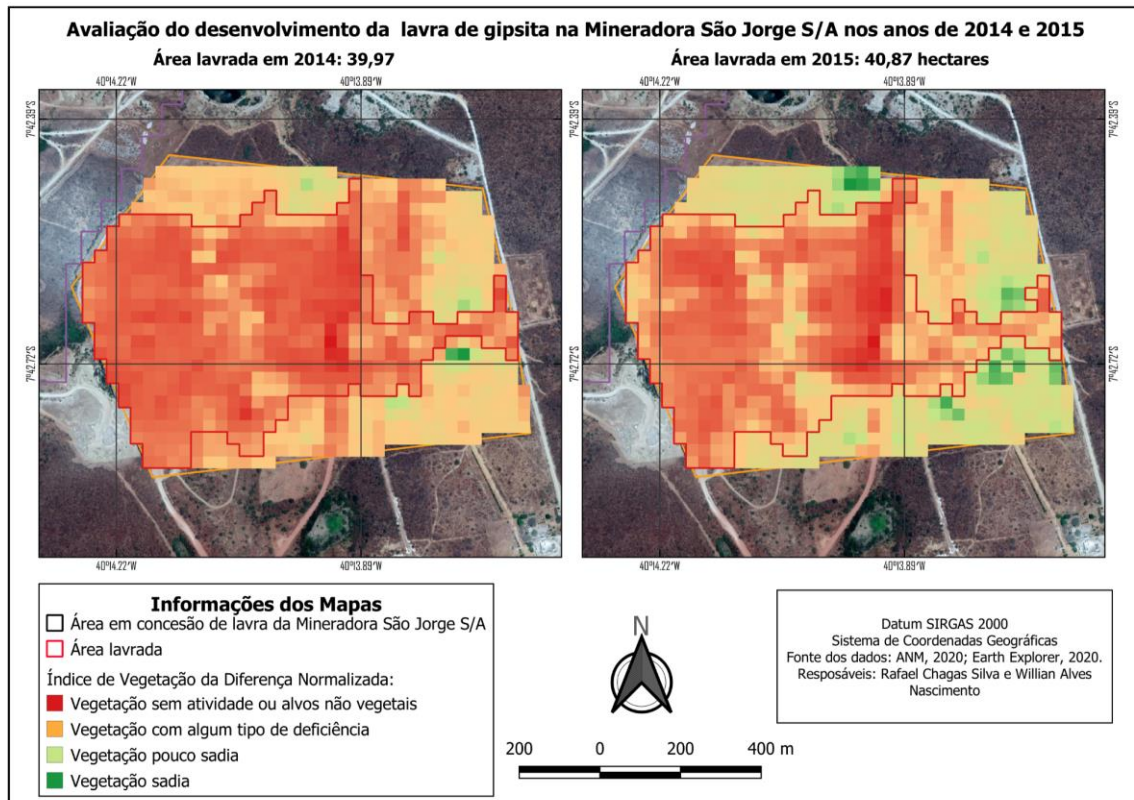
O gráfico da Figura 36, mostra a comparação dos resultados obtidos no Qgis e no Google Earth Pro. A análise do gráfico permitiu identificar uma considerável diferença entre as áreas delimitadas pelo NDVI e a área registrada pelo Google Earth Pro para os anos de 2013 e 2016. Verifica-se que os contornos de lavra para os anos de 2013 e 2016 delimitados pelo NDVI e Google Earth Pro foram de 39,97 e 41,86; 36,90 e 38,30 hectares, respectivamente. Essas divergências quantitativas de área, decorreram, provavelmente, em virtude do elevado grau de decapeamento existente próximo a cava, o que promoveu a intensificação dos tons avermelhados da escala NDVI, provocando uma supervalorização dos pixels, caracterizando esta área como lavrada.

Figura 30: Análise dos anos de 2013 e 2014 da Mineradora São Jorge S/A - Cava 1



Fonte: elaborada pelo autor

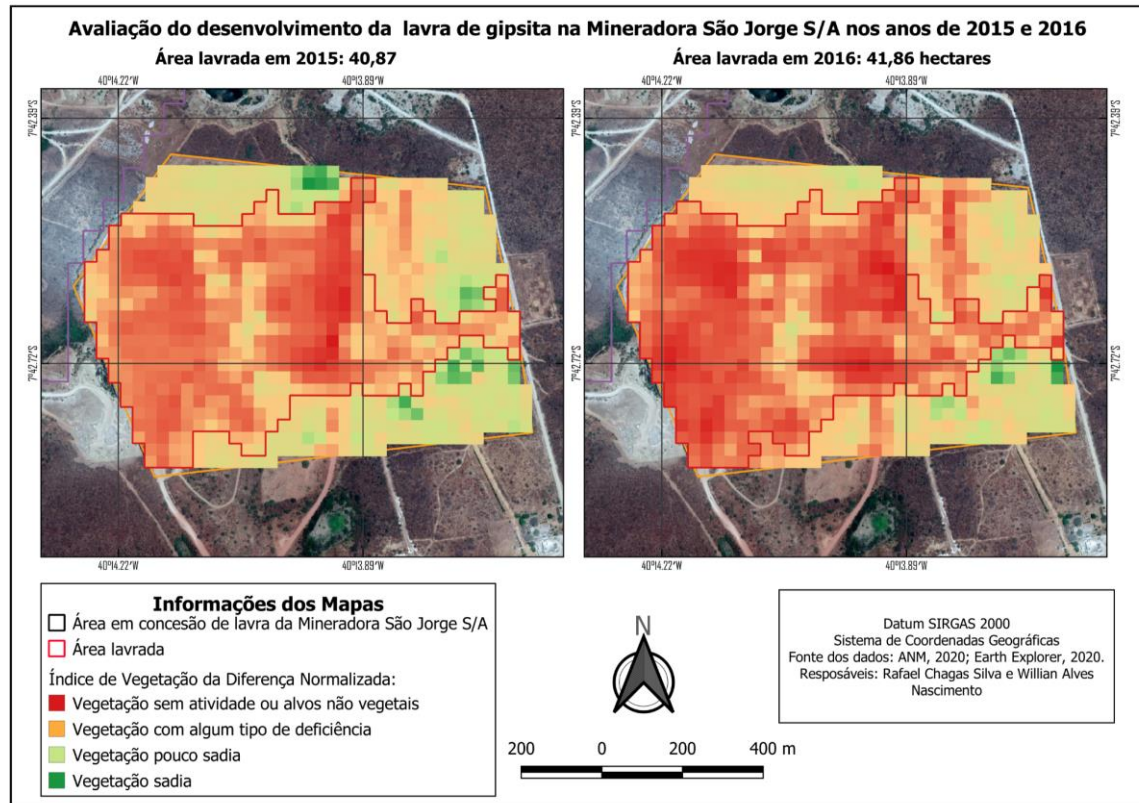
Figura 31: Análise dos anos de 2014 e 2015 da Mineradora São Jorge S/A - Cava 1



Fonte: elaborada pelo autor

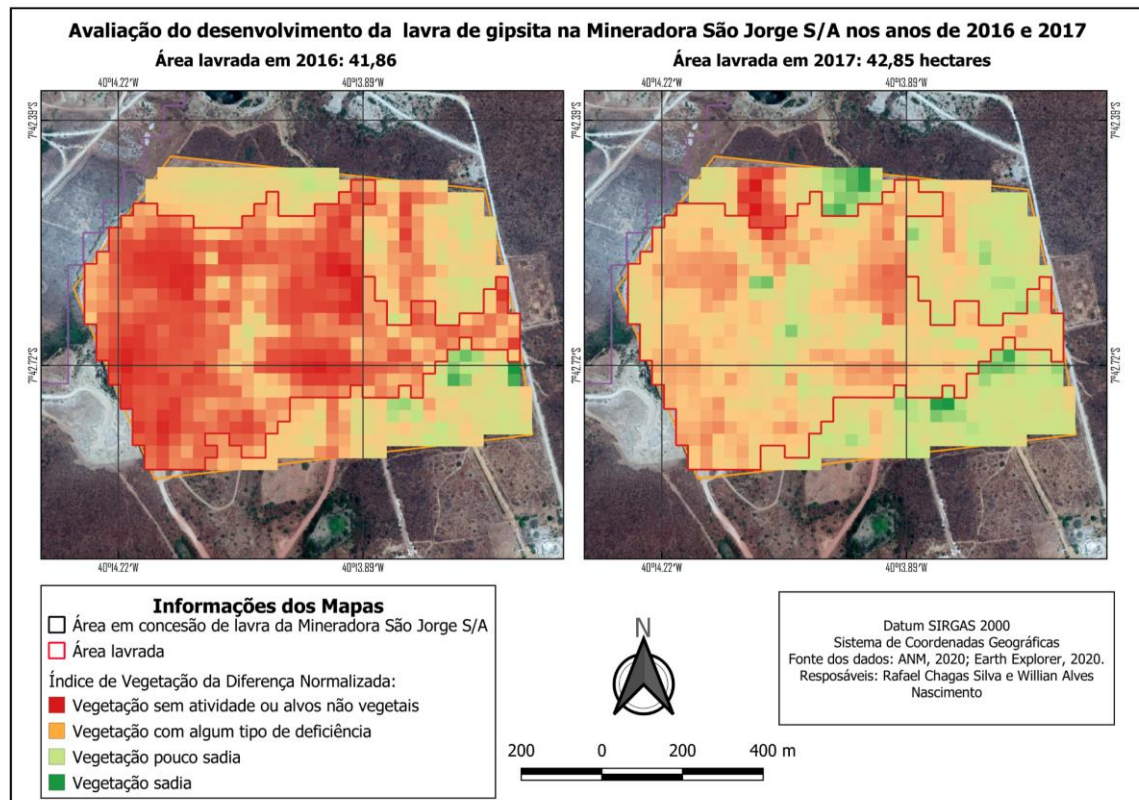


Figura 32: Análise dos anos de 2015 e 2016 da Mineradora São Jorge S/A - Cava 1



Fonte: elaborada pelo autor

Figura 33: Análise dos anos de 2016 e 2017 da Mineradora São Jorge S/A - Cava 1



Fonte: elaborada pelo autor



Figura 34: Comparação dos anos de 2013 e 2016 no Google Earth Pro da Mineradora São Jorge



Fonte: elaborada pelo autor

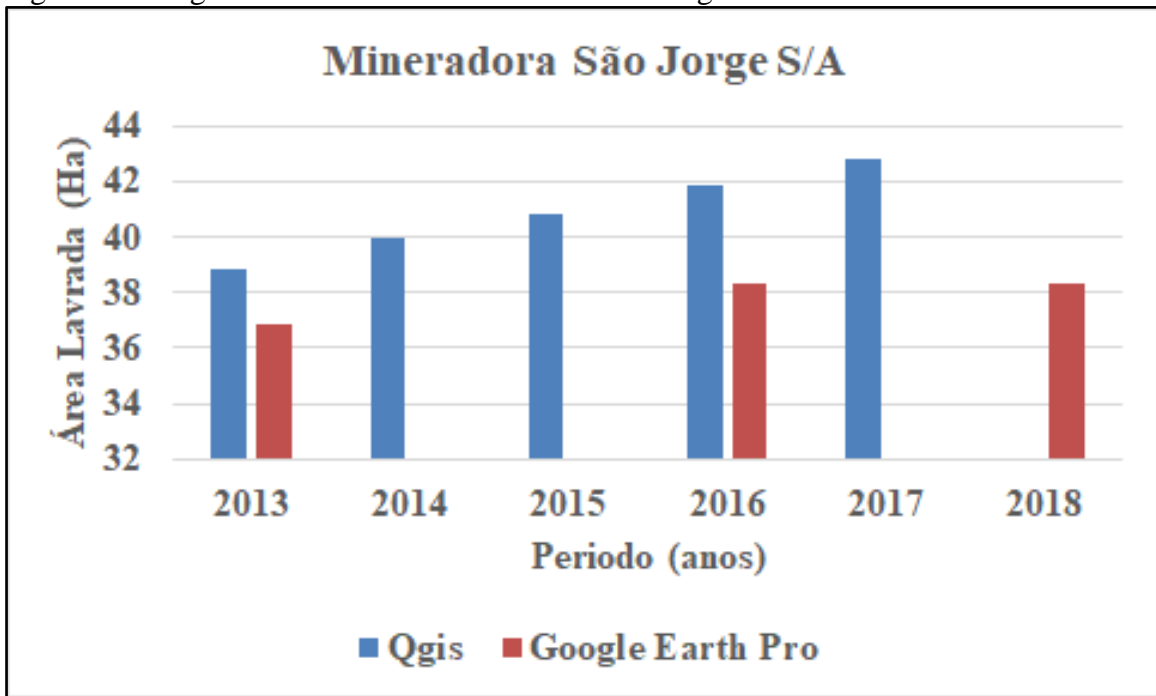


Figura 35: Comparação dos anos de 2016 e 2018 no Google Earth Pro da Mineradora São Jorge



Fonte: elaborada pelo autor

Figura 36: Diagnóstico da área da Mineradora São Jorge S/A - Cava 1

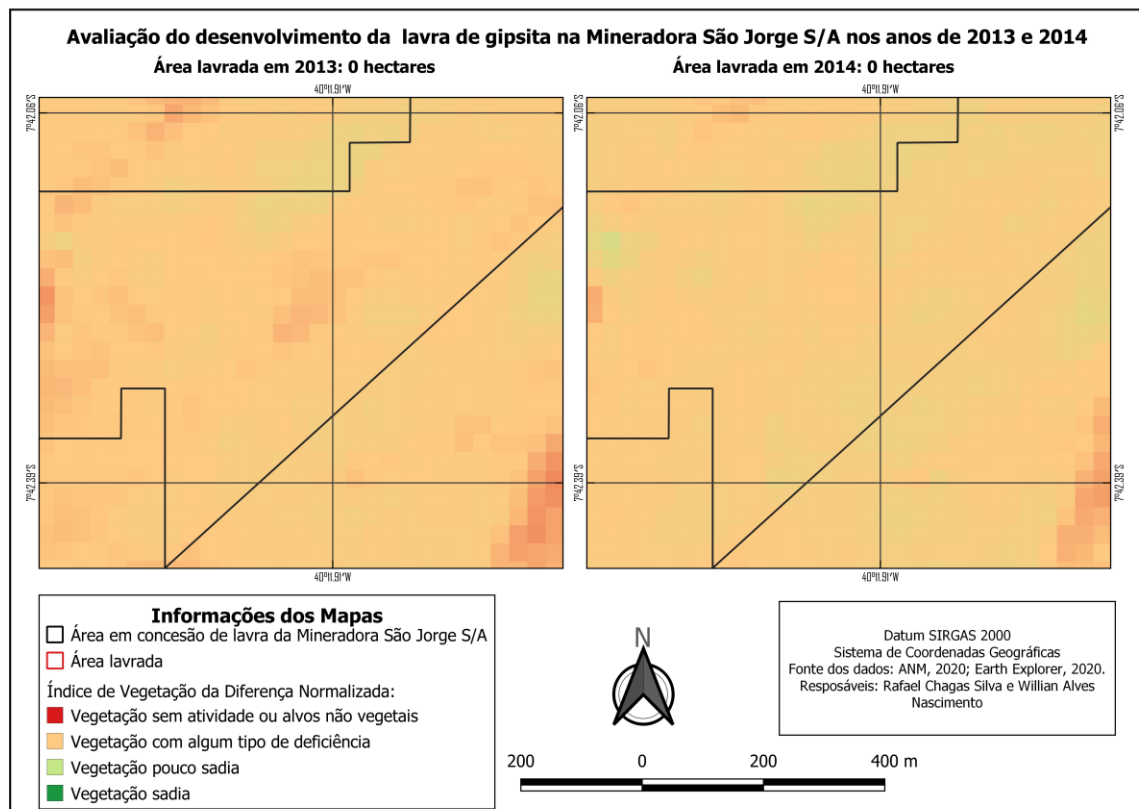


Fonte: elabora pelo autor

A cava 2 pertencente à Mineradora São Jorge iniciou as operações de lavra no ano de 2015. À vista disso, nos anos de 2013 e 2014, Figura 37, não foi identificada variações nas tonalidades de cores do NDVI. No entanto, a Figura 38 referente a avaliação da área lavrada em 2015 apresentou registros de mudanças espacial na imagem do NDVI que evidenciou o início das atividades de lavra da cava 2. Inicialmente, a área da cava identificada na Figura 38 foi de 3,84 ha, referente ao ano de 2015, que aumentou para 6,0 e 7,17 ha nos anos de 2016 e 2017, respectivamente, Figura 39.

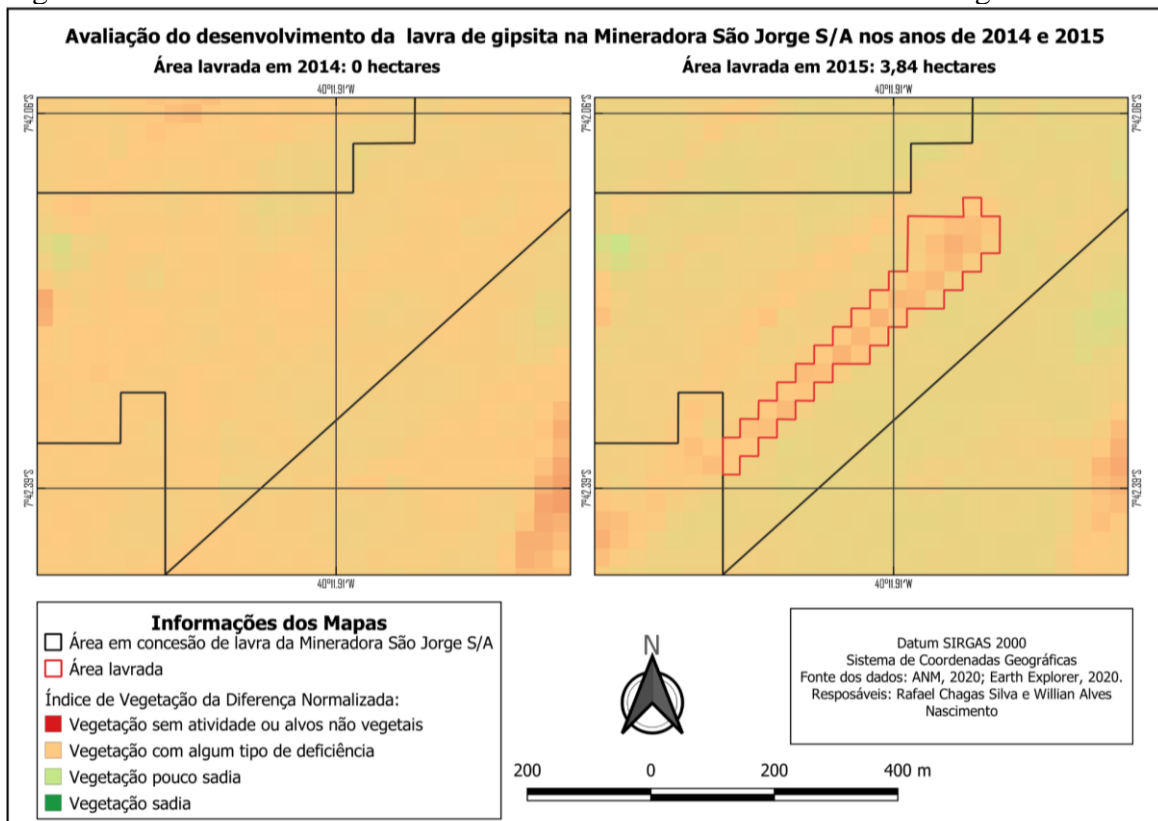
A Figura 40 mostra a comparação espacial da cava 2 no Google Earth Pro para os anos de 2013 e 2016. Verificou-se que no ano de 2013 não houve mudanças na vegetação e na topografia local. No ano de 2016, foi possível identificar o contorno da cava, que está em conformidade com os resultados obtidos pela análise das Figuras 41.

Figura 37: Análise dos anos de 2013 e 2014 da Mineradora São Jorge S/A - Cava 2



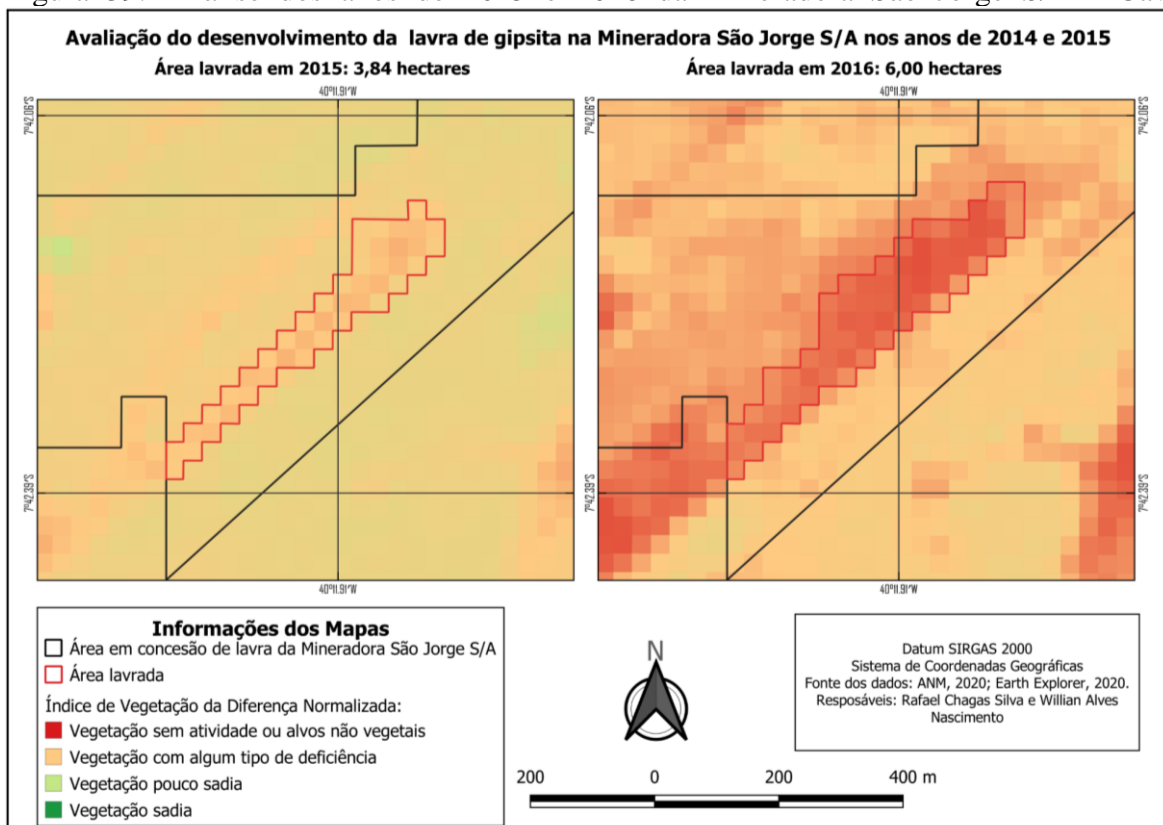
Fonte: Elaborada pelo autor

Figura 38: Análise dos anos de 2014 e 2015 da Mineradora São Jorge S/A - Cava 2



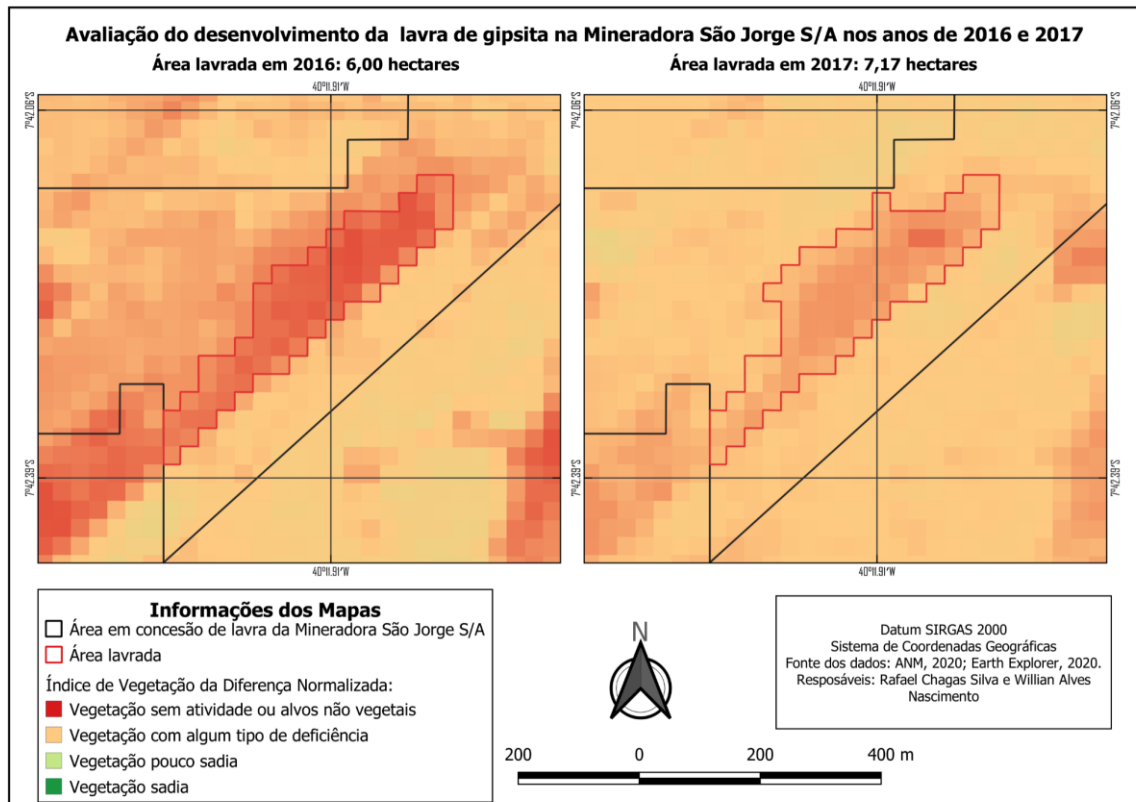
Fonte: elaborada pelo autor

Figura 39: Análise dos anos de 2015 e 2016 da Mineradora São Jorge S/A - Cava 2



Fonte: elaborada pelo autor

Figura 40: Análise dos anos de 2016 e 2017 da Mineradora São Jorge S/A - Cava 2



Fonte: elabora pelo autor



Figura 41: Comparação dos anos de 2013 e 2016 no Google Earth Pro da Mineradora São Jorge S/A - cava 2



Fonte: elaborada pelo autor no Google Earth Pro



Figura 42: Comparação dos anos de 2016 e 2018 no Google Earth Pro da Mineradora São Jorge S/A - cava 2



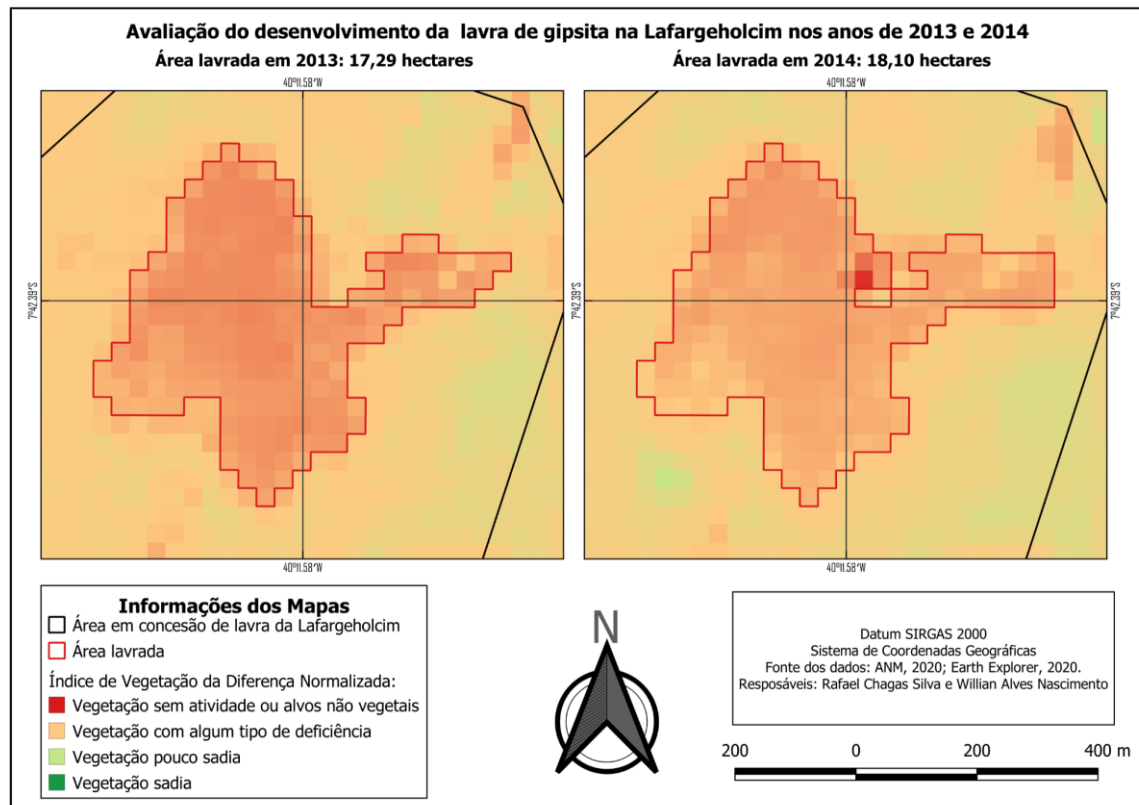
Fonte: elaborada pelo autor no Google Earth Pro

### 5.2.3 Lafargeholcim

Os mapas da avaliação multitemporal da área lavrada entre os anos de 2013 a 2017 da mineradora Lafargeholcim estão apresentados nas Figuras 43, 44, 45 e 46. Verificou-se nas delimitações das áreas de produção, contornos de pixels nítidos, que estão associados a presença de vegetação sadia nas proximidades da cava, formando pixels de tons esverdeados. Os tons avermelhados que contrastaram com os pixels de cores claras, representaram as áreas lavradas no período analisado. À vista disso, avaliação multitemporal realizada na Lafargeholcim quantificou um aumento de área lavrada entre os anos de 2013 a 2017 de 4,84 ha, representando para esse período um acréscimo total de 28,1 %. Para os anos de 2013, 2014, 2015, 2016 e 2017 a avaliação multitemporal realizada no Qgis, quantificou-se as delimitações de área lavrada em 17,29; 18,10; 19,90; 21,15 e 22,15 hectares, respectivamente.

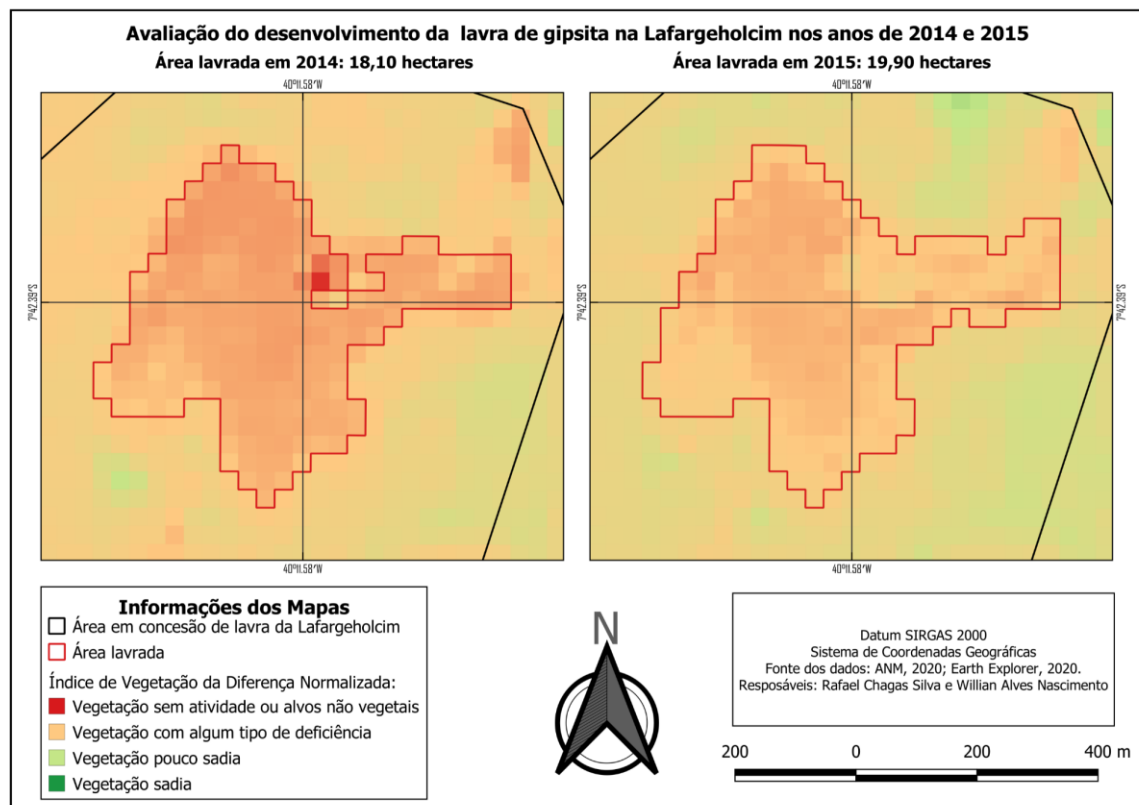
As Figura 47 e 48 mostram a área lavrada da mineradora Lafargeholcim para os anos de 2013, 2016 e 2018. Verifica-se nas Figuras 47 e 48 que o entorno da mineradora está sitiado por vegetação, o que está em conformidade com os resultados obtidos nos mapas das Figuras 43, 44, 45 e 46. Observa-se que durante o período avaliado, a análise no Google Earth Pro resultou em aumento considerado nas áreas de lavra, se comparado com as demais empresas. As delimitações de área calculadas no Google Earth Pro para a Lafargeholcim foram de 20,4; 22,6 e 23,1 hectares, para os anos de 2013, 2016 e 2018, respectivamente. A Figura 49 apresenta a comparação das avaliações multitemporais realizadas no Qgis e no Google Earth Pro, nota-se que ambos *softwares* obtiveram resultados similares.

Figura 43: Análise dos anos de 2013 e 2014 da mineradora Lafargeholcim



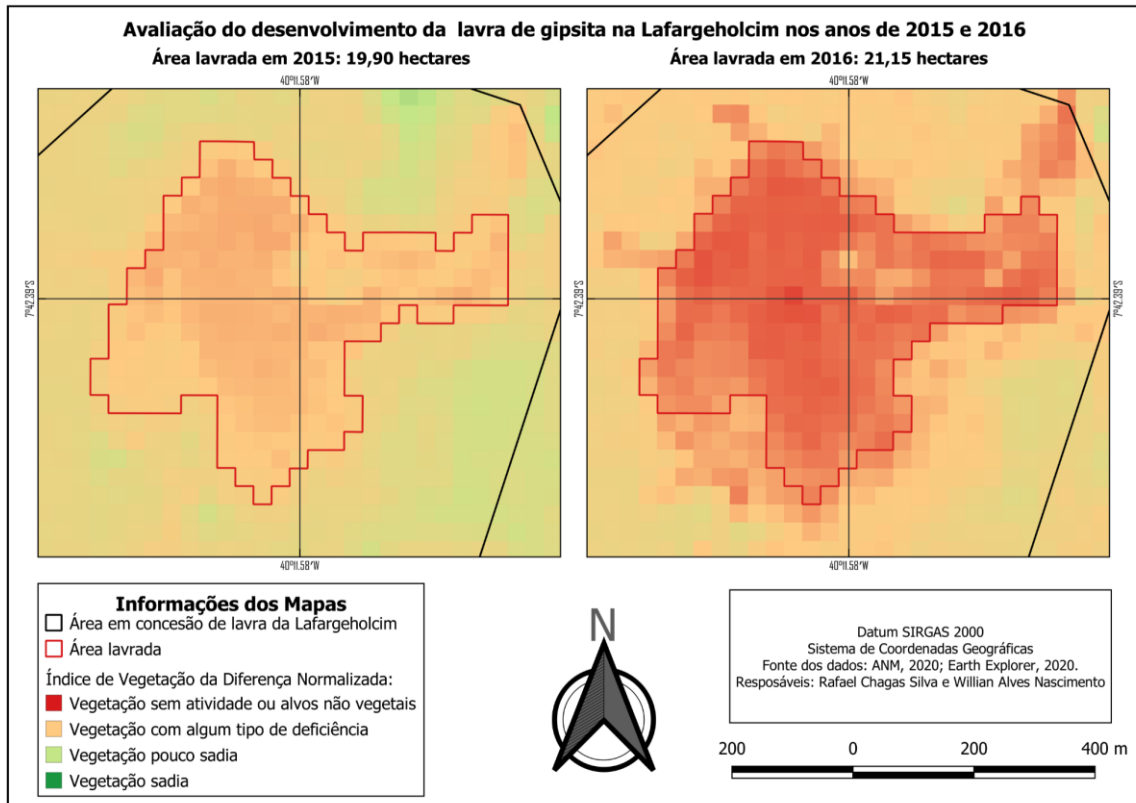
Fonte: elaborada pelo autor

Figura 44: Análise dos anos de 2014 e 2015 da mineradora Lafargeholcim



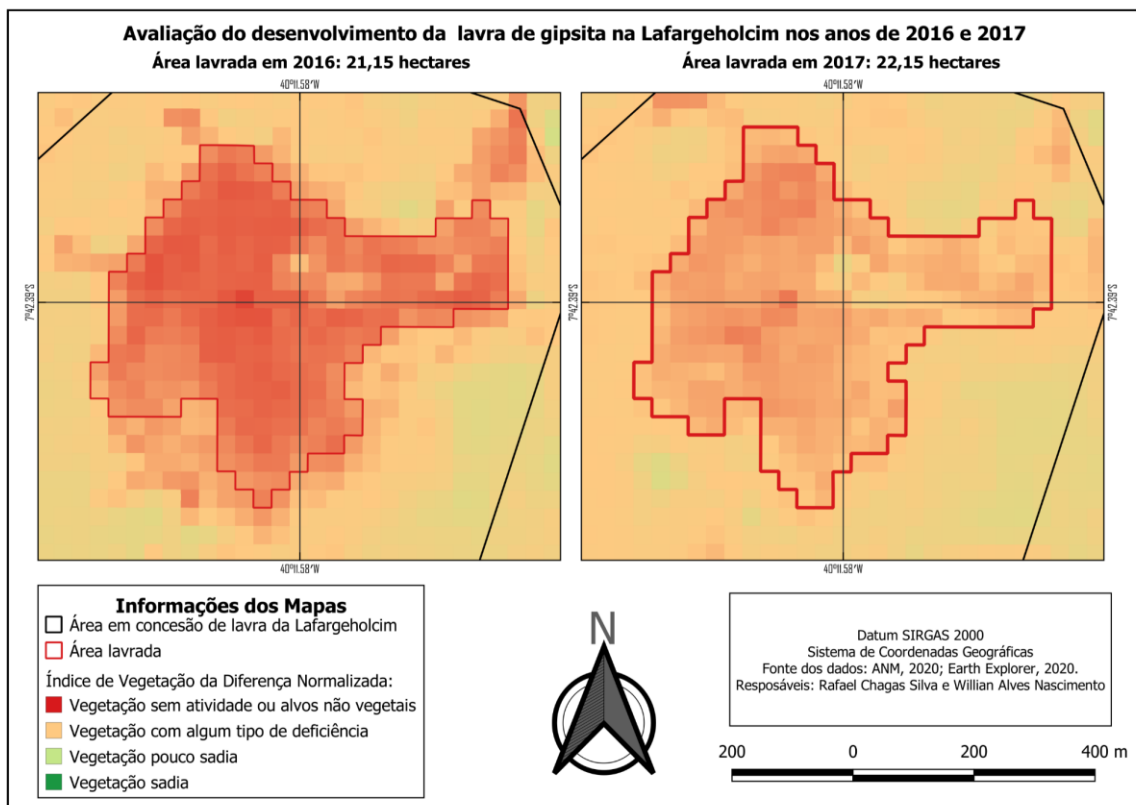
Fonte: elaborada pelo autor

Figura 45: Análise dos anos de 2015 e 2016 da mineradora Lafargeholcim



Fonte: elaborada pelo autor

Figura 46: Análise dos anos de 2013 e 2014 da mineradora Lafargeholcim



Fonte: elabora pelo autor



Figura 47: Comparação dos anos de 2013 e 2016 no Google Earth Pro da mineradora Lafargeholcim



Fonte: elaborada pelo autor no Google Earth Pro

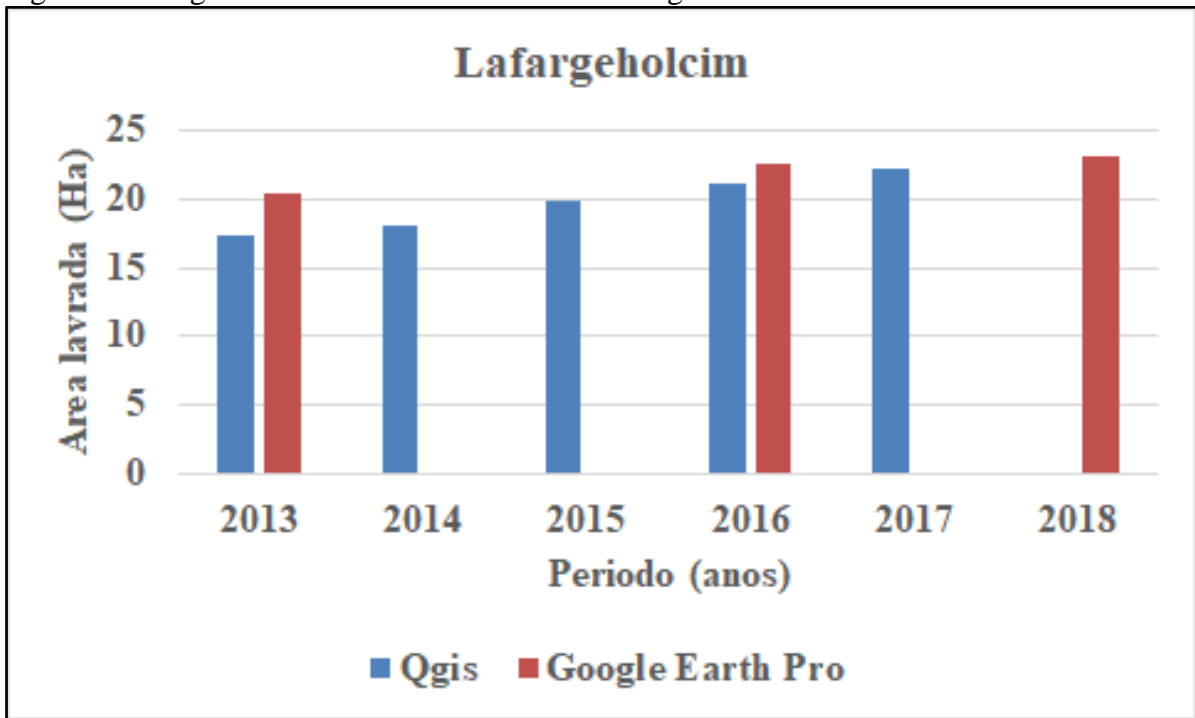


Figura 48: Comparação dos anos de 2016 e 2018 no Google Earth Pro da mineradora Lafargeholcim



Fonte: elaborado pelo autor

Figura 49: Diagnóstico da área da mineradora Lafargeholcim



Fonte: elaborada pelo autor

## 6 CONCLUSÕES

A produção de gipsita na microrregião do Araripe corresponde a uma das principais atividades econômicas do sertão de Pernambuco. Diante disso, verificou-se nos anuários de produção mineral do estado, entre os anos de 2013 a 2017, que as três principais empresas produtoras de gipsita foram a Votorantim Cimentos, Mineradora São Jorge e LafargeHolcim. As informações cadastradas no Sistema de Informações Geográficas da Mineração permitiram identificar os processos minerários referentes aos regimes de aproveitamento de gipsita pelas principais empresas produtoras na região em estudo.

A utilização do sensoriamento remoto permitiu realizar a avaliação multitemporal entre os anos de 2013 a 2017, das três principais empresas produtoras de gipsita do estado de Pernambuco. O uso do NDVI – Índice de Vegetação da Diferença Normalizada, propiciou, de modo qualitativo e semi-quantitativo a mensuração das áreas de produção de gipsita.

A Votorantim Cimentos apresentou entre os anos avaliados, um acréscimo total de área 8,64%, referente a área de produção de gipsita, passando de 28,36 ha em 2013, para 30,81 ha em 2017. A Mineradora São Jorge foi a única entre as empresas listadas que apresentou duas cavas em funcionamento. A avaliação multitemporal para a cava mais antiga, resultou em um acréscimo total de área produtiva de 10,21%; passando 38,88 ha em 2013, para 42,85 ha em 2017. A utilização do NDVI não identificou atividades mineiras para a segunda cava pertencente a Mineradora São Jorge nos anos de 2013 e 2014. Todavia, para os anos de 2015, 2016 e 2017 quantificou-se a área lavrada em 3,84; 6,00 e 7,17 hectares, respectivamente. A LafargeHolcim quantificou um aumento de 2013 a 2017 de 4,84 ha, representando para esse período um acréscimo total de 28,1 %.

Verificou-se de modo geral que todas as empresas avaliadas, apresentaram pouca alteração espacial nas delimitações das áreas de produção, tal fato pode ser justificado pelo período em análise ser curto, se comparado ao período de existência das minas; além disso, verificou-se também que o NDVI é limitado à análise espacial (2D), assim as cavas que apresentam múltiplas bancadas de produção (aprofundamento) não provocam efeito no resultado obtido pelo NDVI.



## REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, T; MENESES, P R; ROSA, A N C S. **Introdução ao processamento de imagens de sensoriamento remoto**. Instituto de Geociências da Universidade de Brasília, Brasília, 2012.
- ARAÚJO, S M S; MARTINS, L A M. **A indústria extrativa mineral do polo gessoso do Araripe e seus impactos sócio-ambientais**. Revista de Geografia (UFPE), 2012.
- ASSINE, M.L. **Bacia do Araripe**. Boletim Geociências Petrobrás, Rio de Janeiro, v. 15, n. 2, p. 371-389, 2007.
- BALTAR, C A M; BASTOS, F F; LUZ, A B. **Gipsita. Rochas e Minerais Industriais**. CETEM/2005. Disponível em: <http://mineralis.cetem.gov.br/handle/cetem/674>. Acesso em: 22 de set. 2020
- BARROS, S D S; LAGES, G A; SANTOS, R B. **Gipsita no sudoeste da bacia sedimentar do Araripe, Estados de Pernambuco e Piauí**. CPRM, Recife, 2019.
- BELTRÃO, B A *et al.* **Diagnóstico do município de Trindade, estado de Pernambuco**. Recife: CPRM/PRODEEM, 2005. Disponível em: [http://rigeo.cprm.gov.br/xmlui/bitstream/handle/doc/16988/Rel\\_Trindade.pdf?sequence=1](http://rigeo.cprm.gov.br/xmlui/bitstream/handle/doc/16988/Rel_Trindade.pdf?sequence=1). Acesso em: 10 de set. 2020.
- BEZERRA, M S. Produto 24 – **Relatório Técnico 34 - Perfil da Gipsita**. MME/SGM. Banco Mundial; J Mendo Consultoria, Brasília, 2009. Disponível em: [http://www.mme.gov.br/documents/1138775/1256650/P24\\_RT34\\_Perfil\\_da\\_Gipsita.pdf](http://www.mme.gov.br/documents/1138775/1256650/P24_RT34_Perfil_da_Gipsita.pdf). Acesso em: 22 set. 2020.
- Brasil. Agência Nacional de Mineração. **Anuário Mineral Brasileiro: Principais Substâncias Metálicas**. Coord. Geral Osvaldo Barbosa Ferreira Filho; Equipe Técnica por Marina Dalla Costa et al. Brasília: ANM, 2019.
- CASTRO, R. S.; PARRAS, M. M. **Manual de Ferramentas de Perfurações**. Revista Secoroc, Rio de Janeiro, 2007.
- CHAVES NETO, JOSÉ. **Mineração: Meio ambiente e Mineração**. Apostila de meio ambiente. Curso técnico de mineração. 2013.

DE MORAES NOVO, E M L; PONZONI, F J. **INTRODUÇÃO AO SENSORIAMENTO REMOTO**. 2001

DNPM. Departamento Nacional de Produção Mineral. **Anuário Mineral Estadual - Pernambuco anos bases de 2015 e 2016**. Coord. Técnica de Marina Marques Dalla Costa et al.; Equipe Técnica por Adhelbar de Albuquerque Queiroz Filho; Antônio Alves Amorim – Brasília: DNPM, 2018. Disponível em:  
<http://antigo.anm.gov.br/portal/dnpm/publicacoes/serie-estatisticas-e-economia-mineral/anuario-mineral/anuario-mineral-estadual/anuario-mineral-estadual/pernambuco>. Acesso em: 20 de set. de 2020.

DNPM. Departamento Nacional de Produção Mineral. **Anuário Mineral Estadual - Pernambuco. Anos base 2010 a 2013**. Coord. Técnica de Lia Fernandes; Marina Marques Dalla Costa; Equipe Técnica por Antônio Alves Amorim; Adhelbar de Albuquerque Queiroz Filho – Brasília: DNPM, 2016. Disponível em:  
<http://antigo.anm.gov.br/portal/dnpm/publicacoes/serie-estatisticas-e-economia-mineral/anuario-mineral/anuario-mineral-estadual/anuario-mineral-estadual/pernambuco>. Acesso em: 20 de set. de 2020.

DNPM. Departamento Nacional de Produção Mineral. **Anuário Mineral Estadual - Pernambuco ano base 2014**. Coord. Técnica de Marina Marques Dalla Costa et al.; Equipe Técnica por Adhelbar de Albuquerque Queiroz Filho; Antônio Alves Amorim Brasília: DNPM, 2017. Disponível em: <http://antigo.anm.gov.br/portal/dnpm/publicacoes/serie-estatisticas-e-economia-mineral/anuario-mineral/anuario-mineral-estadual/anuario-mineral-estadual/pernambuco>. Acesso em: 20 de set. de 2020.

DNPM. Departamento Nacional de Produção Mineral. **Anuário Mineral Estadual - Pernambuco ano base 2017**. Coord. Técnica de Marina Marques Dalla Costa et al.; Equipe Técnica por Adhelbar de Albuquerque Queiroz Filho; Antônio Alves Amorim – Brasília: DNPM, 2018. Disponível em: <http://antigo.anm.gov.br/portal/dnpm/publicacoes/serie-estatisticas-e-economia-mineral/anuario-mineral/anuario-mineral-estadual/anuario-mineral-estadual/pernambuco>. Acesso em: 20 de set. 2020.

ECONOMIA da Região Nordeste do Brasil. Só Geografia. 2007. Disponível em:  
<http://www.sogeografia.com.br/Conteudos/GeografiaFisica/Brasil/regiaonordeste3.php>. Acesso em 22 de out. 2020.

FARIAS, C E u G. Mineração e meio ambiente no Brasil. **Relatório do CGEE/PNUD**, v. 76, p. 2, 2002.

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

HALLIDAY, D; RESNICK, R; W J; trad. de Biasi, Ronaldo Sérgio. Fundamentos de Física. vol.4. Rio de Janeiro: LTC, 2003.

HERRMANN, C. **Manual de Perfuração de Rocha**. Editora Polígono S.A, 2ª Ed. São Paulo, 1972.

INPE. **LANDSAT 8**; Instituto Nacional de Pesquisa Espacial Disponível em: <http://www.dgi.inpe.br/documentacao/satelites/landsat>. Acesso em 10 de Set de 2020.

JIMENNO, E. L.; JIMENO, C. L.; LLERA, J. M. P.; URBINA, F.P. O. **Manual de Perfuración y Voladura de Rocas**. Série Geotécnica, Instituto Geológico y Minero de España. Madrid, 1987.

LEITE, U B. **Os efeitos regionais da ‘Grande Mineração’**: a experiência do Norte de Goiás. Dissertação (Mestrado). Universidade de Brasília. Departamento de Geografia. 148 p. Brasília, 2012.

LIMA, Anderson O. **Análise temporal do uso e ocupação da superfície do município de Paulista-PE**. Universidade Federal Rural do Pernambuco. Trabalho de Conclusão de Curso. Recife, 2017.

LIMA, Flavia F et al. **Geopark Araripe: História da terra, do meio ambiente e da cultura**. Crato. 2010. disponível em: <http://geoparkararipe.urca.br/wp-content/uploads/2019/11/LIVRO-GEOPARK-ARARIPE-compactado.pdf>. Acessado em 20 de set. 2020.

LYRA SOBRINHO *et al.* **GIPSITA. Balanço Mineral Brasileiro 2001**. Agência Nacional de Mineração. Disponível em: <http://antigo.anm.gov.br/portal/dnpm/paginas/balanco-mineral/balanco-mineral-brasileiro-2001>. Acesso em: 20 set. 2020

MACHADO, C A S; QUINTANILHA, José Alberto. **Módulo de Treinamento: Sistemas de Informações Geográficas (SIG) e Geoposicionamento: Uma Aplicação Urbana**. Escola

Politécnica da Universidade de São Paulo Departamento de Engenharia de Transportes, São Paulo, 2008.

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

MENDES, M. L. **CURSO DE DESMONTE DE ROCHAS POR EXPLOSIVOS - FORMAÇÃO DE BLASTER**. 2015. Disponível em: <  
[https://www.academia.edu/10183750/CURSO\\_DE\\_DESMONTE\\_DE\\_ROCHAS\\_POR\\_EXPLOSIVOS\\_-FORMA%C3%87%C3%83%C2%82\\_D\\_E\\_\\_BLASTER\\_Instrutor\\_Marcelo\\_Lopes\\_Mendes\\_-\\_Engenheiro\\_de\\_Minas\\_CREA-MG\\_73.235\\_D](https://www.academia.edu/10183750/CURSO_DE_DESMONTE_DE_ROCHAS_POR_EXPLOSIVOS_-FORMA%C3%87%C3%83%C2%82_D_E__BLASTER_Instrutor_Marcelo_Lopes_Mendes_-_Engenheiro_de_Minas_CREA-MG_73.235_D)> Acesso em 26 de set. de 2020.

OLIVEIRA, GCM; FREITAS, MAV. **Análise de correlações entre o índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) e dados hidrometeorológicos do entorno do reservatório da usina hidrelétrica de Tucuruí-PA utilizando imagens Landsat-5 TM**. Anais XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto–SBSR. INPE. P, p. 0771-0776, 2015.

PERRELLA, C F. **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 (Mestrado). Universidade Federal de Pernambuco. 95 p. Recife, 2017.

TAGLIANI *et al.* **Introdução ao sensoriamento remoto**. Ensino virtual de uso de geotécnicas para curso de pós-graduação. 2012 disponível em <http://repositorio.sead.furg.br/handle/1/1069>. Acesso em 17 de out de 2020.

ZANZARINI, F V. et al. **Correlação espacial do índice de vegetação (NDVI) de imagem Landsat/ETM+ com atributos do solo**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 17, p. 608-614, 2013.