



MINISTERIO DA EDUCACAO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIENCIAS
PROGRAMA DE POS-GRADUACAO EM ENGENHARIA MINERAL
PPGEMinas – UFPE

LUIZ FERNANDO DIAS FILHO

**“A UTILIZAÇÃO DE *OPEN SOURCE GIS* NA MINERAÇÃO: PROSPECÇÃO
REGIONAL DE PEGMATITOS DA FAIXA SERIDÓ PARAIBANA”**

RECIFE - PE

2016

LUIZ FERNANDO DIAS FILHO

“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.

Orientador: Prof. Dr. Belarmino B. Lira

Co-Orientador: Prof. Dr. Júlio César de Souza

Recife - PE
2016

Catálogo na fonte
Bibliotecária: Rosineide Mesquita Gonçalves Luz / CRB4-1361 (BCTG)

D541u Dias Filho, Luiz Fernando.
 óA utilização de *Open Source GIS* na mineração: prospecção regional de Pegmatitos da Faixa Seridó Paraibanaô / Luiz Fernando Dias Filho. ñ Recife, 2016.
 113 folhas, il., gráfs., tabs.

 Orientador: Prof. Dr. Belarmino Barbosa Lima.
 Coorientador: Prof. Dr. Júlio César de Souza.
Dissertação (Mestrado) ñ Universidade Federal de Pernambuco.
CTG. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mineral, 2016.
 Inclui Referências.

 1. Engenharia Mineral. 2. SIG. 3. Software Livre. 4. Programas de Código Aberto. 5. Geoprocessamento. 6. Pegmatito. 7. Mineração. I. Lira, Belarmino Barbosa (Orientador). II. Souza, Julio César de (Coorientador). III. Título.

622.35 CDD (22. Ed.)

UFPE/BCTG/2016 - 147



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

PARECER DA COMISSÃO EXAMINADORA
DA DEFESA DE DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM ENGENHARIA MINERAL

“A UTILIZAÇÃO DE OPEN SOURCE GIS NA MINERAÇÃO:
PROSPECÇÃO REGIONAL DE PEGMATITOS DA FAIXA SERIDÓ
PARAIBANA”

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: MINERAIS INDUSTRIAIS

A Comissão Examinadora composta pelos Professores abaixo, sob a Presidência do
Prof. Dr. Belarmino Barbosa Lira, considera o aluno
LUIZ FERNANDO DIAS FILHO, Aprovado.

Recife, 29 de Fevereiro de 2016.

Prof. Dr. Belarmino Barbosa Lira
Presidente - Orientador (UFPB)

Prof. Dr. Júlio César de Souza
Examinador - Co-Orientador (UFPE)

Prof. Dr. Mário Tavares de Oliveira Cavalcanti Neto
Examinador (IFRN)

Profa. Dra. Kênia Valença Correia
Examinadora (UFPE)

*Às mulheres da minha vida, Bruna e
Luiza (minha curiboca = kari'woka), pela
paciência, carinho e amor.*

AGRADECIMENTOS

Aos espíritos iluminados que nos protegem, guiam e não abandonam, mesmo nos momentos que nos afastamos do caminho.

Aos meus pais, Suely e Fernando, por sempre incentivarem a busca pelo conhecimento e apoiarem em todos os momentos que precisei ao longo do mestrado.

Ao amigo Luciano Montenegro por todo apoio desde o momento que compartilhei a intenção de iniciar a pós-graduação, e a Francisco por manter a mesma postura.

Aos queridos amigos João e Ísis, que na fase mais difícil do curso abriram as portas de sua casa e nos acolheram por um longo período em Recife.

À Luzete, Bruno e Gedinilson, pelos cuidados com Luiza em nossas ausências.

Ao Prof. Dr. Júlio César de Souza, que desde o início se dispôs a ajudar, sempre prestativo e atencioso.

Ao Prof. Dr. Belarmino Barbosa Lira e sua família, por me receberem diversas vezes em sua casa, ter tido paciência e por compartilhar não apenas conhecimento, mas exemplos que levarei por toda vida.

A TODOS os Professores do Curso Técnico em Mineração e Geologia do IFRN, sem os quais não estaria aqui.

Ao Prof. Dr. Mário Tavares Oliveira Cavalcanti Neto pela amizade, orientação e por compartilhar comigo do entendimento da importância da qualidade do Geoprocessamento aplicado às Geociências.

À Prof. Dra. Kênia V. Correia pela amizade e sensibilidade de compreender nossas limitações durante o mestrado.

A todos os professores e funcionários do PPGEMinas.

Aos amigos Ricardo Pereira, Marcus Mass e especialmente a Leila que pegou em minha mão e abriu as portas do mundo do Geoprocessamento passando muito do seu conhecimento e sempre me incentivando a buscar mais.

A TODOS os colegas da EXP-GDS, especialmente aos amigos Reginaldo, Tânia, Ronald e Fábio pelo apoio e compreensão, e à Zocolotti, Nilton e Mário, por compartilharem seus conhecimentos técnicos colaborando com esta pesquisa.

MUITO OBRIGADO!

RESUMO

A fase inicial de um empreendimento mineiro demanda um forte investimento com retorno bastante incerto, pois é necessária a aquisição de dados para localizar, delimitar e estimar os volumes das reservas minerais de interesse. Visando reduzir estes custos e diminuir as incertezas características de uma fase em que se tem pouca informação, esta pesquisa propõe o uso de Open Source GIS, também conhecidos como Sistemas de Informações Geográficas de Código Aberto, combinado com a aquisição de dados geoespaciais gratuitos de fontes públicas e oficiais, para posterior processamento e refinamento de informações. Para a composição deste trabalho foi realizada aquisição de dados públicos disponíveis sobre a região dos corpos Pegmatitos da Fazenda Primavera, localizada na Província Pegmatítica da Borborema, no município de Tenório, Paraíba. Os dados foram utilizados para a produção e refinamento de informações como a delimitação e localização dos corpos, realização de estudos geomorfológicos, logísticos e estimação de volumes. Os processamentos das imagens e dados, além da confecção de mapas, e análises tridimensionais dos afloramentos foram executados em um único programa, o software livre Quantum GIS. Os produtos gerados permitiram concluir que é possível extrair e produzir informação de elevada qualidade a partir de dados disponíveis de forma gratuita, utilizando softwares oficiais, reduzindo os custos iniciais de um projeto de mineração, podendo continuar a ser utilizados nas fases posteriores, caso o empreendimento mineral se prove viável.

Palavras chave: SIG. Software Livre. Programas de Código Aberto. Geoprocessamento. Pegmatito. Mineração.

ABSTRACT

The initial phase of a mining project requires a strong investment with a very uncertain feedback because it is necessary the data acquisition to locate, define and estimate the volumes of mineral reserves of interest. In order to reduce these costs and reduce the characteristic uncertainties of a stage where there is little information, this research proposes the use of Open Source GIS (Geographic Information Systems), combined with the acquisition of free geospatial data from public and official sources for further processing and refinement of information. For the composition of this research it has been carried out the acquisition of public available information about the region of pegmatites bodies at the “Fazenda Primavera”, located at the Borborema Pegmatitic Province, Tenório county, Paraíba. The data have been used for the production and processing of information as the delimitation and location of pegmatites, realization of geomorphological and logistic studies, and estimation of volumes. The processing of the images and data besides maps making and three-dimensional analyzing of outcrops were executed in a single program, the free Quantum GIS software. The created products allowed the conclusion that it is possible to extract and produce high-quality information from free available data, using official software, reducing the initial costs of a mining project, which may continue to be used in later phases if the mineral project proves to be feasible.

Keywords: GIS. Free Software. Open Source Softwares. Geoprocessing. Pegmatite. Mining.

LISTA DE QUADROS

Quadro 1	Quadro comparativo entre os dois <i>softwares</i> SIG mais populares	28
Quadro 2	Descrição dos usos de cada banda do satélite Landsat-8	43
Quadro 3	Indicação de uso da combinação de bandas para o satélite Landsat-8	48

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1	Arquitetura do SIG	18
Figura 2	Principais Programas SIG – Linha do Tempo	22
Figura 3	Comparativo de Custos entre <i>Software</i> Proprietário e Livre	24
Figura 4	Lista de Complementos	27
Figura 5	Delimitação da Província Pegmatítica da Borborema em base geológica simplificada	32
Figura 6	Seleção da área de estudo para <i>download</i> de imagem	40
Figura 7	Seleção da fonte satelital da imagem – Landsat-8	41
Figura 8	Seleção da cena imageada pelo satélite Landsat-8	42
Figura 9	Opções de download da imagem no sítio do USGS	42
Figura 10	Combinações de bandas do satélite Landsat-8 em comparação com as equivalentes nos satélites Landsat-5 e Landsat-7	43
Figura 11	Seleção da fonte satelital da imagem - SRTM	44
Figura 12	Ferramenta <i>OpenLayers Plugin</i> disponibilizando imagens de alta resolução da biblioteca do Google®	44
Figura 13	Organização dos arquivos no <i>Windows®</i> Explorer	46
Figura 14	Complemento para reprojeção de arquivos	48
Figura 15	Imagem SRTM sem tratamento	49
Figura 16	Ferramenta para fusão de imagens	50
Figura 17	Caixa de diálogo do menu “Mosaico”	51
Figura 18	Figura 18 – Configuração para mistura de bandas – 4-3-2 (Coloração Natural)	51
Figura 19	Opções de camada - “Salvar Como...”	52
Figura 20	Caixa de diálogo do menu “Salvar camada”	53
Figura 21	Imagem Cor Natural 4-3-2 RGB gerada por fusão de bandas	54
Figura 22	Ferramenta “Sombreamento”	54
Figura 23	Caixa de diálogo do menu “Sombreamento”	55
Figura 24	Figura 24 – Relevo Sombreado	56
Figura 25	Ferramenta “MDE” – Modelo Digital de Elevação	56
Figura 26	Caixa de diálogo do menu “MDE - Declividade”	57
Figura 27	Declividade em percentagem	58
Figura 28	Ferramenta “Contorno...”	59
Figura 29	Caixa de diálogo do menu “Contorno”	59
Figura 30	Isolinhas com equidistância de 50 metros em estudo de relevo	60

Figura 31	Complemento “ <i>Profile Tool</i> ”	61
Figura 32	Perfil Topográfico	61
Figura 33	Caixa de diálogo “Preencher Depressões (Wang & Lu)”	62
Figura 34	Ferramenta de Processamento “ <i>Terrain Analisys – Hydrology</i> ”	63
Figura 35	Ferramenta de Processamento “ <i>Terrain Analisys – Channels</i> ”	63
Figura 36	Caixa de diálogo “Rede de Drenagens e <i>Bacias Hidrográficas</i> ”	64
Figura 37	Rede de Drenagens	65
Figura 38	Ferramenta de Processamento “Volume do <i>raster</i> ”	66
Figura 39	Caixa de diálogo “Volume do <i>raster</i> ”	66
Figura 40	Camada “Pegamtitos_FZP” indicando as cotas mínima e máxima	67
Figura 41	Caixa de diálogo “Volume do raster” exibindo relatório do processamento	67
Figura 42	Menu do complemento “Qgis2threejs”	68
Figura 43	Caixa de diálogo do complemento “Qgis2threejs” - menu “DEM”	69
Figura 44	Caixa de diálogo do complemento “Qgis2threejs” - menu “ <i>World</i> ”	69
Figura 45	Vista E-W em perfil de área de pegmatitos aflorantes	70
Figura 46	Simulação de Relevo 3D na área da Fazenda Primavera	70
Figura 47	Menu <i>Semi-Automatic Classification Plugin</i> – SCP	72
Figura 48	Painel “SCP – <i>ROI creation</i> ”	73
Figura 49	Painel “SCP – <i>Classification</i> ”	74
Figura 50	Gráfico de assinaturas espectrais	75
Figura 51	Relatório da Classificação Supervisionada – Área Fazenda Primavera	77
Figura 52	Menu “Compositor de impressão”	78
Figura 53	Ferramenta “Compositor de impressão”	79
Figura 54	Paleta “Itens	79
Figura 55	Paleta “Histórico de comandos”	80
Figura 56	Paleta “Composição”	80
Figura 57	Paleta “Propriedades do item”	81
Figura 58	Paleta “Geração de Atlas”	81
Figura 59	Categorização de feições	83
Figura 60	Travar camadas para o item do mapa	84
Figura 61	Mapa auxiliar do Mapa de Localização	84
Figura 62	Mapa de Localização	85
Figura 63	Mapa de Geológico	86
Figura 64	Paleta de cores para mapa hipsométrico	87
Figura 65	Representação hipsográfica 2D	88

Figura 66	Mapa Hipsométrico	88
Figura 67	Imagem Landsat-8 gerada por fusão das bandas 6-5-4	89
Figura 68	Imagem Landsat-8 gerada por fusão das bandas 7-5-3	90
Figura 69	Imagem Landsat-8 gerada por fusão das bandas 5-4-3	90
Figura 70	Imagem Landsat-8 gerada por fusão das bandas 6-5-2	91
Figura 71	Mapa Temático	92
Figura 72	Filtro de dados em “Ferramenta de Consulta”	93
Figura 73	Mapa de Estudo Logístico	94
Figura 74	Mapa de Cobertura do Solo	96
Figura 75	Vista em 3D da área em estudo	97
Figura 76	Vista panorâmica em 3D da área destacando os alvos	97
Figura 77	Vista em 3D da área destacando os alvos (<i>zoom</i>)	98

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
2	OBJETIVOS	15
2.1	OBJETIVO GERAL	15
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	15
3	FUNDAMENTACAO TEÓRICA	16
3.1	GEOPROCESSAMENTO	16
3.1.1	Sistema de Informação Geográfica (SIG)	17
3.2	SOFTWARE LIVRE	20
3.2.1	Banco de Dados Geográfico	25
3.2.2	Quantum GIS	26
3.2.3	Bancos de Dados Gratuitos	28
3.3	GEOLOGIA DOS PEGMATITOS	30
3.3.1	Província Pegmatítica da Borborema	31
3.3.2	Fazenda Primavera	35
4	METODOLOGIA DE TRABALHO E MATERIAIS UTILIZADOS	36
4.1	ESCOLHA DO SOFTWARE	36
4.1.1	OpenJUMP (<i>Java Unified Mapping Plataform</i>)	37
4.1.2	TerraView	37
4.1.3	GRASS (<i>Geographic Resources Analysis System</i>)	37
4.1.4	Quantum GIS (<i>Geographic Resources Analysis System</i>)	38
4.2	COMPILAÇÃO DE DADOS	39
4.2.1	Levantamento de dados <i>raster</i>	40
4.2.2	Levantamento de dados vetoriais	45
4.2.3	Organização dos dados	45
4.3	PROCESSAMENTO DE DADOS	47
4.3.1	Tratamento de imagens	48
4.3.1.1	<i>Fusão de Bandas – Landsat-8</i>	50
4.3.1.2	<i>Relevo Sombreado - SRTM</i>	54
4.3.1.3	<i>Declividade - SRTM</i>	56
4.3.2	4.2.1 Extração de dados a partir de <i>rasters</i>	58
4.3.2.1	<i>Curvas de isovalor - SRTM</i>	59
4.3.2.2	<i>Perfil Topográfico</i>	60
4.3.2.3	<i>Extração de hidrografia</i>	62

4.3.2.4	<i>Cálculo dos Volumes dos Corpos</i>	65
4.3.3	Manipulação de vetores	68
4.3.4	Geração de imagens em 3D	68
4.3.5	Classificação Supervisionada de Imagens	71
4.4	CONFECÇÃO DE MAPAS	77
5	RESULTADOS E DISCUSSAO	82
5.1	GERAÇÃO DE MAPAS	82
5.1.1	Mapa de Localização	83
5.1.2	Mapa Geológico	85
5.1.3	Mapa Hipsométrico	86
5.1.4	Mapa Temático	89
5.1.5	Mapa de Estudo Logístico	92
5.1.6	Mapa de Cobertura de Solo	94
5.2	IMAGENS 3D	96
5.3	CÁLCULO DE VOLUME DOS CORPOS ROCHOSOS	98
6	CONCLUSÃO	99
7	RECOMENDAÇÕES	101
	REFERÊNCIAS	103

1 INTRODUÇÃO

A fase inicial de um empreendimento mineiro é caracterizada pela compilação de informações geológicas, regionais e locais, disponíveis acerca do recurso mineral desejado, além de informações espaciais, de infraestrutura e do meio ambiente da região, de forma a auxiliar o reconhecimento de campo que irá ratificar as condições anteriormente observadas através de medições *in loco*, morfologia, dimensões das ocorrências, amostragens, caracterização e disposição da vegetação, e projeção das futuras estruturas de produção e escoamento. Nesta fase inicial deve-se localizar e estimar, de forma preliminar, os recursos minerais desejados, pois através destes dados serão realizadas as primeiras modelagens de reservas e, com posteriores quantificações de teores, serão projetadas a vida útil e o lucro que a mina pode gerar. Localizar possíveis recursos a serem utilizados, como água, além de dimensionar e estimar os impactos ambientais inerentes à pesquisa e extração mineral, também podem ser estudados nesta etapa.

No entanto, esta é uma fase de grande risco, pois geralmente são feitos investimentos volumosos em busca de dados que justifiquem a exploração futura e, em muitos casos, ao término da exploração inicial verifica-se a inviabilidade econômica do projeto, acarretando em prejuízo financeiro.

Conforme Carmo (2013), admite-se variações de até 30% na determinação dos valores estimados nesta fase, pois os dados geralmente são escassos, mas podem ser complementados à medida que a pesquisa mineral se prove viável e mais dados sejam adquiridos.

Um recurso bastante difundido nesta fase é a utilização de ferramentas computacionais para tratamento de dados geoespaciais obtidos em campo através de levantamentos *in loco* e principalmente com Sensoriamento Remoto, que demanda custos elevadíssimos. Os *softwares* utilizados geralmente são sistemas proprietários que precisam ser adquiridos junto a empresas por preços elevados (dezenas a centenas de milhares de dólares), e que muitas vezes necessitam complementos (*plugins*) ou combinação com outros *softwares* para realizar determinados serviços especializados que aumentam ainda mais os custos, e vale a pena mencionar que muitos deles sofrem constantes melhorias que pressionam os usuários a adquirirem novas versões de um mesmo programa em curto espaço de tempo.

As instituições governamentais federais, estaduais e municipais, com o passar dos anos, começaram a disponibilizar seus dados geoespaciais através de sítios na *internet* para facilitar a consulta e construção de mapas de acordo com as legislações vigentes, respeitando o meio-ambiente, localizando ruas, drenagens, áreas de proteção ambiental, imagens de satélite, recursos minerais, enfim, diversos recursos que facilitam o conhecimento e o trabalho de quem necessite, seja uma empresa, um órgão, ou um cidadão comum, a ter acesso a dados geoespaciais.

Neste estudo é abordada a eficácia da utilização de um único programa para realizar diversos trabalhos como: Processamento Digital de Imagens (PDI), Análise Geoestatística, Análise Espacial, Georreferenciamento, Gerenciar Banco de Dados Espaciais, Modelagem 3D, Cálculos de Área e Volume, dentre outros, e contém integração com programas que funcionam como aplicativos internos (*plugins*). Além disto, se discute a aquisição de dados geoespaciais vetoriais e *rasters* (matricial), em repositórios nacionais e internacionais de alta qualidade sem custo.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Propor uma metodologia de pesquisa mineral eficaz e de baixo custo nas fases iniciais de empreendimento mineiro.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar o mapeamento geológico básico dos pegmatitos da Fazenda Primavera;
- Executar o mapeamento planialtimétrico da área dos pegmatitos da Fazenda Primavera;
- Estimar o volume dos corpos pegmatíticos da Fazenda Primavera;
- Gerar modelos digitais de terreno;
- Gerar curvas de nível;
- Gerar imagem 3D da região estudada;
- Contribuir com o planejamento de algumas atividades que dão apoio à mineração, como logística e meio ambiente;
- Fazer uso de *software* livre;
- Utilizar apenas dados disponibilizados gratuitamente;
- Defender a legalidade digital utilizando *softwares* licenciados.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 GEOPROCESSAMENTO

Tecnologias como o Sensoriamento Remoto (SR), Sistema de Informações Geográficas (SIG), Sistema de Posicionamento Global (GPS – Global Positioning System), dentre outras, formam um conjunto denominado de Geotecnologias (FLORENZANO *et al*, 2011).

Até pouco tempo os dados coletados e utilizados na localização geográfica de recursos, propriedades, hidrologia, reservas ambientais etc., na indústria mineral, eram representados apenas em mapas impressos (papeis, documentos etc.). Por este motivo era impossível a combinação dos diversos dados destes levantamentos para uma análise complexa, rápida e eficaz. No entanto, em meados do século XX, o desenvolvimento computacional tornou possível o armazenamento e processamento destes dados que posteriormente foi denominado de geoprocessamento.

Segundo Câmara e Davis (2001), geoprocessamento é a área do conhecimento que utiliza técnicas matemáticas e computacionais para tratar as informações geográficas e que influenciam de maneira crescente diversas áreas do conhecimento. O Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) define geoprocessamento da seguinte forma:

O conjunto de tecnologias voltadas à coleta e tratamento de informações espaciais para um objetivo específico. As atividades envolvendo o geoprocessamento são executadas por sistemas específicos mais comumente chamados de Sistemas de Informação Geográfica (SIG). Sistema de geoprocessamento é o destinado ao processamento de dados referenciados geograficamente (ou georreferenciados), desde a sua coleta até geração de saídas na forma de mapas convencionais, relatórios, arquivos digitais, etc; devendo prever recursos para sua estocagem, manipulação e análise (INPE, 2015).

Segundo Alves (2011), a utilização do geoprocessamento é fundamental para que determinados dados de uma área sejam melhor interpretados, não se limitando apenas a um tema, mas para termos a compreensão do todo. Assim, o geoprocessamento auxilia o homem no seu dia-a-dia, na exploração de áreas desconhecidas. É empregado na literatura técnico-científica como um novo ramo do conhecimento, uma nova ciência, que tem expressão de abrangência

multidisciplinar, no qual o SIG é um componente importante deste conjunto (ALVES, 2011).

Desta forma, fica evidente que a utilização de geoprocessamento para uma melhor interpretação dos dados obtidos é fundamental desde o início de um empreendimento mineral, pois fazendo o cruzamento dos dados levantados de maneira rápida e eficiente podemos obter produtos robustos que subsidiarão todo o empreendimento.

3.1.1 Sistema de Informação Geográfica (SIG)

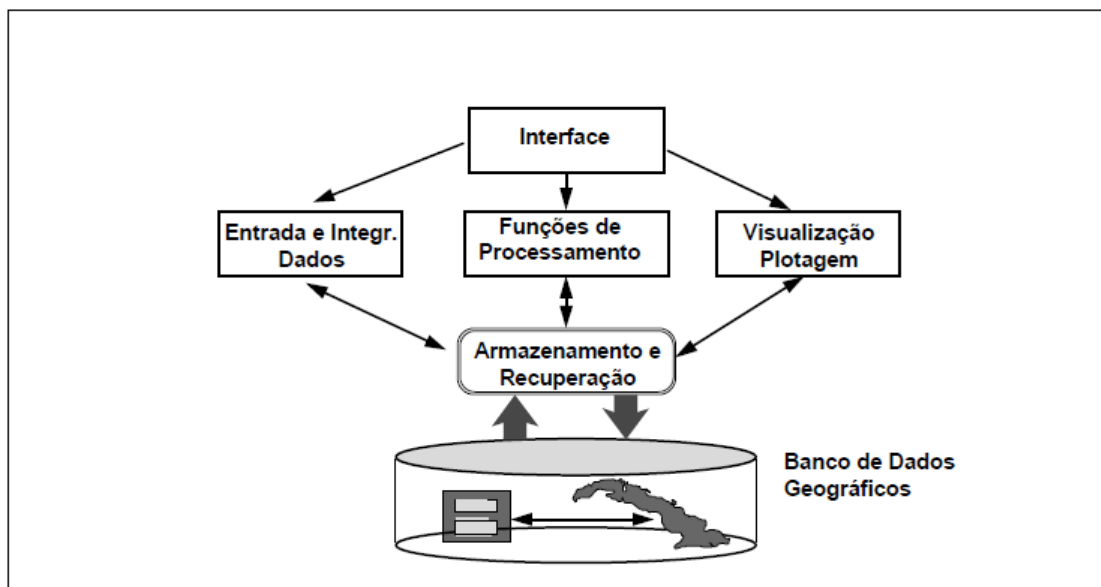
Segundo Florenzano *et al* (2011), SIG é um sistema computacional que possibilita diversas análises com informações das mais variadas espécies, para armazenar, integrar e também representá-las graficamente. É uma ferramenta poderosa, que permite integrar, analisar e espacializar informações locais, regionais e globais, podendo ter uma aplicação diversificada incluindo o uso na mineração desde suas fases iniciais, até o final de todo seu ciclo (LIMA *et al*, 2009; MORAES *et al*, 2009; FLORENZANO, 2007; KIRMAN, 2000 *apud* FLORENZANO *et al*, 2011). Possibilita ainda o gerenciamento de dados aliado a um referencial espacial, onde a qualidade dos atributos armazenados em seu banco de dados é fundamental para um correto funcionamento (NODARI *et al*, 2006 *apud* VALIN, 2009).

SIG são, portanto, eficazes na solução de problemas, servindo de suporte para o planejamento e tomada de decisão (NOÉ *et al.*, 2014). Para Valin (2009):

Conclui-se que a principal funcionalidade dos SIG é a geração de informação por meio dos dados geográficos inseridos no banco de dados, permitindo ao operador ou usuário a possibilidade de relacionar os dados existentes através da posição geográfica dos objetos, com intuito de gerar uma nova informação. Do ponto de vista da aplicação, o uso dos SIG implica na escolha das representações computacionais mais adequadas para capturar a semântica de seu domínio. Do ponto de vista da tecnologia, desenvolver um SIG significa oferecer o conjunto mais amplo possível de estruturas de dados e algoritmos capazes de representar grande diversidade de concepções do espaço (VALIN, 2009, p. 44).

Segundo Câmara *et al* (1996), um SIG é composto pela interface com usuário, entrada e integração de dados, funções de processamento gráfico e de imagens, visualização e plotagem, e armazenamento e recuperação de dados organizados em um banco de dados geográfico (Figura 1).

Figura 1 – Arquitetura do SIG.



Fonte: Câmara *et al.* (1996).

A interface com o usuário é a maneira que o operador irá trabalhar no computador, ou seja, o sistema de *hardware/software* e periféricos que serão utilizados para manipular os dados desejados.

A entrada dos dados é realizada de diversas formas. Podemos destacar a inserção de coordenadas na forma escrita, digitalização de dados, inserir dados já em formatos digitais, como áreas mapeadas com aparelho receptor GPS, linhas, etc.

Estes dados devem ser confiáveis, pois qualquer erro na entrada destes pode levar o programa a realizar operações equivocadas (MENEZES, 2012). Um dos erros mais comuns é a aquisição de dados em um sistema de coordenadas diferente do que está sendo utilizado para o processamento pelo SIG, e não fazer a devida conversão para o uso, causando uma distorção na localização dos objetos.

Nos últimos anos as ferramentas SIG têm se tornado cada vez mais completas, realizando análises que até pouco tempo necessitavam de vários *softwares* diferentes, já que são utilizados *plugins* que acrescentam funções a estes programas, como para o tratamento de imagens, possibilitando assim um trabalho mais robusto, sem a necessidade de utilização de diversas licenças.

A capacidade de cálculo dos computadores atuais permite que o tratamento dos dados obtidos em campo, ou através de Sensoriamento Remoto, seja realizado em grande volume, acelerando e facilitando a tomada de decisão, o planejamento, e

eliminando dúvidas que possam surgir devido à complexidade do cruzamento das informações.

A principal vantagem ao utilizar um SIG é poder cruzar uma gama de dados variados para se obter um produto bem elaborado. Gerar um Mapa Temático a partir de dados de diversos outros mapas é algo bastante comum e onde esta ferramenta demonstra todo seu potencial ao se trabalhar com informações geográficas.

As funções de processamento gráfico e de imagem dependem tanto dos programas a serem utilizados quanto dos resultados desejados pelo usuário, que deverá ter atenção para selecionar os programas corretamente. Trabalhos comuns realizados nesta etapa são os Modelos Digitais de Terreno – MDT, Modelos Digitais de Superfície – MDS, ortorretificação de imagens, cálculo de medidas, dentre outros (MENEZES, 2012).

A visualização e plotagem dependem diretamente do programa utilizado e também da necessidade do usuário. Podem ser geradas visualizações em 3D, escolha da área de plotagem, inserção de legendas, grids de coordenadas etc. O armazenamento e a facilidade na recuperação dos dados são fundamentais para que os dados trabalhados sejam preservados com segurança, com regras para evitar alterações que possam corromper ou mudar características de arquivos.

Dados bem organizados em um banco, com um servidor eficiente e seguro, facilitam a utilização em novos mapas ou produtos cartográficos que são constantemente gerados. São algumas funcionalidades usualmente trabalhadas no sistema SIG (NOÉ *et al*, 2014):

- Edição (capacidade de produzir novas informações a partir da geoinformação existente);
- Seleção, Busca e Consulta (de dados, de forma simples ou complexa, cruzando informações existentes no banco de dados espacial);
- Análise de Proximidade (determinação de distâncias e áreas de influência entre elementos geográficos);
- Integração por Superposição (coincidência espacial entre diferentes elementos gráficos que permitem a correlação de diferentes variáveis);
- Localização (posição espacial de determinados objetos);

- Determinação de Áreas (determinação de áreas afetadas por determinados padrões e critérios, cálculos de áreas, perímetros e volumes);
- Detecção e Mapeamento de Mudanças (mapear mudanças em determinado local ao longo do tempo, previsão de inundações, antecipar tendências e necessidades futuras);
- Densidade e Concentração (determinar áreas com alta concentração ou densidade de qualquer variável desejada).

3.2 SOFTWARE LIVRE - (SL)

A busca por soluções na área de geotecnologias indica as ferramentas SIG como excelentes programas para gestão e disponibilização de dados espaciais, o que tem levado a investimentos cada vez maiores na área de tecnologia da informação, sejam com *softwares*, desenvolvedores, programadores ou *hardwares* robustos para o processamento de informações com qualidade cada vez maior, o que exige uma grande quantidade de cálculos, aumentando os custos deste processo. Aliado a isto, quando as versões são atualizadas, com o passar o tempo, as empresas proprietárias deixam de dar a assistência, forçando os usuários a adquirirem versões mais atuais.

Para Uchôa e Ferreira (2004) o elevado custo com licenças proprietárias para a montagem de uma estrutura integrada tem inviabilizado inúmeros projetos no setor público e privado. O setor público e as empresas de pequeno porte são as mais afetadas neste sentido.

Segundo a *Free Software Foundation* (apud UCHÔA e FERREIRA, 2004), a licença para o *software* poder ser classificado como livre deve respeitar os seguintes aspectos:

- Liberdade de executar o programa qualquer que seja o propósito;
- Ter acesso ao código fonte para ter a liberdade de estudar o funcionamento do programa e adaptá-lo de acordo com suas necessidades;
- Liberdade para redistribuir cópias garantindo ajuda ao próximo;
- Liberdade de aperfeiçoar e liberar as melhorias no programa para benefício de toda a comunidade.

Segundo Andrade (2011), os SIG livres têm crescido bastante não apenas pela demanda de programas alternativos, mas também pela inexistência de concorrência entre eles, já que a colaboração, que está na essência dos *softwares* livres, permite experimentar soluções contextualizadas e parcerias em busca de uma mesma solução com o objetivo de aperfeiçoamento e não uma concorrência desmedida e certas vezes desleal, como se vê em *softwares* proprietários.

Ainda de acordo com Andrade (2011), diversos projetos e bibliotecas que originalmente foram desenvolvidos separadamente passam a compor mais de um aplicativo (como o utilizado neste trabalho), permitindo que um *software* auxilie no crescimento de outro *software*, mas também para que outros surjam.

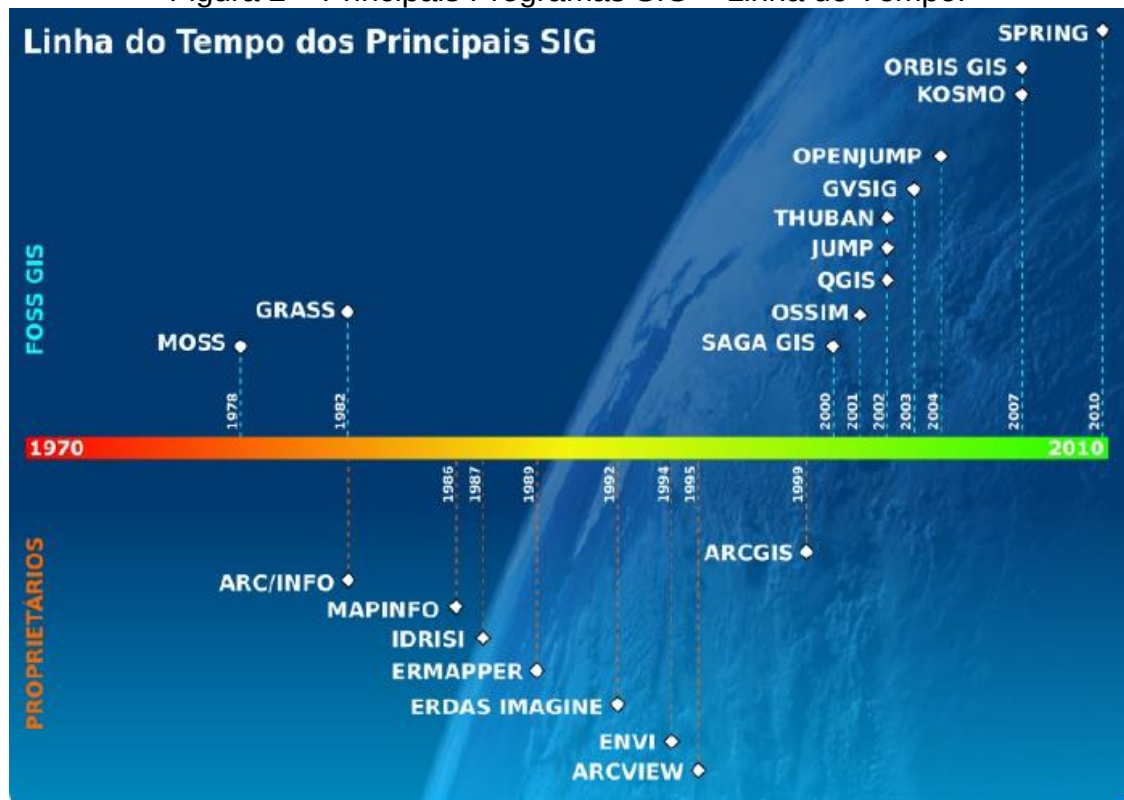
O ramo de geotecnologia foi dominado por sistemas proprietários durante um longo período de tempo, no entanto se engana quem acha que os SIG livres datam de um período recente. Em 1978 foi lançado um programa chamado MOSS (Map Overlay and Statistical System) e é encarado como o marco dos programas de geoprocessamento de código aberto, servindo de inspiração para o desenvolvimento do GRASS (Geographic Resources Analysis Support System), lançado em 1982 e disponível até os dias de hoje, disponibilizado também com código aberto.

Por aproximadamente duas décadas os SIG livres estiveram em estado de hibernação e foi exatamente neste período que os *softwares* proprietários se desenvolveram e ocuparam todo o mercado (ANDRADE, 2011). No início deste período vários programas proprietários surgiram, mas com o passar dos anos apenas os mais eficientes conquistaram os usuários, e no início do terceiro milênio apenas dois ou três *softwares* dominavam praticamente todo mercado.

Ao longo da primeira década século XXI surgiram aproximadamente dez SIG livres, se reinserindo no espaço deixado ao longo do tempo, e aos poucos conquistando usuários que enxergaram neles uma forma barata, além da liberdade para desenvolverem seus trabalhos. Isto gerou uma espécie de revolução do mercado de SIG, capitaneada principalmente por universidades, órgãos governamentais, programadores e agências de fomento. Merece destaque o SAGA GIS que surgiu em 2000 e alavancou todo este processo.

Esta popularização recente (figura 2) é sustentada também por dois movimentos para os Sistemas de Informação Geográfica. A criação do consórcio internacional *Open Geospatial Consortium* (OGC) e a revolução do *software* livre *Free Software Foundation*.

Figura 2 – Principais Programas SIG – Linha do Tempo.



Fonte: FOSSGIS Brasil (2011).

A OGC definiu padrões entre os programas que visam a interoperabilidade de ambientes ligados a geotecnologia, ou seja, sistemas livres e proprietários podem ser integrados e se relacionarem de forma transparente. Isto fez com que diversos projetos fossem desenvolvidos a partir do espírito colaborador da comunidade SIG mundial (UCHÔA e FERREIRA, 2004). Mais de quatrocentos membros, dentre eles fornecedores de geotecnologia, agências governamentais e universidades, participam do desenvolvimento da OGC, realizando testes e documentando um conjunto de padrões de código aberto, protocolos e serviços que dão suporte à interoperabilidade dos SIG (BEST *et al*, 2007; REED, 2011 *apud* BAUER, 2012). Os sistemas proprietários se mostram limitados à medida que apenas um grupo restrito de pessoas tem acesso ao seu código fonte; isto faz com que as melhorias e soluções demorem a ser implantadas, e somente quando for de interesse da companhia desenvolvedora, além de a comunicação (feedback) entre as empresas e os consumidores geralmente ser deficitária.

Valin (2009) define que:

O conceito de SL está associado a um grande movimento social, onde a ideia de liberdade do uso do software é pregada como solução ao problema gerado pela limitação do conhecimento tecnológico imposta pelos sistemas (VALIN, 2009, p. 50).

De acordo com Alves (2011), a adoção de SL é uma alternativa à pirataria, já que em seu conceito a distribuição e cópia são permitidas, além de possuírem as mesmas funcionalidades que seus concorrentes proprietários. São multiplataforma, pois rodam diversos sistemas operacionais, e recentemente atualizações permitem que produzam soluções para smartphones.

Para Uchôa e Ferreira (2004), os SIG livres têm diversos fatores técnicos que lhe dão vantagem sobre os sistemas proprietários, destacando o elevado grau de integração de um ambiente livre nas especificações OpenGIS® OGC, que permite a interoperabilidade de *softwares*, sendo esta até mais importante do que a economia promovida pelas licenças livres.

Deve-se ter em mente que não existem *softwares* SIG perfeitos, sempre surgem novas dificuldades de processamento, ou ideias que exigem o desenvolvimento de algum recurso ou ferramenta, seja a licença livre ou proprietária. A escolha por um programa deve-se fundamentalmente às necessidades do trabalho a ser desenvolvido, da familiaridade que o usuário tem com o *software*, dos custos envolvidos, além de uma gama de outros fatores.

Andrade (2011) previa que o que determinaria a sobrevivência dos *Free and Open Source Software Geographic Information System* - FOSS GIS (SIG livre) seria a capacidade de organização e gerenciamento através de comunidades, grau de usabilidade, interface, leitura e escrita em diferentes formatos, e podemos verificar hoje que estes preceitos amadurecem a cada dia com a multiplicidade de *blogs*, desenvolvedores, e colaboração entre usuários e instituições no mundo inteiro.

Outro fator destacado por Andrade (2011) foi a escolha do padrão de arquivos utilizado desde o início pelos *softwares* livres, o *Shapefile*. Ele foi desenvolvido pela ESRI®, empresa que desenvolve diversos produtos proprietários, dentre eles o popular ArcGIS®, mas a empresa decidiu mudar a licença do *Shapefile* para *Open Source* (licença de código aberto), o que permite que seja usada de forma mais democrática.

Diante de tantos benefícios técnicos elencados acima, chegou o momento de destacar uma vantagem bastante importante: o custo, que influencia empresas de pequeno porte, onde está inserido este estudo. Um Sistema de Informação Geográfica necessita basicamente de quatro elementos: *Hardware* (estrutura de servidores, computadores para a operação de programas e manipulação dos dados, periféricos, redes etc.), *Softwares* (programas para manipulação dos dados, gerenciadores de banco de dados, *plugins* etc.), *Peopleware* (basicamente a mão de obra, técnicos capacitados para intervir em todo processo) e *Dataware* (dados que serão processados e utilizados no SIG).

Os custos com *Hardware* são equivalentes para ambas as soluções (livre e proprietária), pois as estruturas tanto para uma quanto para outra são bastante semelhantes. Em relação ao *Software* fica mais nítida a diferença, pois os SIG Livres são gratuitos e as licenças proprietárias são onerosas. Em relação ao *Peopleware* fica evidente que é o fator que menos custa nesta composição, e a capacitação certificada da mão de obra é 30% mais barata para os *softwares* livres em relação aos proprietários (ANDRADE, 2011). Podemos verificar estes dados na figura 3.

Figura 3 – Comparativo de Custos entre *Software* Proprietário e Livre

Solução	Hardware	Software	Peopleware
Proprietária	\$\$\$	\$\$\$\$\$	\$\$\$
Livre	\$\$\$	-	\$

Fonte: FOSSGISS Brasil (2011).

A perspectiva para os SIG livres é extremamente otimista e isto se justifica se analisarmos os seguintes pontos adaptados de Andrade (2011):

- A interoperabilidade dos programas tem se mostrado muito eficiente, expandindo as opções e recursos utilizados;
- Os programas têm tido atualizações constantes, melhorias de interface, ficando mais funcionais e amigáveis;
- A comunidade tem desenvolvido constantemente ferramentas trazendo novos recursos com melhoria contínua dos *softwares*;
- A União Europeia fomenta cada vez mais o desenvolvimento destes programas e isto fez florescer ao redor do mundo políticas públicas para aumentar a comunidade de desenvolvedores;

- A academia tem tido um papel fundamental no desenvolvimento e divulgação destas soluções;
- O nível de segurança;
- O fim de mudanças obrigatórias de *softwares* devido à descontinuidade de suporte a versões, praticado constantemente por modelos proprietários.

O *software* escolhido para ser utilizado neste estudo foi o Quantum GIS, popularmente conhecido como QGIS. Ele é um SIG que evoluiu muito nos últimos anos e sua interoperabilidade merece destaque frente a outros programas, inclusive proprietários, permitindo que diversos *softwares*, que atuam isolados, funcionem como aplicativos internos (como o *software* GRASS entre vários outros) que contribuem como uma poderosa ferramenta permitindo concentrar apenas no QGIS as atividades desenvolvidas.

3.2.1 Banco de Dados Geográfico

As informações geradas pelos usuários precisam ser armazenadas para que possam, sempre que preciso, serem consultadas e utilizadas. E, exatamente por esta demanda, faz-se necessário a criação de um local onde diversos usuários possam acessá-las com facilidade e rapidez para montarem seus projetos, e modificá-las quando for conveniente. Para isto existem os Sistemas Gerenciadores de Banco de Dados (SGBD).

O crescente uso de SIG por empresas e setor público fez com que fossem desenvolvidos gerenciadores de dados geográficos. Estes armazenam tanto a geometria quanto os atributos dos objetos em um SGBD.

Existem duas grandes vantagens nestes sistemas: a primeira é evitar problemas de integridade, comum em ambientes *desktop*, permitindo acesso simultâneo aos dados; e a segunda é a facilidade da integração com as bases já existentes nas empresas. (VALIN, 2009). Para Casanova *et al* (2005 *apud* VALIN 2009), um SGBD possui três importantes requisitos:

- Eficiência – modificação e acesso em grandes volumes de dados;
- Integridade – controle de acesso por múltiplos usuários;
- Persistência – manutenção do dado por longo período de tempo não dependendo dos aplicativos que os acessam.

Existem basicamente três enfoques no armazenamento de informações em um banco de dados. O modelo relacional, que consiste em uma coleção de tabelas de valores organizadas em linhas e colunas, é um dos mais utilizados no armazenamento de informações em SGBDs. No entanto existem sistemas que utilizam o modelo relacional juntamente com o modelo operacional orientado ao objeto (BASTOS, 2005).

Os bancos de dados geográficos ou geoespaciais são sistemas de gerenciamento próprios para armazenamento e manipulação de representações geométricas (ponto, linha e polígono) referenciados geograficamente. São uma especialidade dos bancos de dados espaciais (que manipulam dados geométricos) em aplicações de geoprocessamento (SILBERSCHATZ *et al*, 1999 *apud* BASTOS, 2005).

O PostgreSQL foi o primeiro SGDB de código aberto com um módulo específico para dados geográficos vetoriais. Este módulo, denominado PostGis, segue as especificações da OGC. Também é possível desenvolver aplicações livres para SIG utilizando o MySQL.

Estas são algumas soluções em *softwares* livres para banco de dados geoespaciais (UCHÔA e FERREIRA, 2004). Por isto é possível ter uma estrutura completa e poderosa dentro de uma empresa consolidada apenas com licenças livres.

3.2.2 Quantum GIS

O Quantum GIS, popularmente conhecido como QGIS, foi oficialmente lançado em maio de 2002 como um simples visualizador de dados geográficos e ao longo dos anos tornou-se um programa de SIG *desktop* completo com uma vasta gama de funcionalidades, tendo como principais a integração com o GRASS, criação de *layouts*, ferramentas de digitalização e de análises espaciais, *rasters*, redes etc. (VALIN, 2009).

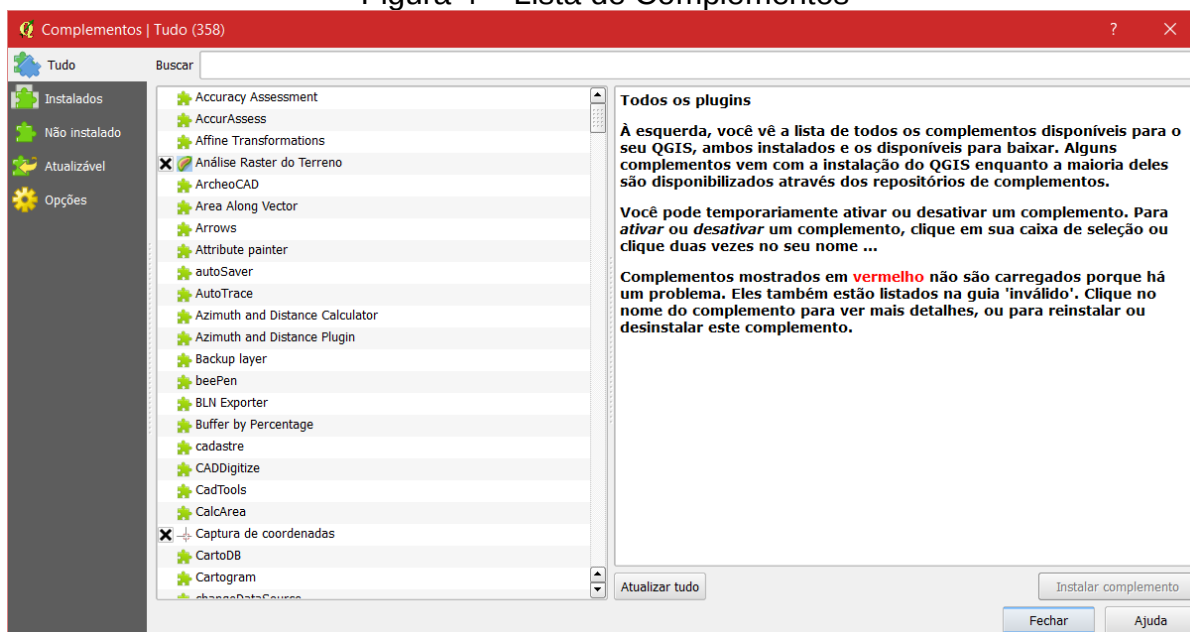
O QGIS, como qualquer *software* aberto, segue a filosofia de aproveitar as ferramentas que já estão disponíveis, e não trabalhar na recriação da mesma ferramenta, e o melhor exemplo desta filosofia foi a integração com um dos mais potentes programas de análise SIG, o GRASS.

Para isto foi desenvolvida uma extensão que permite a utilização das ferramentas do GRASS dentro do ambiente do Quantum GIS sem precisar acessar a interface do GRASS.

O QGIS também utiliza suas ferramentas de análise e geoprocessamento de *softwares* e bibliotecas já disponíveis, como o GEOS, GDAL/ORG. Existem também extensões desenvolvidas por terceiros como a SDA4PP (Spatial Data Analysis for Point Patterns) ou o ManageR que permitem integrar ao QGIS o excelente *software* de estatística R6 (MANGHI *et al*, 2012).

No próprio programa pode-se verificar na última versão (QGIS 2.12.1 – Lyon, em Complementos) a existência de 358 complementos (Figura 4) que podem ser baixados pelo usuário, além de alguns previamente instalados, como o GRASS.

Figura 4 – Lista de Complementos



Fonte: Software QGIS 2.12.1 - Lyon (2015).

O usuário também pode acessar o sítio na *internet* e baixar estes mesmos *plugins*, além de outros que não foram carregados nos repositórios que o *software* acessa automaticamente. Atualmente o repositório do sítio conta com 578 *plugins* (QGIS PYTHON PLUGINS REPOSITORY, 2015).

O programa foi desenvolvido na linguagem C++, usando a biblioteca Qt para interface gráfica com o usuário. Permite tanto a execução de complementos desenvolvidos em C++ quanto em Python (NOÉ *et al.*, 2014).

O Quantum GIS tem um tamanho pequeno se comparado aos SIG comerciais, exigindo um menor poder de processamento, reduzindo, não significativamente, o custo com *hardware*. O aplicativo é utilizado mundo afora em ambientes acadêmicos e profissionais, está disponível em 31 línguas e seus desenvolvedores voluntários lançam atualizações e correções periodicamente (ALVES, 2011).

O Quadro 1 exibe a comparação em 10 quesitos entre os dois principais programas disponíveis. O primeiro, livre, e o segundo, proprietário.

Quadro 01 – Quadro comparativo entre os dois *softwares* SIG mais populares.

	QGIS	ArcGIS
Custos	SIG Livre (sem custos)	Software Proprietário (com custos)
Licenciamento	Livre e de Código Aberto com acesso a todas as Ferramentas	Restrito a usuários que comprem as licenças das diversas versões
Desenvolvimento (Software)	Núcleo de Desenvolvedores e Voluntários	Grupo restrito de funcionários da ESRI
Plataforma (Desktop)	Multiplataforma (Mac, LINUX, Windows)	Apenas para o Sistema Operacional Windows
Inicialização	Rápida	Um pouco mais lenta
Extensões	Vasta gama de <i>plugins</i>	Vasta gama de <i>plugins</i>
Suporte	Listas de Discussão, Fórum, Sítio QGIS	Fórum, Sítio, Suporte Técnico (pago)
Adoção	Crescente, mas utilizada principalmente em meios públicos e acadêmicos	Líder mundial, dominante em agência governamentais e privadas
Análise Espacial	Excelente gama de ferramentas	Excelente gama de ferramentas
Mapas	Completo, porém, pouco intuitivo	Completo e bastante intuitivo

Fonte: Medeiros (2013), adaptado.

3.2.3 Bancos de Dados Gratuitos

A coleta de dados geoespaciais da área a ser estudada é uma das fases mais dispendiosas financeiramente de um empreendimento mineiro, pois envolve o aluguel e compra de equipamentos, além de dados já adquiridos por empresas do ramo com preços bastante altos. Também deverá ser pensado nos custos de uma equipe que será enviada ao local para coletar os primeiros dados de campo, e quanto

maior o período de coleta, maior o custo com diárias, combustível, aluguel de veículos etc.

Para constituição de um Banco de Dados devemos iniciar com a pesquisa bibliográfica de todas as informações disponíveis sobre a geologia da região e da substância mineral alvo da prospecção. Utiliza-se geralmente fotografias aéreas, imagens de satélite, dados do Serviço Geológico do Brasil (CPRM), do Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM), relatórios de pesquisa da região, artigos publicados, dissertações e teses, além de mapas geológicos e de localização disponíveis (MATTA, 2003).

A função primordial do processamento digital de imagens de sensoriamento remoto é a de fornecer ferramentas para facilitar a identificação e a extração da informação contidas nas imagens, para posterior interpretação.

Nesse sentido, sistemas dedicados de computação são utilizados para atividades interativas de análise e manipulação das imagens brutas. O resultado desse processo é a produção de outras imagens, estas já contendo informações específicas, extraídas e realçadas a partir das imagens brutas.

Matta (2003) nos traz, em seu estudo sobre rochas ornamentais, que as imagens de radar e fotografias aéreas são bons instrumentos para a definição dos principais domínios litológicos presentes, destacando áreas de maciços rochosos, de ocorrências isotrópicas, de intrusões graníticas, existência de zona de matacões, e o índice de faturamento predominante, formas de relevo, falhas, e áreas desnudadas. Juntamente com mapas geológicos e geomorfológicos pode-se definir os melhores lugares e as prováveis rochas que lá existam.

Existem dezenas de sítios brasileiros que disponibilizam de forma gratuita dados *raster*, vetoriais e tabulares. A Universidade Federal Fluminense disponibiliza um trabalho onde se encontram os principais sítios do Brasil e do mundo com dados geoespaciais denominado GeoLISTA (CARVALHO & DI MAIO, 2011). Alguns dos bancos de dados que utilizamos para este trabalho se encontram nesta lista.

O sítio do Serviço Geológico Americano – USGS disponibiliza de forma gratuita diversos dados, inclusive imagens de vários satélites. No sítio do INPE também estão disponíveis várias imagens já corrigidas, de diversos satélites, inclusive do projeto sino-brasileiro CBERS. Outro sítio que utilizamos no trabalho foi do Serviço Geológico Brasileiro – CPRM, que disponibiliza inúmeros dados geológicos, hidrológicos, rodoviários etc., através do GEOBANK® que é um banco de dados em

formato webmap, onde podemos visualizar e baixar em diversos formatos os dados de interesse.

Além de mapas prontos (GEOBANK® do CPRM), existem publicações e relatórios que auxiliam no estudo da área. Existem diversos sítios que contém informações que podem abastecer um banco próprio com conteúdos oficiais e íntegros.

Os mesmos demonstram claramente o que pode ser obtido já no início da pesquisa mineral. São variados os dados disponíveis, e em muitos casos de forma gratuita, minimizando os custos e principalmente fornecendo subsídios para avaliação da viabilidade das próximas etapas do projeto de mineração.

Caso seja aprovado o início da segunda etapa, a avaliação do depósito, reconhecimento no campo, etc., que podem ratificar e complementar as condições observadas na etapa inicial, estes dados ainda serão somados para verificar a viabilidade econômica do projeto.

3.3 GEOLOGIA DOS PEGMATITOS

Pegmatitos são rochas ígneas caracterizadas essencialmente por sua granulação grosseira ou variável de sua borda em direção ao núcleo, e pela abundância de cristais com hábito esquelético, gráfico ou unidirecional. Sua composição é majoritariamente granítica, entretanto elementos como lítio, berílio, boro, flúor, fósforo, estanho, tântalo, nióbio e terras raras podem estar presentes em importantes assembleias minerais. Os minerais presentes em pegmatitos normalmente aparecem segregados em zonas monominerálicas semelhantes a veios e segregações hidrotermais, se consideradas individualmente (LONDON, 2008 *apud* DIAS, 2012).

Vidal e Nogueira Neto (2005) sustentam que o termo “pegmatito” é usado para a identificação de corpos rochosos, mas dependendo de sua composição mineralógica podem ser chamados de pegmatito granítico, onde sua composição é a mesma do granito (quartzo, mica e feldspatos) e pegmatito granodiorítico, se em sua composição houver uma maior presença de plagioclásio do que feldspato alcalino.

A definição para a formação dos pegmatitos segundo Cavalcanti Neto e Rocha da Rocha (2010) é:

A formação dos pegmatitos se dá na fase final de resfriamento do magma, através da percolação de soluções ricas em sílica, água e, ocasionalmente, em alguns íons que não entraram na estrutura cristalina dos minerais até então formados. A partir destas soluções hidrotermais são gerados os pegmatitos, constituídos principalmente por quartzo e feldspato potássico. No entanto, em alguns casos, estas soluções hidrotermais podem estar enriquecidas por elementos químicos de importância econômica fazendo com que os pegmatitos sejam mineralizados a tungstênio, uraninita, estanho, turmalina, topázio, etc. (CAVALCANTI NETO E ROCHA DA ROCHA, 2010, p. 37).

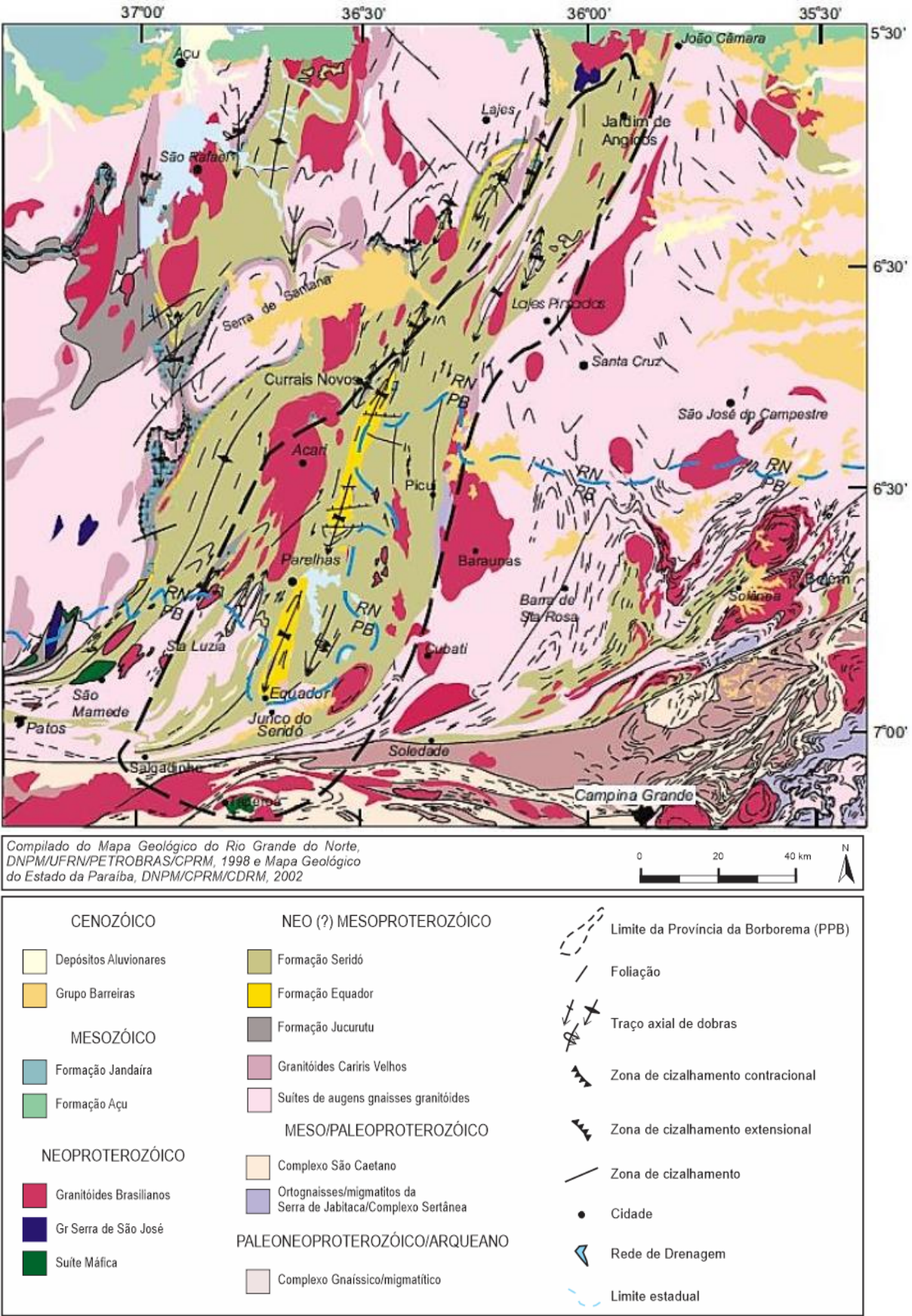
3.3.1 Província Pegmatítica da Borborema

A área de estudo está situada na Província Estrutural da Borborema (ALMEIDA *et al*, 1977), que possui uma área de aproximadamente 450.000 km², limitando-se a oeste pelos sedimentos Farenosóicos da Bacia do Parnaíba, a norte e leste por bacias Fanerozóicas costeiras (Bacias Potiguar e Pernambuco-Paraíba) e ao sul e noroeste pelos crátons do São Francisco e São Luiz respectivamente.

A porção brasileira da Província Borborema é constituída por terrenos gnássicos-migmatíticos-graníticos, rochas metavulcanossedimentares e metassedimentares supracrustais, intrudidas por granitóides diversos, compartimentados em Maciços Medianos e Faixas Móveis, conjuntos esses de idades que variam do Arqueano ao Neoproterozoico (BRITO NEVES *et al*, 2000). Neste contexto, compreendendo parte dos estados do Rio Grande do Norte e Paraíba está inserida a Província Pegmatítica da Borborema – PPB, limitada aproximadamente pelas coordenadas geográficas 5°30'S e 7°15'S de latitude e 35°45'W e 37°15'W de longitude (figura 5), sobrepondo a parte oriental da Faixa de Dobramentos Seridó, ou simplesmente denominada de Faixa Seridó (ALMEIDA *et al*, 1977), hospedeira dos pegmatitos objeto deste trabalho.

A Faixa Seridó está localizada no extremo NE da Província Borborema, limitada ao oeste e Sul, respectivamente, pelas zonas de cisalhamento Portalegre e Patos (lineamento Patos), e a Norte e Este por sedimentos relacionados a bacias Fanerozóicas de margem continental (JARDIM DE SÁ, 1994).

Figura 5 – Delimitação da Província Pegmatítica da Borborema em base geológica simplificada.



Fonte: SOARES (2004, p. 49), adaptado.

Um ponto importante a se destacar da Faixa Seridó é o seu *trend* N-NE, este direcionamento, para Soares (2004), se deve às zonas de cisalhamento transcorrentes e ao volumoso magmatismo granítico, representado pela ocorrência de batólitos, como por exemplo os maciços Acari e São Rafael.

As rochas supracrustais da Faixa Seridó, conhecidas como Grupo Seridó, são compostas por metassedimentos e metavulcânicas metamorfasados nos fácies xisto verde e anfibolito, repousando em discordância em um embasamento gnaíssico-migmatítico designado Complexo Caicó (JARDIM DE SÁ, 1984 e 1994), sendo intrudido por corpos granitoides, tanto em número, quanto em volume (SOARES, 2004).

Segundo Silva (2009), o Complexo Caicó é caracterizado essencialmente por migmatitos, metassedimentos, ortognaisses tonalíticos e granodioríticos, e graníticos de textura equigranular. As rochas supracrustais do Grupo Seridó são divididas estratigraficamente de acordo com vários autores, da base para o topo, nas Formações Jucurutu, Equador e Seridó.

A Formação Jucurutu é constituída por paragneisses quartzo feldspáticos com baixa muscovita, biotita e epidoto. Possui abundantes intercalações de mármore, bitotita gnaisses, hornblenda gnaisses, biotita xistos, rochas calciossilicáticas, muscovita quartzitos e metavulcânicas (FERREIRA e SANTOS, 1998, *apud* Soares 2004).

A Formação Equador reúne muscovita-quartzitos de coloração branca, foliação bem desenvolvida, granulometria fina a média e textura equigranular, com fácies arcoseanas e metaconglomeráticas (SOARES, 2004). Os metaconglomerados são polimíticos com seixos de quartzo, gnaisse, granito e pegmatito (FERREIRA e SANTOS, 1998, *apud* Soares 2004). Aproximadamente 11% dos pegmatitos da PPB estão encaixados nesta unidade estratigráfica (DA SILVA E DANTAS 1984 e DA SILVA, 1993).

A Formação Seridó é caracterizada por uma sequência pelítica, tendo a granada-biotita como sua litologia dominante, com variações para psamítica (intercalações de muscovita-quartzitos na sequência pelítica) e carbonática (calciossilicáticas intercaladas nos granada-biotita xisto e calcários cristalinos), segundo Ferreira e Santos (1998 *apud* Soares 2004). Estão contidos nesta Formação cerca de 80% dos corpos pegmatíticos mineralizados da PPB, incluindo nestes, os que serão estudados neste trabalho, sendo produtores principais de tantalita-

columbita, berilo, cassiterita, minerais de urânio e gemas, como turmalinas, granada, água marinha, heliodoro e minerais industriais como o feldspato, caulim, mica e quartzo (SOARES, 2004).

Segundo Luz *et al* (2002), citando Moraes (1924) e Da Silva e Dantas (1984), os primórdios da mineração de pegmatitos na PPB ocorreram na época da I Guerra Mundial, com o objetivo de produzir mica, e a partir da segunda metade da década de 1930 passou-se também para a busca de minerais de tântalo e nióbio, desencadeando o aumento da lavra de pegmatitos, que atingiu seu nível máximo durante a II Guerra Mundial.

A qualidade e os rumos da produção mineral da região na época foram avaliados por Luz *et al* (2002) da seguinte forma:

Em razão das demandas do esforço de guerra, a prioridade era produzir a qualquer custo, induzindo na região uma cultura de lavra ambiciosa e predatória, em muito facilitada pelo grande número de pegmatitos aflorantes na Província, o que perdura até hoje. Após a guerra, o aproveitamento de minerais de pegmatitos tornou-se uma atividade sazonal, comandada, seja pela busca de meios de sobrevivência pelos sertanejos, em épocas de secas prolongadas, seja por eventuais episódios de melhoria de preços no mercado internacional para os minerais metalíferos (Luz *et al*, 2002, p. 03).

Existem inúmeros trabalhos geológicos na PPB executados por órgãos governamentais e universidades, pressupondo um vasto conhecimento acerca de sua geologia, mesmo assim a contribuição efetiva para o desenvolvimento econômico tem sido mínimo, pois há evidências de que não foi transferido este conhecimento adquirido em benefício da comunidade produtiva, especialmente os pequenos produtores e garimpeiros, evidenciada pelas técnicas precárias e primitivas de aproveitamento dos pegmatitos que ainda dominam a atividade nesta região. Existe um hiato entre o conhecimento geológico-científico e a aplicação deste no sentido de inserir melhorias nos métodos e processos de produção. Há uma certa carência de cartografia geológica e ausência de um banco de dados no que diz respeito especificamente a corpos pegmatíticos, bem como à extensão em profundidade destes corpos, seja por métodos indiretos, como geofísicos, seja por métodos diretos, como sondagem (LUZ *et al*, 2002).

O mercado impôs durante quatro décadas a exploração quase única de minerais metalíferos, no entanto ao longo da década de 1990 os minerais industriais passaram a ser vistos com bons olhos (feldspato e caulim) para a indústria cerâmica, mas atualmente ambos os tipos de minerais têm tido um aumento em seu valor

comercial, o que enseja um melhor conhecimento geológico permitindo uma lavra mais racional e planejada (LUZ *et al*, 2002).

3.3.2 Fazenda Primavera

Os pegmatitos alvos deste estudo afloram de uma propriedade denominada Fazenda Primavera, localizada na divisa dos municípios de Tenório (sua maior porção) e Juazeirinho no estado da Paraíba. É limitada aproximadamente pelas coordenadas geográficas de latitude 06°56'S e 06°53'S, e longitude 36°35'W e 36,33W (LIRA, 2014), na porção sul da Província Pegmatítica da Borborema.

A área analisada está protocolada no Departamento Nacional de Produção Mineral – DNPM sob processo nº 846.344/2010 em nome da empresa Minegran Minerais e Granitos do Nordeste Ltda. As substâncias pesquisadas descritas no documento são feldspato e minério de tântalo (SIGMINE, 2015).

Os pegmatitos da Fazenda Primavera têm predominantemente como rocha encaixante Xistos da Formação Seridó, com mergulho variando entre 60° e 80° SE na direção NE. Possuem a mesma orientação e comportamento em relação a sua geologia estrutural. A forma do Xisto é tabular e em granitos, que se apresentam ramificados e tabulares, além de micaxistos lenticulados ao longo da xistosidade. Os gnaisses e quartzos também são tabulares e ramificados (LIRA, 2014).

Segundo Lira (2014), a espessura dos corpos pegmatíticos é superior a 30m, comprimento máximo de 200m e profundidades em torno de 20m. As observações em campo demonstram que os pegmatitos mineralizados apresentam falhas e os planos destas apontam uma transição entre a parte mineralizada e não mineralizada.

Luz *et al* (2002) aponta que um projeto que busque promover uma melhor explotabilidade dos pegmatitos no semiárido nordestino através de incremento tecnológico deverá abordar a criação de um banco de dados dos pegmatitos da PPB, utilização de imagens de satélite multi-bandas e análises multi-espectrais.

Abordaremos algumas destas características sugeridas, além de outras, como o uso de *Open Source* GIS para processamento dos dados, obtenção de novos produtos a partir de modelos digitais de terreno, como bacias hidrográficas e curvas de nível.

4 METODOLOGIA DE TRABALHO E MATERIAIS UTILIZADOS

Na primeira fase foi realizada uma revisão bibliográfica acerca dos *softwares* de SIG livres disponíveis que apresentassem o maior volume de funcionalidades sem a necessidade de programas extras para tratamento de dados.

Em seguida procedeu-se uma ampla revisão bibliográfica abrangendo a geologia da região, fontes de dados, preferencialmente gratuitos, que pudessem alimentar o programa na confecção de mapas, com informações de sensoriamento remoto, dados *raster*, que permitissem a confecção de modelos digitais de terreno (extração de dados plani-altimétricos), e dados geográficos básicos, como a localização de rodovias e acessos, divisão política de municípios e estados.

O computador utilizado no trabalho foi um notebook LG modelo A530-T.BE76P1(7676), tendo como características mais relevantes a tela Full HD – 3D, o processador Intel® Core™ i7 – 2670QM (2,20 GHz), memória de 6 GB DDR3, Disco Rígido SATA HDD de 750 GB e Placa de Vídeo NVIDIA GeForce 2GB. O Sistema Operacional utilizado no equipamento é o *Windows*® 10.

Os dados adquiridos e armazenados, no computador utilizado para o estudo, foram tratados para gerar produtos que auxiliassem em uma hipotética tomada de decisão em relação a continuidade do projeto conforme descrito nos itens subsequentes.

4.1 ESCOLHA DO SOFTWARE

O critério de escolha do programa a ser utilizado foi que este tivesse grande capacidade de processamento, simplicidade na interface, semelhança de interface com os *softwares* comerciais, geração de produtos do formato *shapefile* (.shp), grande gama de funcionalidades como processamento de imagens, vetores, conversão de sistemas de coordenadas, capacidade de geração de informação planar e volumétrica, capacidade de análise topológica e conexão com bancos de dados externos. Através de pesquisa e estudo de bibliografias acerca das vantagens e desvantagens de diversos Clientes SIG (*SIG Desktop*) foram encontrados alguns programas com bom potencial, a saber.

4.1.1 OpenJUMP (*Java Unified Mapping Plataform*)

Segundo Uchôa e Ferreira (2004), o OpenJUMP é um SIG desenvolvido em linguagem JAVA, portanto, pode ser executado em vários Sistemas Operacionais, utilizando a Máquina Virtual JAVA (JRE - *Java Runtime Machine*). Possui diversas ferramentas para edição de vetores e análise de qualidade, verificação de geometrias, validação topológica e ferramentas de CAD (desenho assistido por computador). Extensível através de plugins Java, possui *drivers* para PostGIS e Spatialite (Serviços de Banco de Dados Espaciais local e de Servidor).

A grande desvantagem deste programa é não possuir suporte para *rasters* através da leitura de arquivos locais. Para poder trabalhar com este tipo de dado é necessário estar conectado a um servidor WMS que possua um banco de imagens georreferenciadas. Outra importante desvantagem é a falta de uma ferramenta para tratamento de projeções cartográficas (UCHÔA e FERREIRA, 2004).

4.1.2 TerraView

É um SIG de interface amigável capaz de manipular dados matriciais e vetoriais. Foi desenvolvido pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), dispõe de diversos recursos estatísticos permitindo o estudo de conceitos mais técnicos, sendo indicado para aplicações acadêmicas (UCHÔA e FERREIRA, 2004).

No entanto ele possui algumas desvantagens como o uso de uma estrutura de dados particular que inviabiliza o acesso por outros aplicativos como o GRASS, QGIS, OpenJUMP etc., além de não incentivar o desenvolvimento de uma comunidade que ajude no desenvolvimento e manutenção do sistema, limitando-se a poucas informações sobre como operar o sistema e evolução lenta do sistema em si.

4.1.3 GRASS (*Geographic Resources Analysis System*)

Para Uchôa e Ferreira (2004) este é um dos melhores sistemas do mercado com poderosos recursos para área de geotecnologias. Possui tratamento sobre arquivos matriciais, análises 3D, análises vetoriais, triangulação e interpolação para geração de superfícies, processamento de imagens, geração e análise de MDT,

interação por visualização de camadas vetoriais, matriciais e superfícies 3D, e criação de mapas.

Tem uma quantidade extremamente grande de funcionalidades, o que o torna um dos mais potentes *softwares* do gênero, mas sua interface não é tão amigável e o usuário necessita utilizar uma linha de comando para poder executar os processos. Por não possuir um código orientado a objetos, os desenvolvedores têm muita dificuldade para manter ou expandir seus códigos (UCHÔA e FERREIRA, 2004).

4.1.4 Quantum GIS (*Geographic Resources Analysis System*)

Neste programa SIG existe uma gama de funcionalidades bastante diversificada. Pode-se destacar como principais a integração com o GRASS, a disponibilidade de ferramentas de digitalização e análise espacial, a criação de *layouts*, conversão de formatos, etc., além de possuir, nas últimas versões, uma vasta lista de *plug-ins* e uma comunidade extremamente ativa e dinâmica de usuários e desenvolvedores. Isto facilita a rápida solução de problemas e desenvolvimento do sistema (MOREIRA DA SILVA, 2012).

Além de possuir uma interface extremamente amigável, uma das características preferidas dos usuários, ele tem o diferencial de ter sido projetado para que outras aplicações sejam adicionadas a qualquer momento. Ele incorpora outros SL potentes como complementos, que parecem ser apenas ferramentas do sistema, demonstrando a qualidade de integração e de interface. O GRASS em sua última versão vem instalado de forma nativa, assim como o SAGA GIS, outro SIG bastante robusto.

Atualmente existem, em sua biblioteca de complementos, 358 *plugins* de diversos gêneros, seja para tratamento de imagens, cálculos de volume, reprojeção, reclassificação matricial, geração de imagens 3D, captura de coordenadas, georreferenciamento, análise topológica, conexão com um Banco de Dados externo, etc.

Sua instalação é simples, rápida e gratuita, ainda conta com a liberação de versões quadrimestrais com novas funcionalidades, o que garante uma constante evolução do programa. Existem também as versões *Long Term Release* (LTR) bastante estáveis, pois os *bugs* (instabilidades) são solucionados a partir do longo

período de testes e utilização pelos usuários, que são estimulados a reportar os erros no sítio do programa na *Internet*, para que os desenvolvedores investiguem e sanem os problemas apresentados. A versão utilizada neste estudo foi a QGIS 2.12.1 – Lyon, através de *download* gratuito e instalação simples no computador utilizado.

Através deste programa e seus complementos, além da montagem dos mapas que subsidiam este estudo, foram feitos os cálculos de volume dos pegmatitos na Fazenda Primavera, modelagem dos acessos, mapas topográficos, de declividade, geradas curvas de nível etc.

Este foi o *software* escolhido para o estudo, pois reúne todas as características buscadas para um cliente SIG e ainda traz outras vantagens que são detalhadas ao longo desta dissertação.

4.2 COMPILAÇÃO DE DADOS

Nesta fase foi reunida a maior quantidade de dados disponíveis para subsidiar os estudos. Foram considerados fatores geológicos regionais e locais, além de extra geológicos como, por exemplo, a localização geográfica da área, condições de acesso, infraestrutura da região, morfologia dos afloramentos, etc. (MATTA, 2004).

Foi realizada uma varredura sobre as informações relevantes da região. Verificou-se a existência de mapas geológicos regionais recentes, dados de trabalhos acadêmicos onde o foco foi a região estudada, relatórios de órgãos oficiais do poder executivo, informações sobre as compartimentações geológicas regionais, imagens de radar e cenas de satélite que, quando devidamente tratadas, permitem a definição dos principais domínios litológicos, estudos da drenagem da região, vegetação, delimitação dos corpos.

Estes dados aliados aos mapas geológicos e geomorfológicos permitiram que se determinasse os alvos mais propícios para investir em geologia de detalhe e infraestrutura necessária para a instalação inicial de um empreendimento mineiro.

No sítio do CPRM foram adquiridos mapas em formato PDF e publicações que auxiliaram no estudo da região através de seu acervo de livros e publicações disponibilizado virtualmente. A pesquisa acerca da geologia da região buscou também fontes de dados que pudessem alimentar o programa na confecção de mapas, com informações de sensoriamento remoto, dados *raster* que permitissem a confecção de modelos digitais de terreno (extração de dados plani-altimétricos). Também foi feito o

download de dados vetoriais (*shapefiles*) dos mapas geológicos da região que quando cruzados com os dados *raster* permitiram uma melhor interpretação da geologia e definição dos corpos.

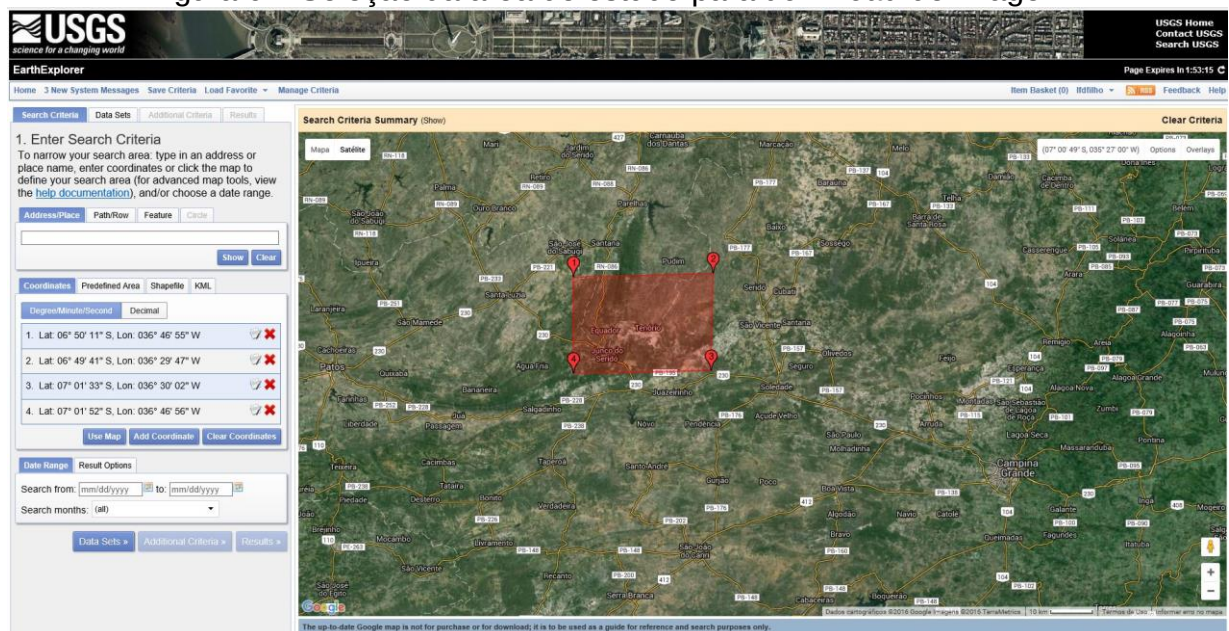
Para complementação, nesta fase também foram requeridos dados básicos de infraestrutura como a localização de rodovias e acessos, divisão política de municípios e estados (importante para definir recolhimento de impostos, etc.), que permitiram a confecção de um mapa bastante completo com a localização dos corpos pegmatíticos estudados.

4.2.2 Levantamento de dados *raster*

Os dados *raster* (imagens) foram obtidos no sítio *EarthExplorer* do Serviço Geológico Norte Americano (*United States Geological Survey – USGS*). Estes dados são públicos e disponibilizados de forma gratuita para *download*. Para baixar as imagens é necessário fazer o cadastro de maneira simples, o que permite o *download* de qualquer imagem disponível de forma gratuita.

Após acessar o sítio realizando o registro (*login*) basta selecionar a área desejada no visualizador disponível (Figura 6) marcando diretamente no mapa, digitando as coordenadas caso as possua, carregando um arquivo KML ou SHP da região a ser estudada.

Figura 6 – Seleção da área de estudo para *download* de imagem.



Fonte: USGS (2015).

O segundo passo é seleccionar a informação de interesse, ou seja, o tipo de dado, pois cada informação é gerada por sensores de características diferentes, com resoluções diversas, e para diversas finalidades. Para a geração das imagens do terreno que possibilitam a visualização de vegetação, massas d'água, solo, rochas, geração de imagem de cor natural e outros estudos, foi escolhida uma cena do satélite Landsat-8 (Figura 7).

Figura 7 – Seleção da fonte satelital da imagem – Landsat-8.

Search Criteria | **Data Sets** | Additional Criteria | Results

2. Select Your Data Set(s)
Check the boxes for the data set(s) you want to search. When done selecting data set(s), click the *Additional Criteria* or *Results* buttons below. Click the plus sign next to the category name to show a list of data sets.

☐ Use Data Set Prefilter ([What's This?](#))

Data Set Search:

- ⊕ Aerial Imagery
 - ⊕ AVHRR
 - ⊕ CEOS Legacy
 - ⊕ Commercial Satellites
 - ⊕ Declassified Data
 - ⊕ Digital Elevation
 - ⊕ Digital Line Graphs
 - ⊕ Digital Maps
 - ⊕ EO-1
 - ⊕ Global Fiducials
 - ⊕ Global Land Survey
 - ⊕ HCMM
 - ⊕ ISERV
 - ⊕ Land Cover
 - ⊕ Landsat Archive
 - ☒ L8 OLI/TIRS
 - ☐ L8 OLI/TIRS Pre-WRS-2
 - ☐ Landsat Surface Reflectance - L8 OLI/TIRS
 - ☐ L7 ETM+ SLC-off (2003-present)
 - ☐ L7 ETM+ SLC-on (1999-2003)
 - ☐ Landsat Surface Reflectance - L7 ETM+
 - ☐ L4-5 TM

Clear All Selected | Additional Criteria » | Results »

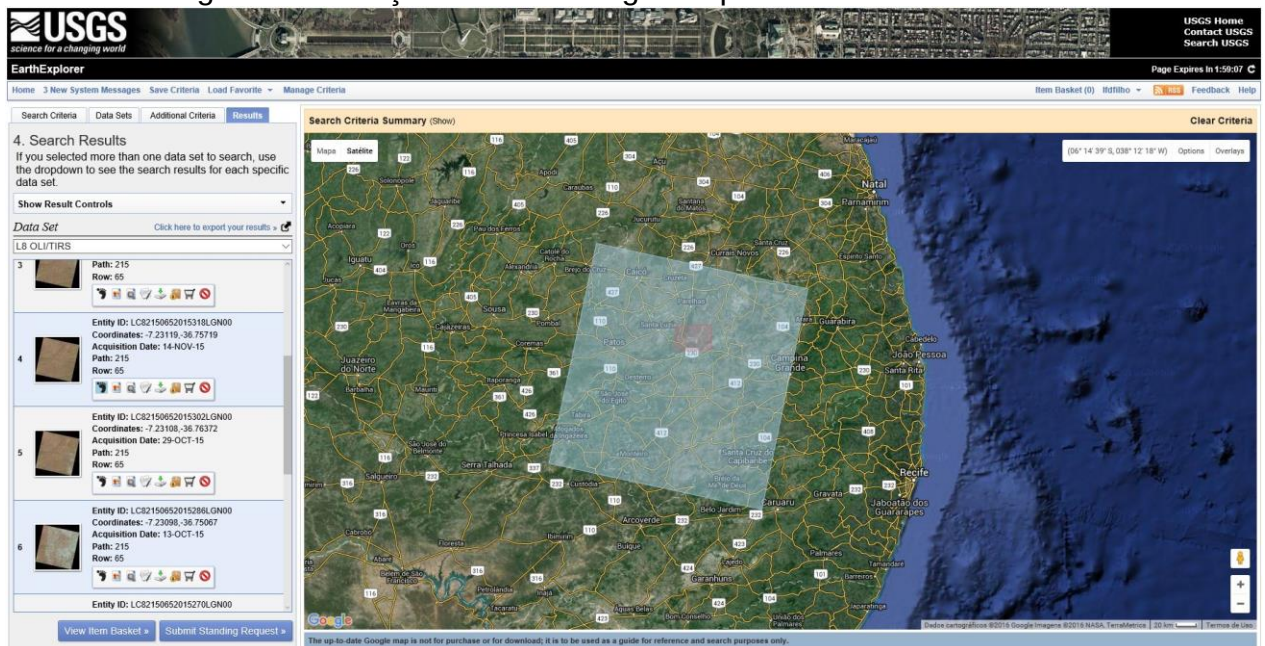
Fonte: USGS (2015).

A última etapa para realizar o *download* da imagem no sítio do USGS é seleccionar a cena desejada conforme demonstrado na figura 8, e escolher um dos arquivos disponíveis para aquela cena (Figura 9).

Neste estudo foi descarregado o arquivo de imagens com todas as bandas (*Level 1 GeoTIFF Data Product – 802.4MB*) do satélite. Necessita-se geralmente de um grande espaço para armazenamento em disco rígido, pois facilmente estas imagens tem tamanho próximo a 1GB.

A cena do satélite Landsat-8 ortorretificada adquirida foi imageada no dia 14/11/2015, com *download* realizado no dia 11/12/2015.

Figura 8 – Seleção da cena imageada pelo satélite Landsat-8.



Fonte: USGS (2015).

Figura 9 – Opções de *download* da imagem no sítio do USGS.



Fonte: USGS (2015).

O período de revisita é de 16 dias, ou seja, a cada 16 dias o satélite imageia o mesmo local gerando uma nova cena. Este satélite possui dois instrumentos imageadores (OLI/Sensor Espectral e TIRS/Sensor Termal). O primeiro possui nove bandas e o segundo, duas (Quadro 2). A cena tem aproximadamente 170 km na direção N-S e 183 km na direção E-W com resolução espacial de 30m nas bandas de 1 a 7 e 9 (multiespectrais), e na banda 8 (pancromática), 15m. As bandas termais 10 e 11, úteis para o fornecimento de temperaturas de superfície, possuem resolução de 100m.

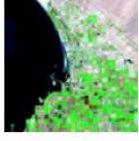
A missão Landsat-8 incluiu bandas adicionais em relação às missões anteriores, Landsat-7 e Landsat-5, por este motivo a combinação de bandas para a composição de imagens mudou, e podemos visualizar a comparação entre as novas e antigas combinações na figura 10.

Quadro 2 – Descrição dos usos de cada banda do satélite Landsat-8.

NOME DA BANDA	OLI/TIRS	DESCRIÇÃO DE USO
Costeira/Aerosol	Banda 1	Observações de zonas costeiras e águas rasas; estudos de detecção de aerossóis, poeira e fumaça.
Azul (B)	Banda 2	Mapeamento batimétrico; diferenciação entre solo e vegetação; mapeamento de tipos de florestas, identificação de atividades antrópicas.
Verde (G)	Banda 3	Copas de árvores e avaliação do vigor das plantas.
Vermelha (R)	Banda 4	Identificação do tipo de vegetação; solos e características urbanas.
Infravermelho Próximo (NIR)	Banda 5	Análise e detecção de vegetação; mapeamento de orla costeira e teor de biomassa.
Infravermelho de Ondas Curtas-1 (SWIR-1)	Banda 6	Análise de vegetação seca/úmida; zonas afetadas por incêndios e queimadas; detecção de incêndios ativos.
Infravermelho de Ondas Curtas-2 (SWIR-2)	Banda 7	Detecção adicional de incêndios ativos (especialmente à noite); análises de vegetação seca/úmida.
Pancromática (PAN)	Banda 8	Melhorar imagens multiespectrais fornecendo maior resolução.
Cirrus	Banda 9	Detecção de nuvens Cirrus.
Termal (TIRS)	Bandas 10 e 11	Mapeamento de temperatura e estimativa de umidade do solo.

Fonte: USGS Fact Sheet (2015), adaptado.

Figura 10 – Comparativo entre as combinações de bandas nos satélites Landsat.

Quickview	Resultado	Landsat 7 Landsat 5	Landsat 8
	Infravermelho	4, 3, 2	5,4,3
	Cor Natural	3, 2, 1	4,3,2
	Falsa Cor	5,4,3	6,5,4
	Falsa Cor	7,5,3	7,6,4
	Falsa Cor	7,4,2	7,5,3

Fonte: USGS (2013).

Os produtos destes fusionamentos serviram para realçar solos, vegetação, massas d'água, pois cada sensor (banda) capta uma faixa de comprimentos de onda,

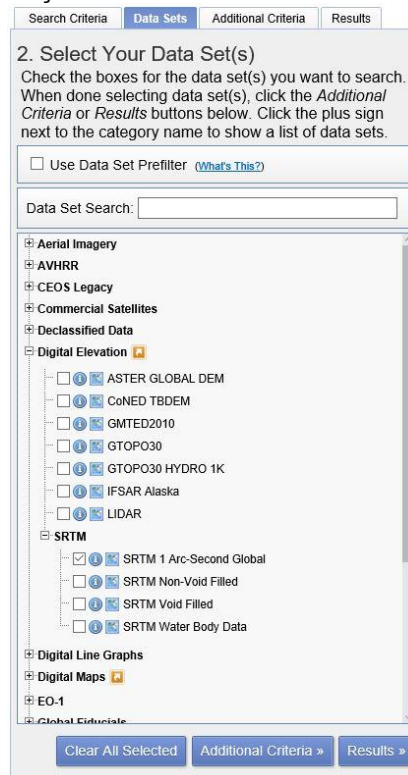
e através desta blendagem e tratamento dos dados gerados por cada sensor, foi obtido o realce da característica física desejada.

Para a confecção dos produtos altimétricos e interpretação geomorfológica foi utilizada cena da missão *Shuttle Radar Topography Mission* conhecida popularmente por suas iniciais SRTM. A missão ocorreu no ano 2000 e mapeou cerca de 80% das áreas emersas da Terra (não foram mapeados extremos meridionais e setentrionais) através de interferometria de radar de abertura sintética (InSAR).

Os sensores de emissão e recepção foram acoplados ao ônibus espacial *Endeavour* coletando os dados de altimetria que posteriormente foram processados pela Agência Espacial Norte Americana – NASA.

Os dados SRTM foram adquiridos no sítio *Earth Explorer - USGS* da mesma forma que os da missão Landsat-8 (Figura 11). Eles permitem interpretações acerca da topografia da região selecionada.

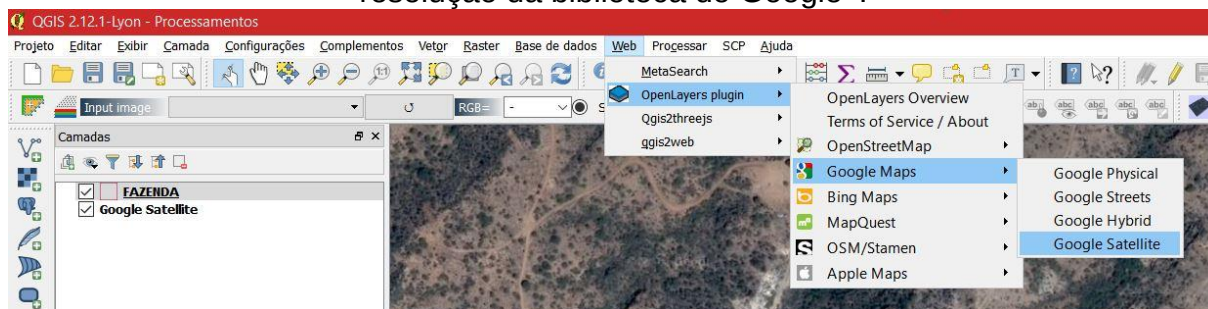
Figura 11 – Seleção da fonte satelital da imagem - SRTM.



Fonte: USGS (2015).

Também foram utilizadas imagens de melhor resolução espacial, para visualização mais detalhada da região quando necessário, através da utilização do complemento *OpenLayers Plugin* versão 1.3.6 (Figura 12), instalado no QGIS, que apresenta imagens disponibilizadas em diversos repositórios.

Figura 12 – Ferramenta *OpenLayers Plugin* disponibilizando imagens de alta resolução da biblioteca do Google®.



Fonte: Quantum GIS (2015).

Neste trabalho o repositório utilizado através desta ferramenta foi o *Google Satellite* que dispõe de forma gratuita seu conteúdo com imagens CNES / Astrium, Cnes / Spot Image, DigitalGlobe e Landsat. Estas imagens são disponibilizadas gratuitamente pelo Google®, e a ferramenta no QGIS facilita o acesso. Como pode-se observar na figura 12, existem outras fontes disponíveis e cada usuário deve verificar qual a melhor para o seu trabalho. Inclusive além de imagens de satélite, este complemento disponibiliza mapas vetoriais como o Google® *Streets*.

4.2.3 Levantamento de dados vetoriais

Os dados geológicos foram adquiridos no sítio do Serviço Geológico do Brasil – CPRM através do GEOBRANK® que disponibiliza de forma pública dados vetoriais em um visualizador de mapas SIG; também existe a opção para baixar dados por *link*, onde além da opção de arquivos vetoriais (*shapefile*), também pode-se baixar arquivos no formato KML, mapas em PDF, notas técnicas, programas, entre outros. Para este trabalho especificamente foram utilizados os dados vetoriais da Folha Jardim do Seridó SB.24-Z-B-V.

Os dados vetoriais geográficos para auxiliar na localização e infraestrutura, assim como dados de acesso (rodoviários), divisão política (municipal e estadual), portos, comunidades, dados hidrológicos e demais itens essenciais, já constavam nos arquivos do autor desta pesquisa, que por sua vez foram adquiridos ao longo do tempo de órgãos oficiais como o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE, Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais – INDE, Departamento Nacional de Infraestrutura e Transporte – DNIT, Agência Nacional de Águas – ANA, Agência Nacional do Petróleo – ANP e Departamento Nacional de Produção Mineral - DNPM.

Todos os mapas gerados citam as fontes dos dados e todos os arquivos utilizados possuem em seus metadados, que podem ser consultados pelos *softwares* SIG, o órgão ou empresa que gerou a informação.

Os demais dados vetoriais utilizados no trabalho foram modelados pelo autor deste estudo através do processo de vetorização manual, ou através de extração por processamento computacional das imagens adquiridas (acessos, rios, massas d'água etc.) com auxílio de *software* SIG livre.

4.2.4 Organização dos dados

Os dados adquiridos na pesquisa foram armazenados no disco rígido do computador utilizado no trabalho e organizados para facilitar a manipulação e geração de produtos.

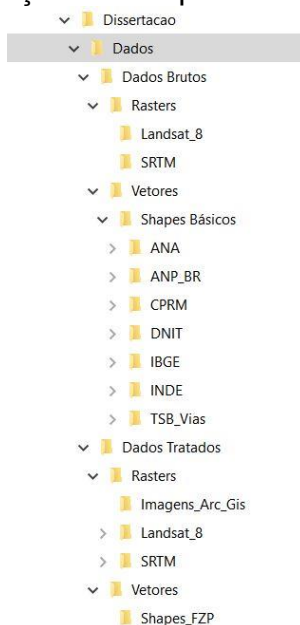
A organização e cuidados com os dados trabalhados devem ser priorizados, pois, sem um sistema de gerenciamento, os dados ficam mais vulneráveis a problemas de integridade. Além disso, há a possibilidade de o usuário cometer um engano e salvar alterações em um dado sobre o original, perdendo assim a “base”, o dado bruto.

Por este motivo a organização deve ser planejada e obedecer a alguns critérios para tornar mais segura a manipulação dos dados. Neste trabalho os dados para manipulação no SIG foram divididos em dois tipos no *Windows Explorer* (D:\GIS\Mestrado\Pegmatitos_PB\Dissertacao\Dados): Dados Brutos e Dados Tratados (Figura 13).

- Dados Brutos – são todos os dados originais, sem tratamento, que foram baixados das bibliotecas oficiais de órgãos e empresas.
- Dados Tratados – são todos os dados após manipulação no *software* QGIS, além dos dados criados a partir dos dados brutos (modelados).

Estas pastas foram subdivididas da mesma forma com duas subpastas denominadas *Rasters* e *Vetores*. Dentro destas subpastas estão todos os arquivos utilizados para alimentar o SIG e seus produtos pós processados. É fundamental ressaltar que esta etapa deve ser bem planejada e executada para que não se comprometam dados, gerando retrabalho na execução dos processos ou perda definitiva de dados irrecuperáveis.

Figura 13 – Organização dos arquivos no Windows® Explorer.



Fonte: O autor (2015).

4.3 PROCESSAMENTO DE DADOS

Para este projeto foi utilizado o Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas – SIRGAS2000, oficializado como o referencial geodésico para o Sistema Geodésico Brasileiro – SGB pela resolução 1/2005 do IBGE.

O sistema de projeção escolhido foi a Universal Transversa de Mercator – UTM, adotado pelo IBGE como padrão para o mapeamento sistemático em nosso país. A área de estudo está enquadrada na zona 24, faixa M.

Após esta definição, todos os dados adquiridos que possuem sistemas diferentes deverão ser reprojetados, ou seja, as imagens adquiridas e os dados vetoriais que não tinham o sistema de coordenadas escolhido foram transformados, neste trabalho, para o *Datum* (Sistema de Referência) SIRGAS2000, com projeção UTM – 24S.

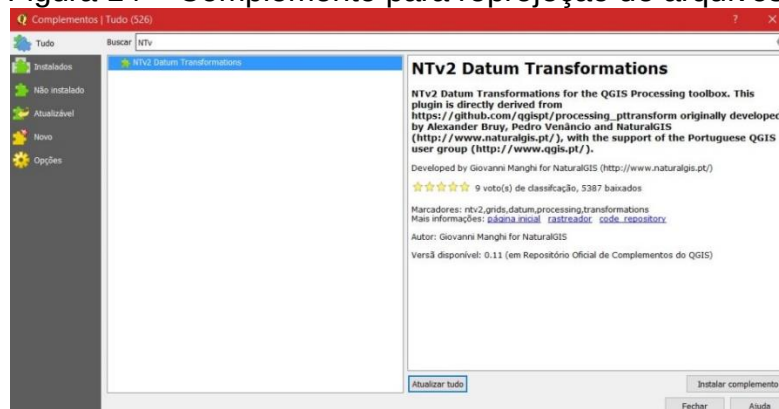
Para a reprojeção de um arquivo no Quantum GIS basta clicar com o botão direito sobre a camada em que se deseja realizar a operação e clicar no menu “Salvar como” (Figura 19), e na caixa de diálogo “Salvar camada” (Figura 20) escolher a nova projeção no menu “SRC”. O arquivo salvo será reprojetado automaticamente na operação. Também existe um complemento denominado “NTv2

Datum Transformation” (Figura 14) que realiza reprojeções de arquivos.

Uma função bastante interessante do QGIS permite que dados de diferentes sistemas de coordenadas sejam exibidos de acordo com a definição do

sistema de coordenadas do projeto. Podemos ter, por exemplo, dados com *datum* SIRGAS2000 e SAD-69 exibidos sem distorções, reprojetados virtualmente para o sistema definido pelo usuário, sem alterar os dados de origem.

Figura 14 – Complemento para reprojeção de arquivos.



Fonte: Quantum GIS (2015).

4.3.1 Tratamento de imagens

Para que as imagens auxiliassem nos estudos, foram tratadas de forma a destacar determinada característica que atendesse uma expectativa de resultado. Por exemplo, para observar a vegetação, ou a geologia da região, utilizou-se uma composição, específica, de bandas do satélite que realçaram estas características.

No quadro 03 observa-se alguns padrões estabelecidos, após estudos, utilizando-se diferentes combinações de bandas adquiridas pelo satélite Landsat-8 para a renderização na paleta de cores RGB – *Red, Green, Blue*, (Vermelho – Verde – Azul) utilizada pelo QGIS.

Quadro 03 – Indicação de uso da combinação de bandas para o satélite Landsat-8.

Cor Natural	4-3-2
Falsa Cor (urbano)	7-6-4
Infravermelho Colorido (vegetação)	5-4-3
Agricultura	6-5-2
Penetração Atmosférica	7-6-5
Vegetação Saudável	5-6-2
Terra/Água	5-6-4
Natural sem Interferência Atmosférica	7-5-3
Infravermelho de Ondas Curtas	7-5-4
Análise de Vegetação	6-5-4

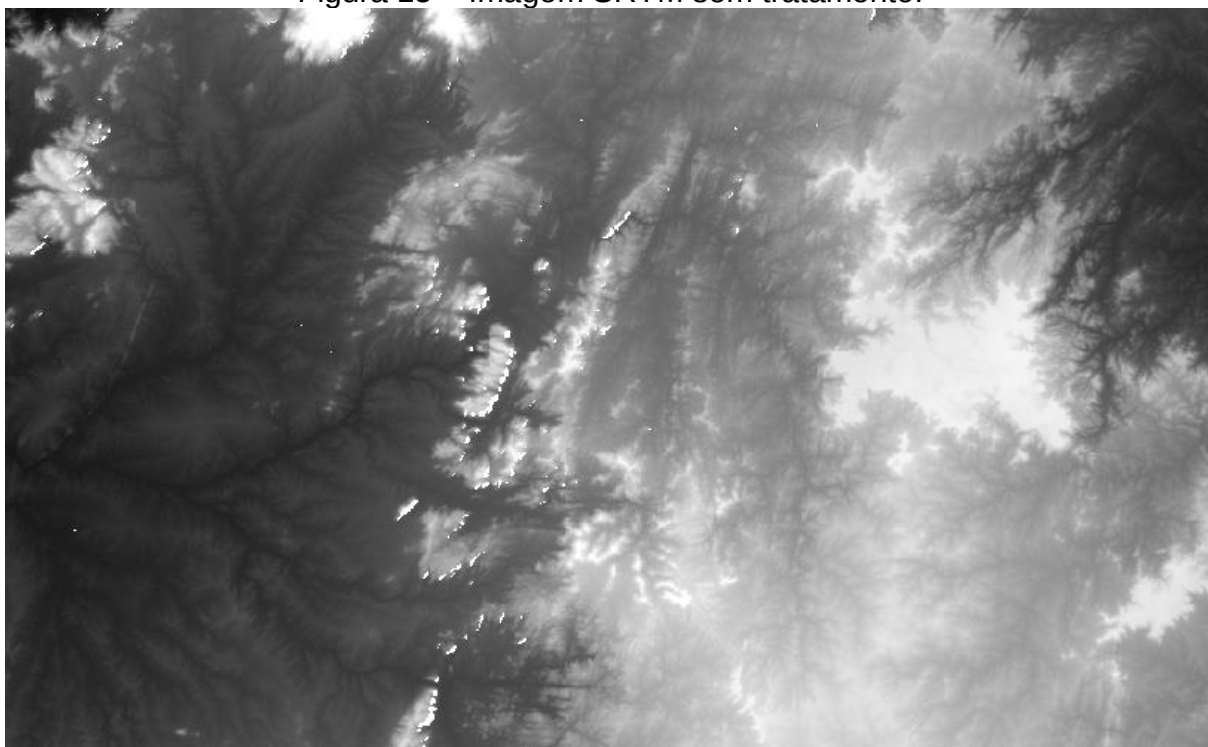
Fonte: ESRI (2013), adaptado.

Neste trabalho utilizou-se as combinações 4-3-2 (combinação que mais se aproxima da cor verdadeira) para a obtenção de uma imagem com as cores naturais

(*true color*) da região estudada, 7-5-3 obtendo uma imagem falsa cor com boa penetração atmosférica (eliminando distorções geradas pela atmosfera terrestre), 5-4-3 obtendo uma imagem infravermelha (falsa cor) que realça a vegetação, 7-6-4 falsa cor que destaca as aglomerações urbanas e 6-5-2 que é indicada para estudos de agricultura, mas neste caso foi utilizado para comprovar a inexistência de grandes plantações na região. Todas estas combinações são sugeridas no quadro 02. No entanto também foi utilizada a combinação 6-3-2 falsa cor, testada pelo autor deste estudo, com o intuito de destacar a geologia e suas feições, obtendo um resultado bastante satisfatório.

As imagens SRTM (Figura 15) também são bastantes importantes no estudo, pois forneceram os dados acerca da topografia. Após os devidos tratamentos, foram utilizadas sob as imagens Landsat-8, já fusionadas e com transparência aplicada, sendo geradas imagens que deram a sensação de profundidade, ou seja, foram destacadas feições geológicas como serras, rios, vales, no formato conhecido como 2,5D (2,5 dimensões).

Figura 15 – Imagem SRTM sem tratamento.



Fonte: USGS (2015).

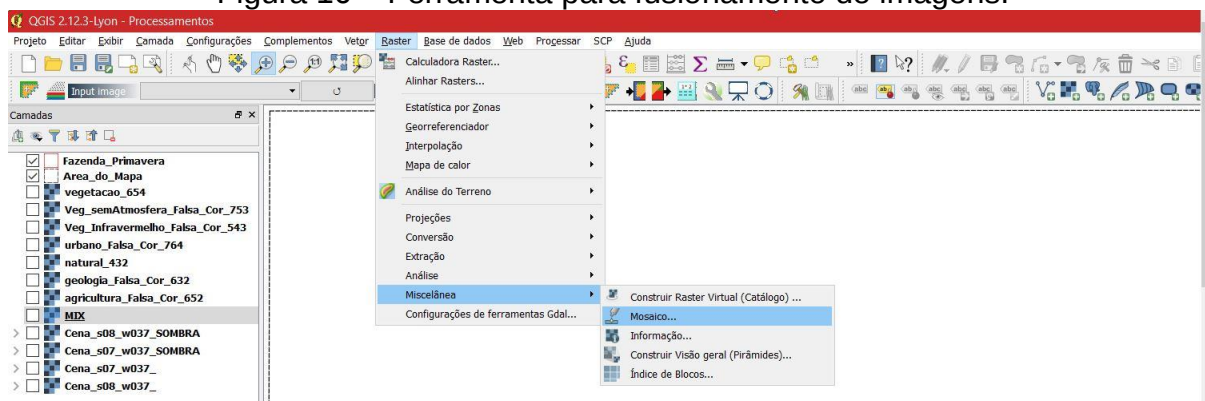
Através destes dados também podemos gerar modelos digitais de elevação, relevo sombreado, rede de drenagem, bacias e sub-bacias hidrográficas, curvas de isovalor para altimetria, mapas de relevo, declividade, fluxo hidrológico etc.

4.3.1.1 Fusão de Bandas – Landsat-8

No QGIS este é um procedimento simples e relativamente rápido. Existe uma ferramenta específica denominada “Mosaico”, que faz a composição para que o usuário possa mesclar as diversas bandas e gerar a imagem calibrando o contraste e usando filtros, obtendo assim o efeito desejado.

Para executar este processo, o primeiro passo no QGIS é acessar no menu ferramentas “Raster – Miscelânea – Mosaico” (Figura 16). É aberta uma caixa de diálogo (Figura 17) onde foram escolhidas as bandas de 1 a 7 do Landsat-8 para serem fusionadas, também foi direcionado e nomeado o arquivo a ser gerado. Para que posteriormente as bandas possam ser manipuladas e combinadas, deve-se marcar a caixa “Pilha de camada”. Caso esteja desmarcada, as bandas serão combinadas automaticamente impossibilitando a combinação manual pelo usuário.

Figura 16 – Ferramenta para fusionamento de imagens.



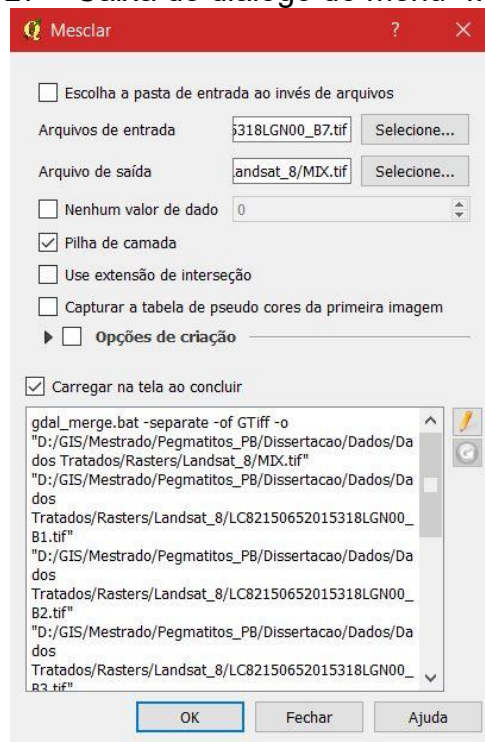
Fonte: Quantum GIS (2015).

A imagem processada é automaticamente carregada para manipulação, pois a caixa “Carregar na tela ao concluir” vem marcada automaticamente (Figura 17).

Basta ir ao menu propriedades da imagem para acessar a caixa de diálogo. No menu “Estilo” pode-se efetuar a combinação das bandas de acordo com o resultado desejado, assim como o ajuste do modo de contraste, filtros de mistura, brilho, saturação, contraste, reamostragem, para melhorar a resolução da imagem.

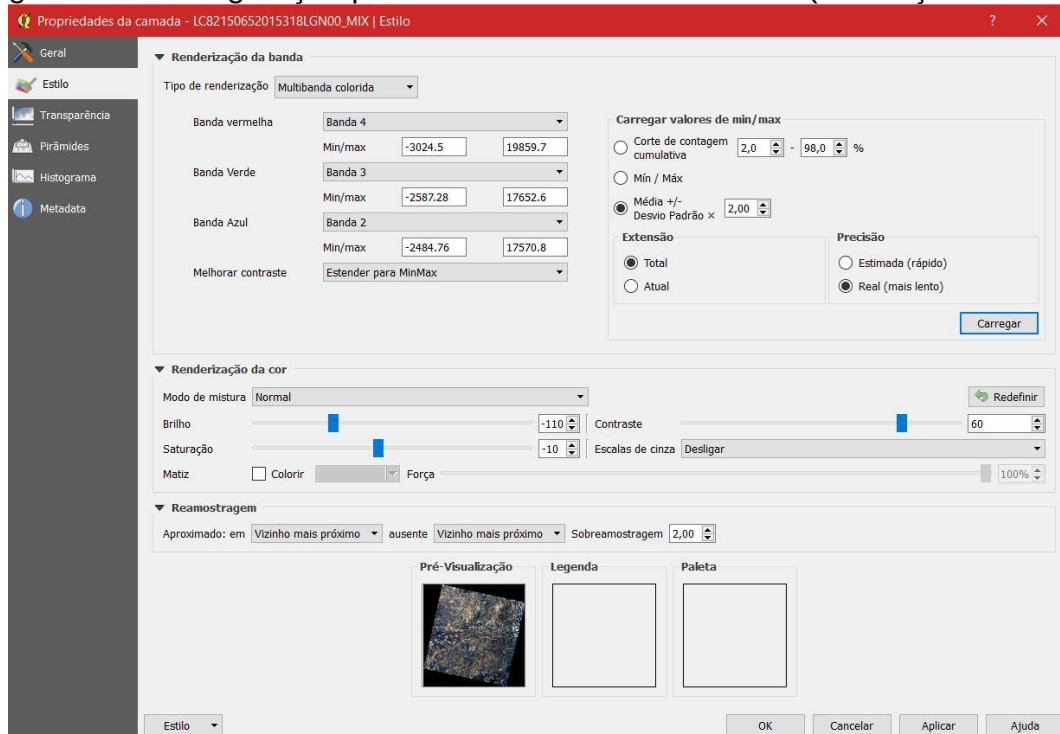
A figura 18 mostra a configuração utilizada na obtenção da imagem *true color* (coloração natural) da região estudada. Pode-se verificar que as bandas utilizadas seguiram a recomendação 4-3-2 RGB conforme sugerido na figura 15.

Figura 17 – Caixa de diálogo do menu “Mosaico”.



Fonte: Quantum GIS (2015).

Figura 18 – Configuração para mistura de bandas – 4-3-2 (Coloração Natural).

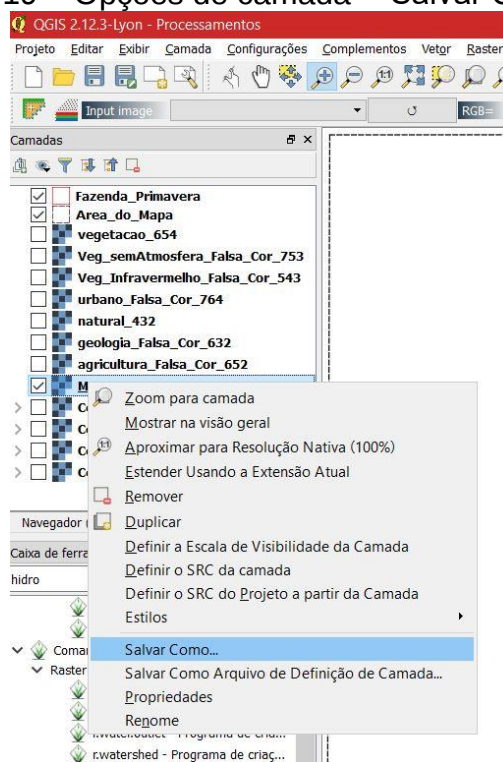


Fonte: Quantum GIS (2015).

Nesta mesma caixa de diálogo podemos acessar outros menus que podem melhorar a qualidade da imagem como “Histograma” e “Transparência”, que para o processamento da imagem de coloração natural não foram utilizados.

Após a calibração da imagem esta ainda não está finalizada, pois foram realizados apenas ajustes de visualização. Para que esta configuração se torne nativa a imagem deverá ser exportada. Para realizar esta operação basta clicar com o botão direito do *mouse* sobre a camada do arquivo (Figura 19) e selecionar a opção “Salvar Como...”. Será aberta uma caixa de diálogo (Figura 20) onde deverá ser selecionada a opção “Modo de saída – Composição RGB”. Após este passo deve ser selecionado o local de destino do arquivo, assim como seu nome. Em “SRC” deve-se escolher qual o sistema de coordenadas do arquivo criado; no caso foi utilizado o mesmo do original, SIRGAS2000 / UTM 24S.

Figura 19 – Opções de camada - “Salvar Como...”.



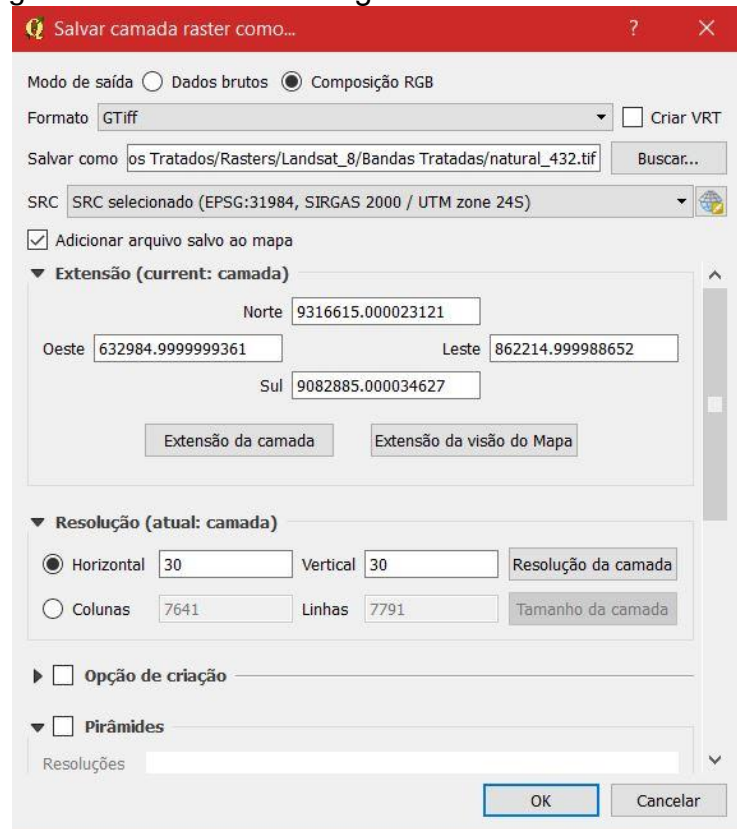
Fonte: Quantum GIS (2015).

Abaixo foi escolhido o modo “Extensão da camada” que deu a mesma característica de extensão espacial do arquivo original. A opção “Extensão da visão do Mapa”, não utilizada no processo, delimita a extensão do arquivo de acordo com a escala atual da visão em edição.

A “Resolução da camada” ficou em 30x30m, de acordo com o arquivo original, para isto basta digitar nas caixas “Horizontal” e “Vertical” o número 30. No entanto foram feitos alguns testes de reamostragem de resolução espacial para 15x15m que mostrou certa eficiência, dando um pequeno ganho de qualidade na

imagem gerada, mas sem que justificasse o uso neste trabalho, por aumentar bastante o tamanho do arquivo.

Figura 20 – Caixa de diálogo do menu “Salvar camada”.



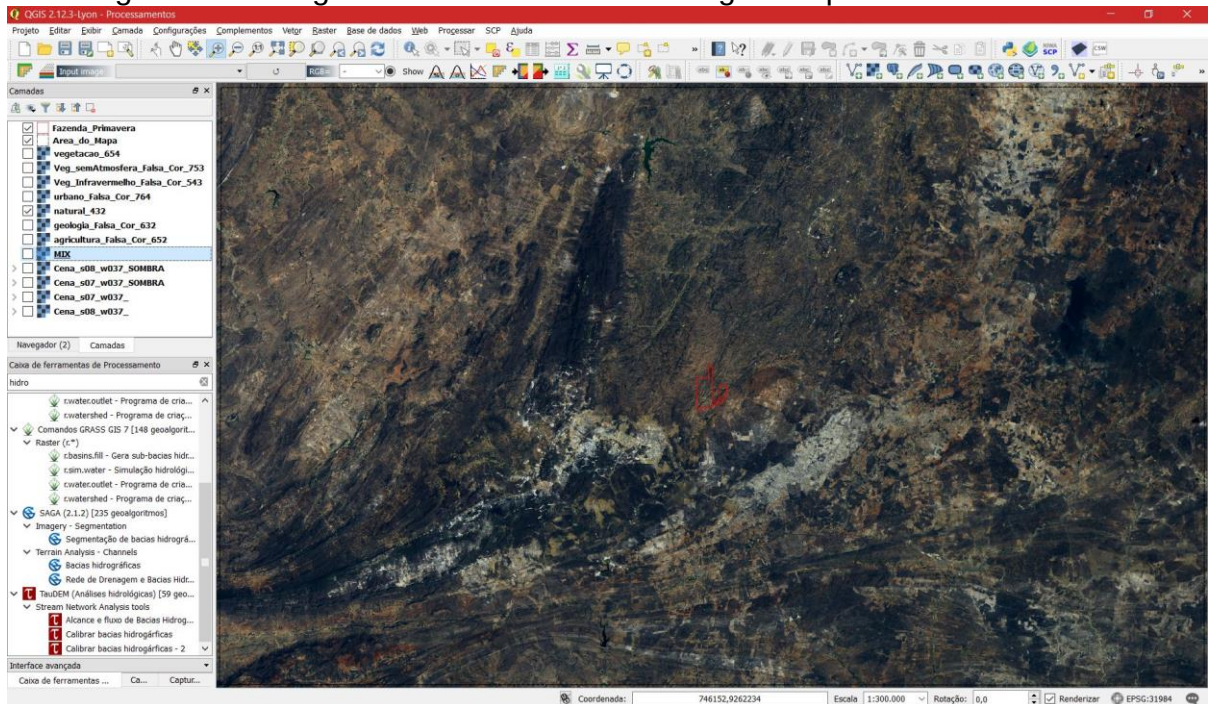
Fonte: Quantum GIS (2015).

Após configurar todas as características desejadas basta pressionar o botão “OK” para que a imagem seja processada e o arquivo gerado. Este arquivo será automaticamente carregado no visualizador do QGIS (Figura 21).

Neste trabalho este processo foi utilizado para gerar imagens Landsat-8 com o fusionamento de bandas no padrão RGB para realçar os seguintes detalhes:

- 4-3-2 Cor Natural (*true color*)
- 7-6-4 Urbano (*false color*)
- 5-4-3 Vegetação Infravermelho (*false color*)
- 6-5-4 Análise de Vegetação (*false color*)
- 7-5-3 Natural sem Atmosfera (*false color*)
- 6-3-2 Geologia (*false color*)
- 6-5-2 Agricultura (*false color*)

Figura 21 – Imagem Cor Natural 4-3-2 RGB gerada por fusão de bandas.



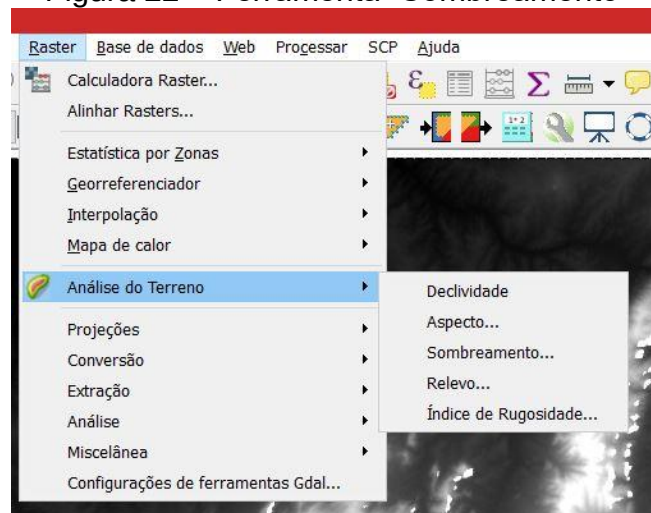
Fonte: O autor (2015).

4.3.1.2 Relevo Sombreado - SRTM

Para a geração de um relevo sombreado a partir de dados SRTM no QGIS utiliza-se a ferramenta “Raster – Análise do Terreno – Sombreamento...” (Figura 22).

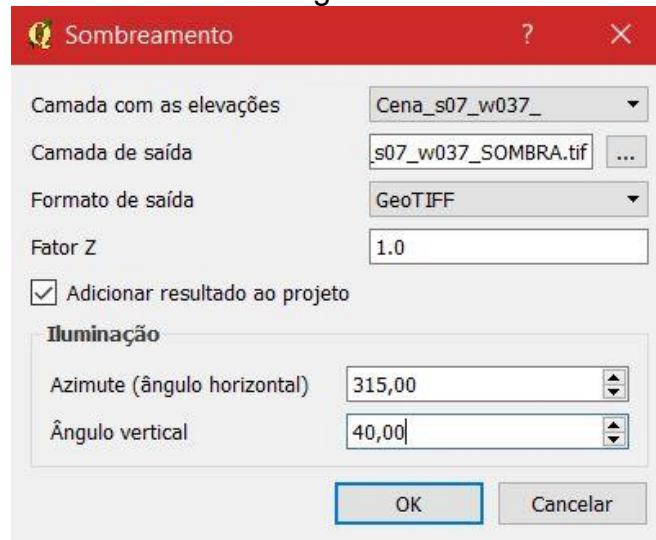
Ao ser aberta a caixa de diálogo “Sombreamento” (Figura 23) deve-se escolher o arquivo de entrada, o nome e o local de armazenamento do arquivo pós-processamento, o formato de saída, bem como a iluminação, que deverá ser bem planejada, já que realçará o relevo.

Figura 22 – Ferramenta “Sombreamento”



Fonte: Quantum GIS (2015).

Figura 23 – Caixa de diálogo do menu “Sombreamento”.



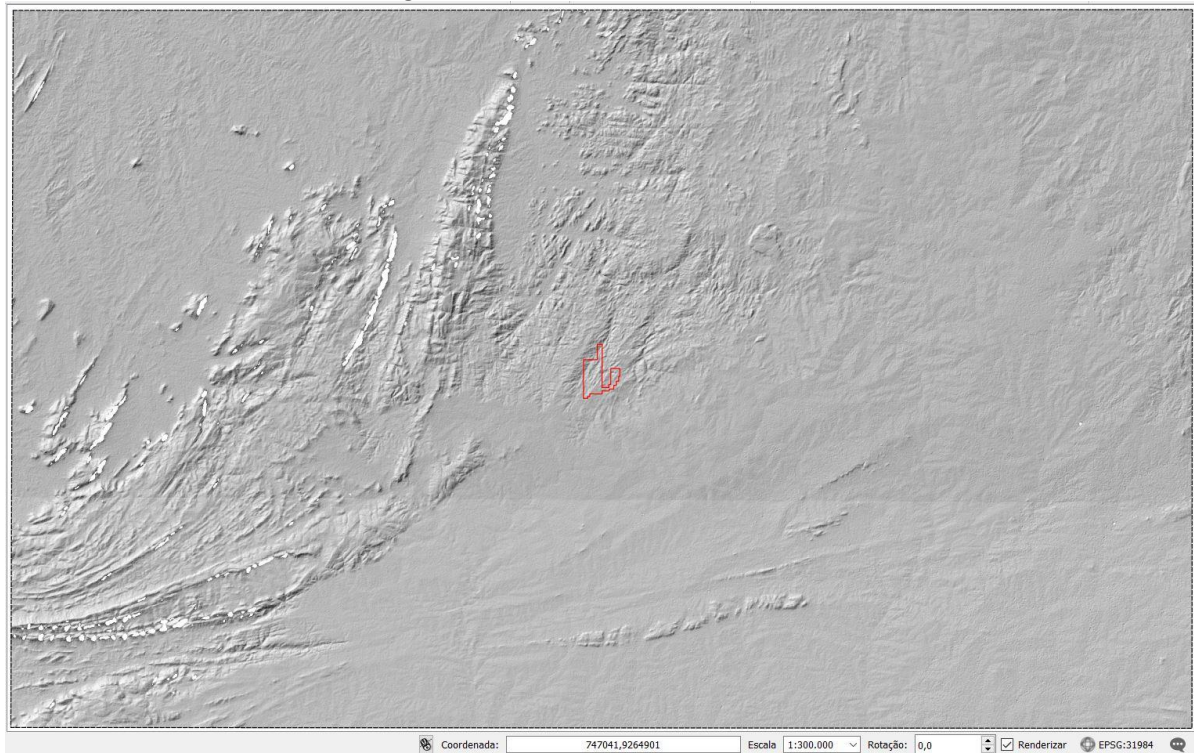
Fonte: Quantum GIS (2015).

Neste estudo foi utilizado 315° de azimute e elevação solar de 40°. Para o azimute de iluminação, este ângulo foi escolhido por ser perpendicular ao *trend* NE da Faixa Seridó, proporcionando a projeção ideal de sombras. Já a elevação solar simula o ângulo da fonte de iluminação em relação ao horizonte, que gerará as sombras ao ser confrontada com as elevações. Este ângulo mostrou-se ideal nos testes por realçar melhor o sombreamento. Este processamento funciona como uma simulação da iluminação solar atingindo o relevo e gerando sombras que o delinearão. Por isso é importante o uso de uma iluminação perpendicular aos elementos que deverão ser realçados.

Se selecionada a opção de inserir a imagem ao projeto, esta será carregada automaticamente, permitindo a avaliação sobre o resultado desejado quanto às posições da elevação solar (ângulo vertical) e ao azimute (ângulo horizontal).

No relevo sombreado (Figura 24) observa-se com facilidade as superfícies rebaixadas e elevadas, bem como os lineamentos geológicos da área de estudo. São melhores observados quando combinados com as imagens Landsat-8 realçando de maneira significativa o relevo. O polígono destacado na imagem, em vermelho, corresponde a área da Fazenda Primavera, requerida junto ao DNPM.

Figura 24 – Relevo Sombreado.



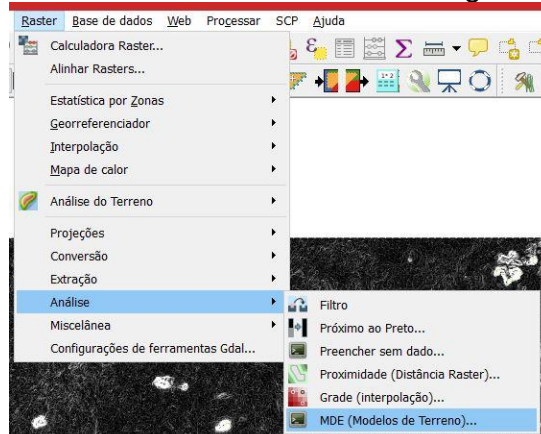
Fonte: O autor (2015).

4.3.1.3 Declividade - SRTM

Para subsidiar estudos de acesso aos corpos, posterior escoamento dos produtos e interpretação geomorfológica, foi gerado um modelo de declividade para auxiliar nos estudos de topografia dos alvos e cercanias. O mesmo foi abandonado posteriormente em detrimento da geração de um mapa de isolinhas.

No QGIS existem ao menos duas formas destes dados serem gerados, uma através do complemento GRASS, e outra, a que foi utilizada neste trabalho, é através do menu “Raster – Análise – MDE” (Figura 25).

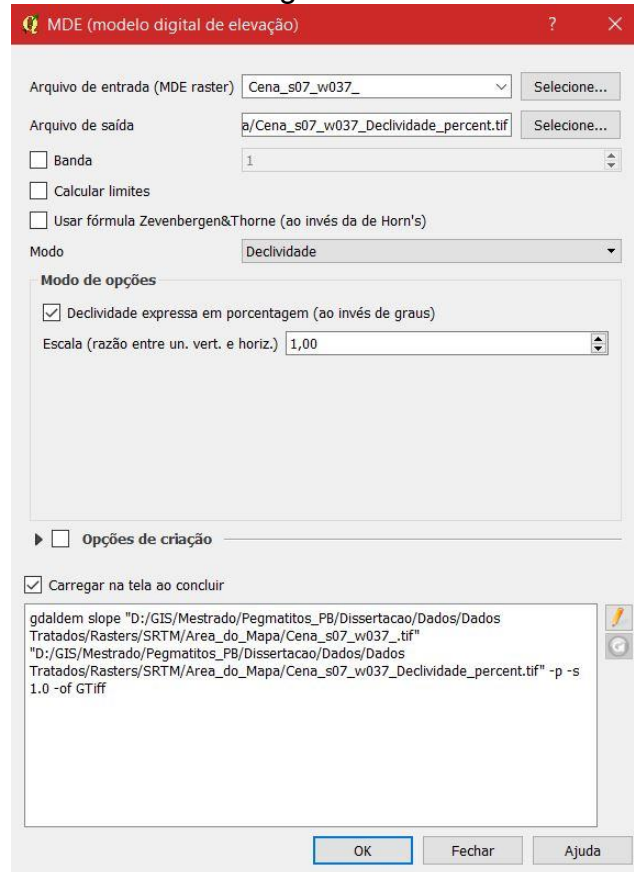
Figura 25 – Ferramenta “MDE” – Modelo Digital de Elevação.



Fonte: Quantum GIS (2015).

Na caixa de diálogo que será aberta (Figura 26) foi carregado o arquivo SRTM que contenha a região em análise. Após, deve ser selecionada a pasta e indicado o nome do arquivo a ser gerado. Na opção “Modo” deve ser escolhido o tipo de produto a ser gerado, neste caso “Declividade”.

Figura 26 – Caixa de diálogo do menu “MDE - Declividade”.

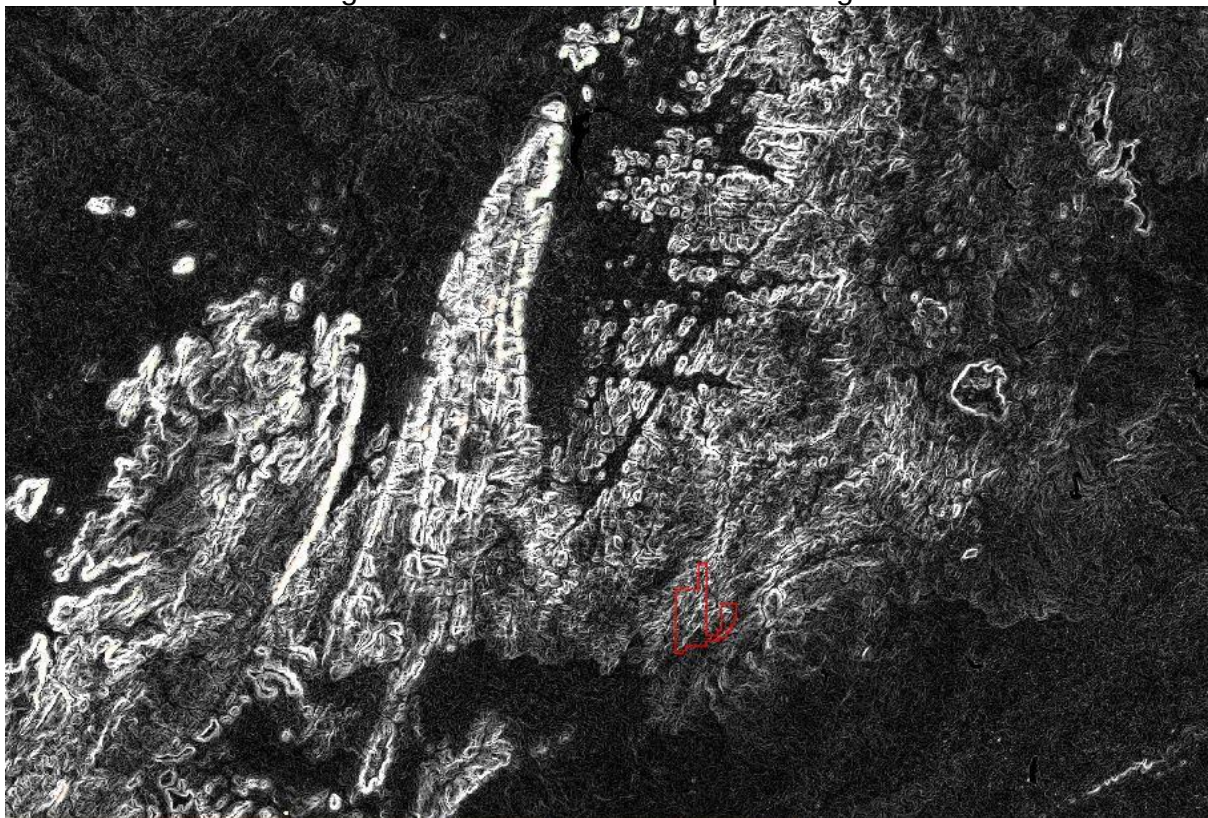


Fonte: Quantum GIS (2015).

O próximo passo é decidir se o arquivo gerado utilizará o cálculo em graus ou porcentagem. Declividade é a relação entre o ângulo de inclinação da superfície do terreno e o plano horizontal. O padrão de cálculo é em grau, no entanto na engenharia a maioria dos trabalhos são expressos em porcentagem, por este motivo o arquivo gerado neste estudo foi em percentuais, que será usado na posterior geração de mapas de declividade.

Então, deve-se marcar a caixa “Declividade expressa em porcentagem (ao invés de graus)”. Após este passo, basta pressionar o botão “OK” e aguardar o processamento e carregamento do arquivo (imagem) gerado (Figura 27).

Figura 27 – Declividade em percentagem.



Fonte: O autor (2015).

4.3.2 Extração de dados a partir de *rasters*

Através dos dados brutos ou tratados foram extraídas informações em diferentes formatos para que fossem ser utilizadas confeccionados mapas, relatórios, e até geração outras imagens. Estes dados foram transformados em vetores automaticamente por processos computacionais, em tabelas, ou interpretados por ferramentas com capacidade de gerar gráficos através das informações contidas nestes arquivos.

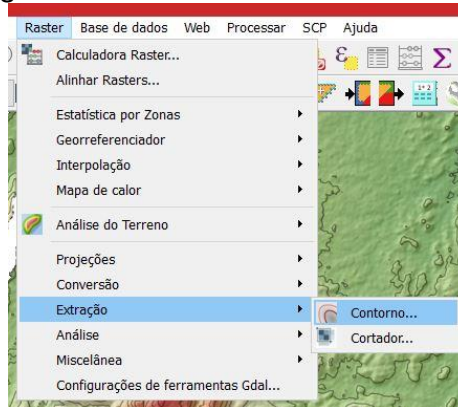
Outra forma bastante popular entre os intérpretes de imagens é a vetorização manual de arquivos, ou seja, caso tenham apenas um dado onde não seja possível a extração automática, como um mapa digital oriundo de um mapa físico (impresso em papel), há a possibilidade de se “desenhar” manualmente sobre o mapa digital gerando linhas, pontos ou polígonos em formato vetorial, inclusive com dados tabulares característicos deste tipo de arquivo.

Todos estes processos citados são formas de extração de dados a partir de informações matriciais.

4.3.2.1 Curvas de isovalor - SRTM

A geração de curvas de isovalor ou curvas de nível a partir de um dado *raster* SRTM é simples no SIG Quantum GIS. Deve-se carregar a imagem a partir da ferramenta “Raster – Extração – Contorno...” (Figura 28).

Figura 28 – Ferramenta “Contorno...”.

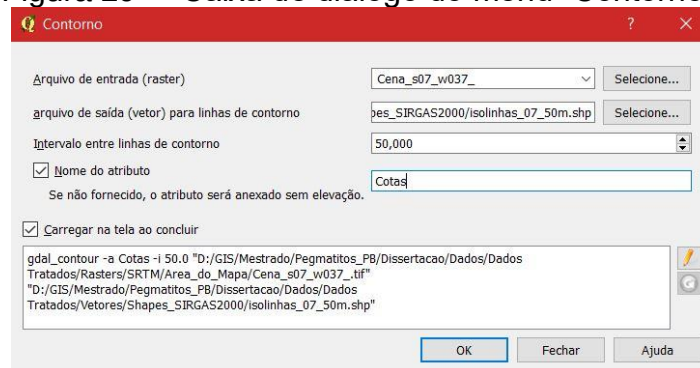


Fonte: Software Quantum GIS (2015).

Ao selecionar a opção “Contorno...” será aberta uma caixa de diálogo (Figura 29) que deverá ser preenchida de acordo com as exigências desejadas para o produto resultante. Deverá ser carregado o arquivo bruto SRTM que corresponda a área estudada. Após, será indicado o local de armazenamento do arquivo gerado, bem como o tipo do arquivo. Neste estudo o produto foi gerado no formato *shapefile*.

O próximo passo é escolher a equidistância entre as linhas geradas. Deverá ser marcada na caixa a opção “Nome do atributo” (Figura 29) e inserido o nome da coluna que trará o atributo de elevação de cada linha gerada, que no exemplo demonstrado é chamada de “Cotas”.

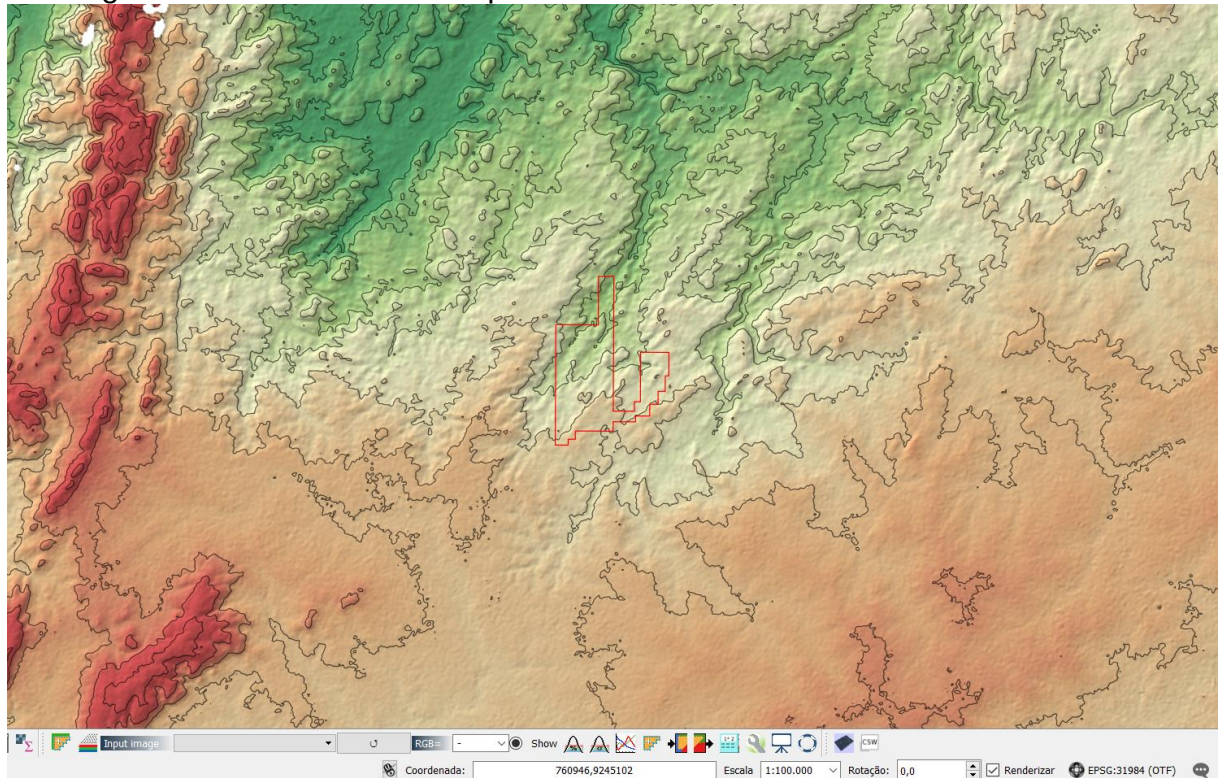
Figura 29 – Caixa de diálogo do menu “Contorno”.



Fonte: Software Quantum GIS (2015).

O arquivo final trará as linhas geradas através de processamento computacional dos dados de altimetria contidos no *raster* SRTM, prontas para serem utilizadas em mapas hipsométricos (Figura 30).

Figura 30 – Isolinhas com equidistância de 50 metros em estudo de relevo.



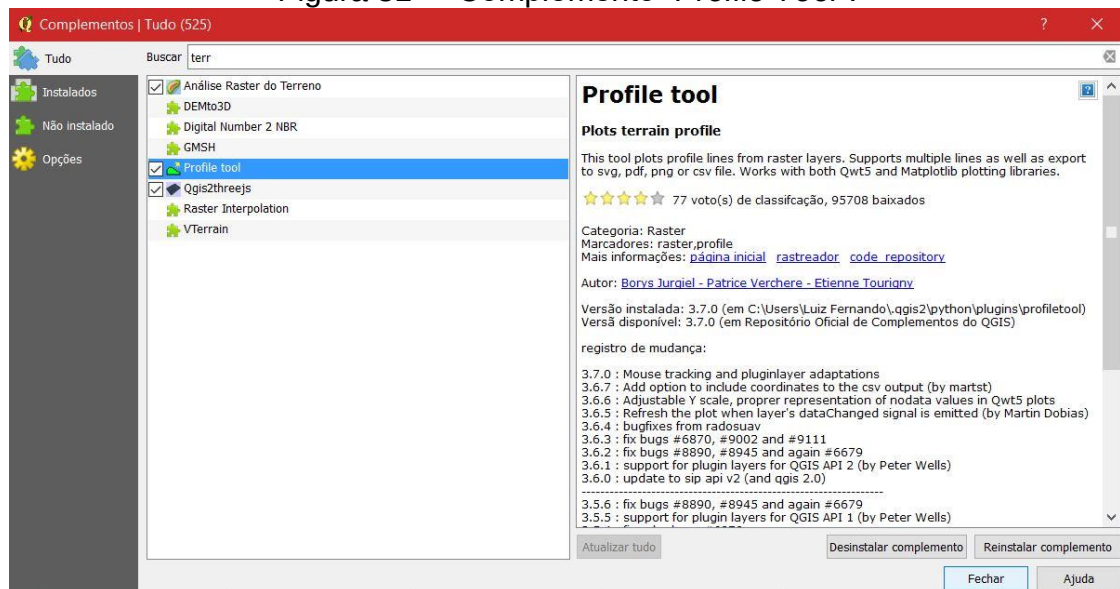
Fonte: O autor (2015).

4.3.2.2 Perfil Topográfico

O perfil topográfico permite que se saiba a elevação de um traçado qualquer que auxilia em estudos para corte e aterro, trajetos de acessos, etc. Para que seja executada esta operação no QGIS é necessária a instalação do complemento “*Profile Tool*” (Figura 31). Após instalado, basta iniciar o *plugin* e fazer o traçado de uma linha de acordo com a necessidade do estudo.

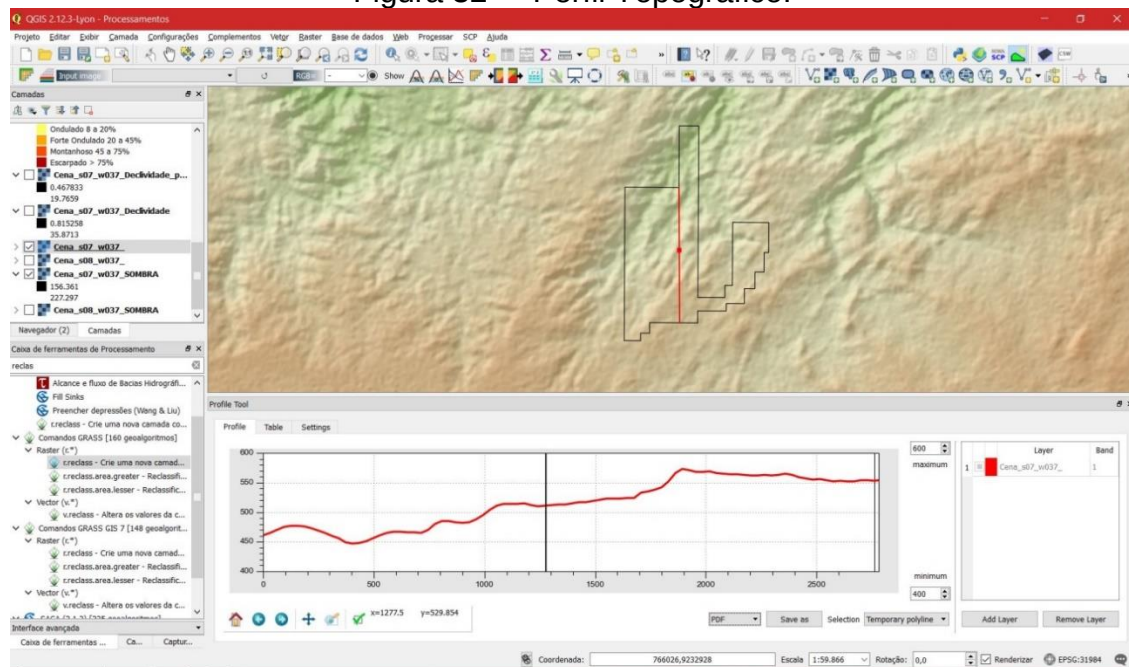
Na figura 32 pode-se identificar como é apresentado o aplicativo no QGIS. Primeiramente deve-se selecionar a camada (*layer*), de onde serão extraídos os dados, no menu “Camadas”. A linha vermelha na área de visualização do mapa indica o traçado, que para este exemplo foi desenhado com sentido norte-sul. Abaixo está localizado o gráfico demonstrando o perfil completo, do início ao final da linha traçada.

Figura 31 – Complemento “Profile Tool”.



Fonte: Software Quantum GIS (2015).

Figura 32 – Perfil Topográfico.



Fonte: Software Quantum GIS (2015).

A graduação no eixo “x” demonstra a altitude do ponto selecionado (representado pela linha preta perpendicular às curvas do gráfico), e a graduação no eixo “y”, na base do gráfico, mostra a distância percorrida sobre o trajeto em relação ao ponto inicial. Ao deslocar o cursor do *mouse* sobre o gráfico verifica-se também o deslocamento de um ponto sobre a linha traçada no mapa, que localiza exatamente a posição *in loco*.

O gráfico gerado pode ser exportado para diversos formatos, como PDF e PNG. Os dados da tabela também podem ser copiados e colados em programas de edição de texto ou tabelas.

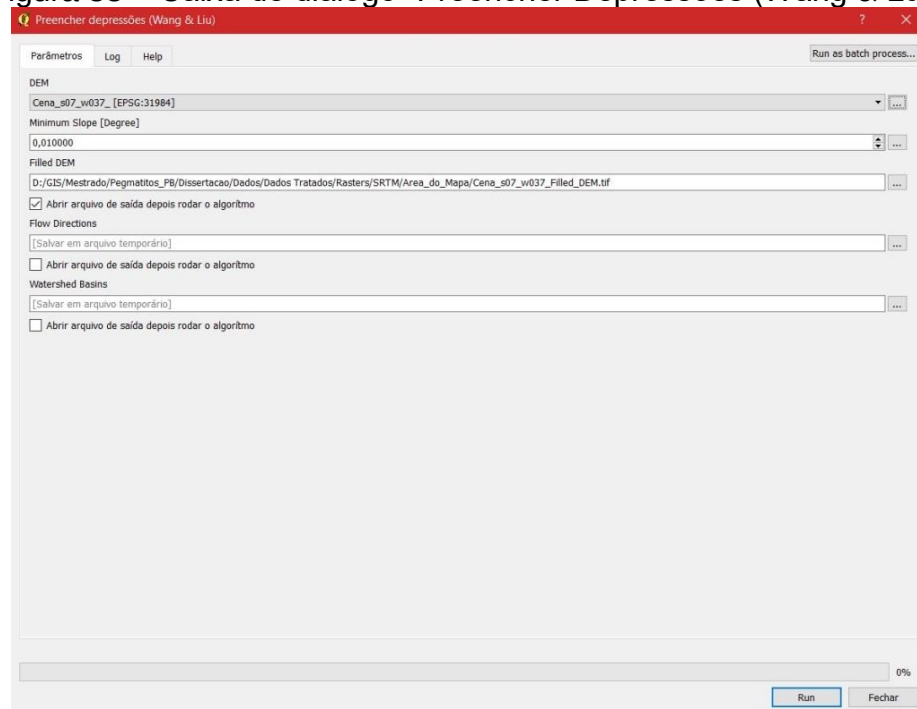
4.3.2.3 Extração de hidrografia

A partir das imagens SRTM foi possível extrair, de forma automatizada, os lineamentos de drenagem na área analisada.

Para a geração de dados de hidrografia no QGIS foi utilizado o complemento SAGA que vem pré-instalado no Quantum.

Ao acessar a “Caixa de Ferramentas de Processamento” deve-se estender a opção SAGA. Nela podemos encontrar diversos algoritmos de processamento. Na opção “*Terrain Analysis – Hydrology*” (Figura 33) executa-se o algoritmo “Preencher depressões (Wang & Liu)” para que seja gerada uma nova imagem onde as depressões encontradas na imagem SRTM, via cálculos computacionais, serão preenchidas.

Figura 33 – Caixa de diálogo “Preencher Depressões (Wang & Lu)”.

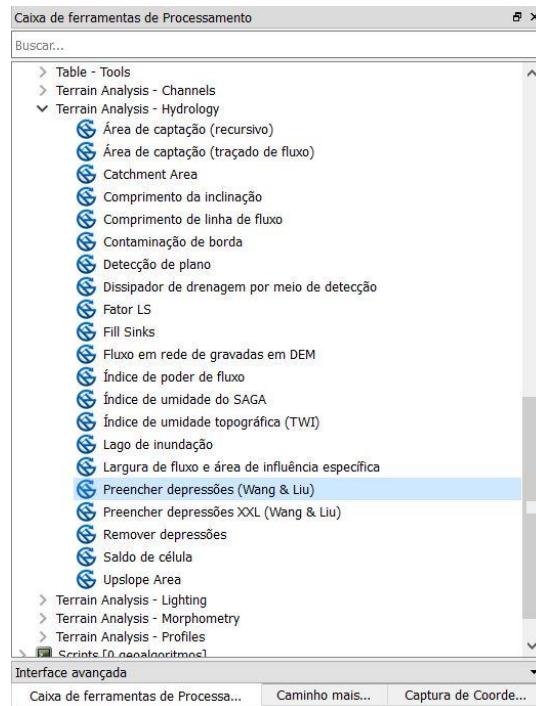


Fonte: Quantum GIS (2015).

Na figura 34 observa-se a caixa de diálogo onde a imagem a ser processada deve ser escolhida (“DEM”), e a inclinação mínima, em graus, para fins

de preenchimento de depressão (“Minimum Slope”). Após a execução do processo, a imagem gerada será adicionada automaticamente à lista de camadas.

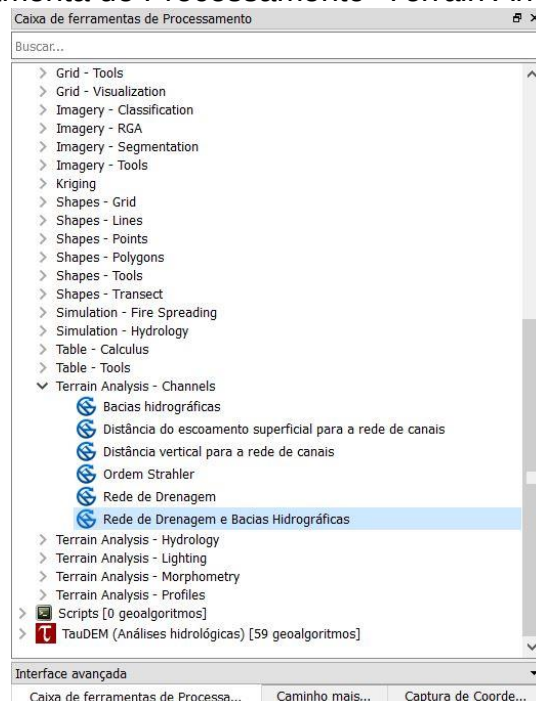
Figura 34 – Ferramenta de Processamento “*Terrain Analysis – Hidrology*”.



Fonte: Quantum GIS (2015).

Para extrair os dados de hidrografia deve-se executar o algoritmo “Rede de Drenagem e Bacias Hidrográficas” (Figura 35), localizada na opção “Terrain Analysis – Channels” no complemento SAGA.

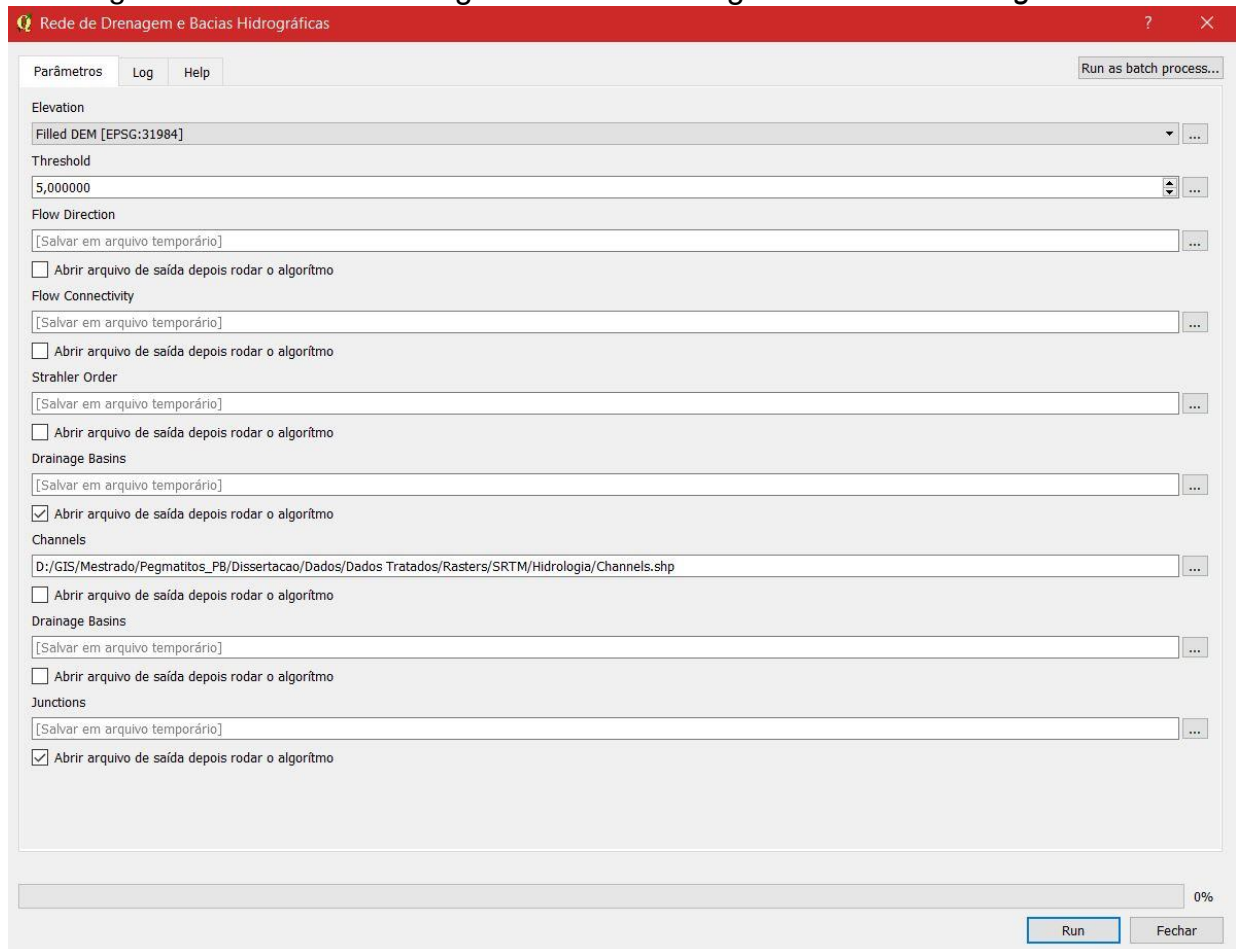
Figura 35 – Ferramenta de Processamento “*Terrain Analysis – Channels*”.



Fonte: Quantum GIS (2015).

Ao abrir a caixa de diálogo “Rede de Drenagem e Bacias Hidrográficas” (Figura 36), seleciona-se a imagem (“Elevação”) a ser utilizada, no menu “Threshold” definem-se os limites desejados para a extração dos canais.

Figura 36 – Caixa de diálogo “Rede de Drenagens e Bacias Hidrográficas”.

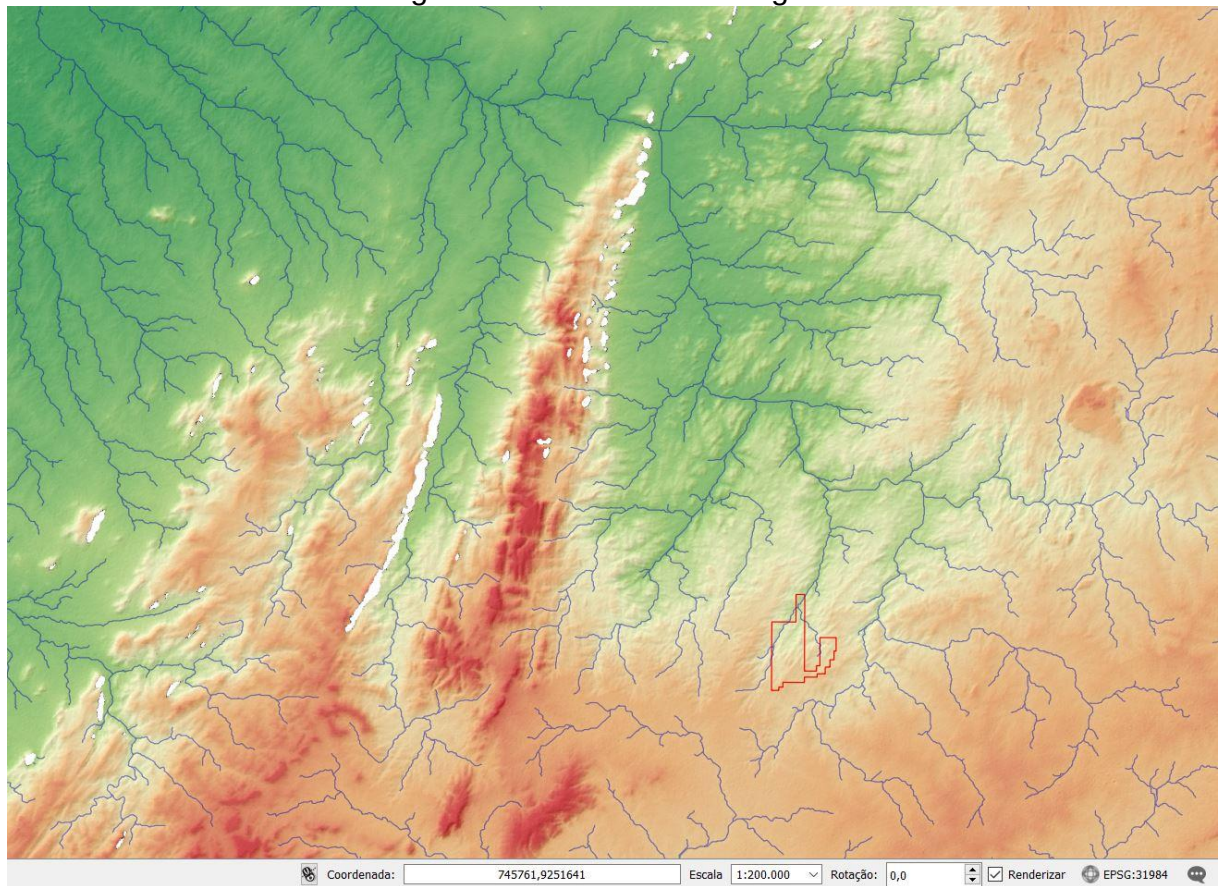


Fonte: Quantum GIS (2015).

Se desejar aumentar o nível de detalhe da hidrografia, deve-se diminuir o valor dos limites, mas caso seja necessário apenas a extração dos canais principais, com menos detalhe, o valor deve ser aumentado. Neste trabalho a extração utilizou o parâmetro 6,0, que traz um bom nível de detalhe.

Nos demais menus, diversos dados podem ser extraídos, como a Direção do Fluxo, Conexões de Fluxo, Hierarquia dos Afluentes, Bacias Hidrográficas, Canais e Junções dos Canais. Neste estudo processamos apenas os canais (Channels) que representam a rede de drenagens (Figura 37).

Figura 37 – Rede de Drenagens



Fonte: O autor (2015).

4.3.2.4 Cálculo dos Volumes dos Corpos

A estimativa dos recursos minerais estudados é fundamental para a continuação das demais fases de um empreendimento mineiro. Por isto os cálculos computacionais com os dados obtidos para a estimação dos volumes são importantes e o QGIS possibilita de maneira prática e rápida sua obtenção.

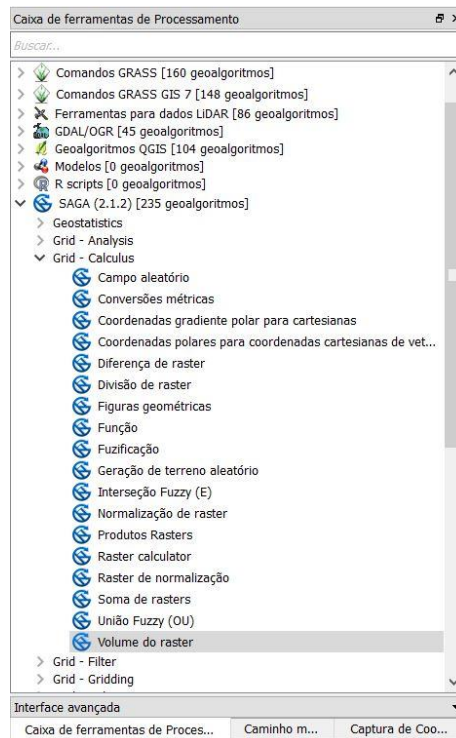
Novamente utilizando o complemento SAGA é necessário acessar a “Caixa de Ferramentas de Processamento” e na opção “Grid – Calculus” executar o algoritmo “Volume do raster” (Figura 38).

Ao executar o algoritmo, uma caixa de diálogo será aberta (Figura 39). Nela, seleciona-se o arquivo com os dados a serem processados (“Grid”). Depois deve-se escolher a metodologia de cálculo (“Method”) que, neste estudo, foi calcular o volume dos corpos acima de um plano estabelecido (“Count Only Above Base Level”).

Para este estudo foi estabelecida a altitude do plano a partir de 20 metros abaixo do menor valor de altitude encontrado para os corpos, ou seja, considerou-se

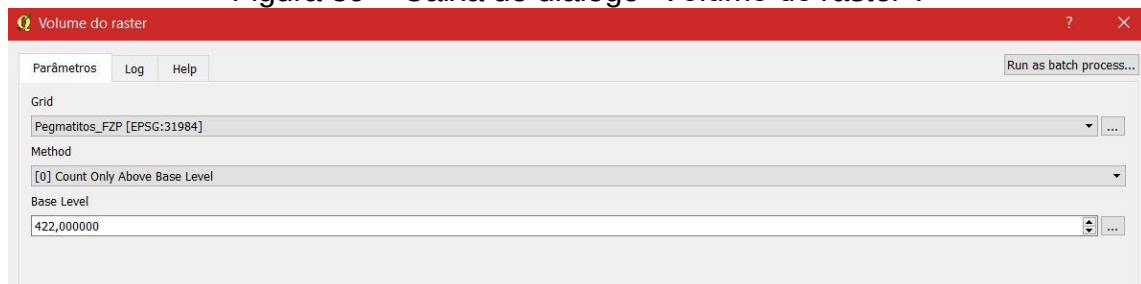
que o corpo mineralizado teria em média 20 metros de profundidade (LIRA, comunicação pessoal).

Figura 38 – Ferramenta de Processamento “Volume do *raster*”.



Fonte: Quantum GIS (2015).

Figura 39 – Caixa de diálogo “Volume do *raster*”.

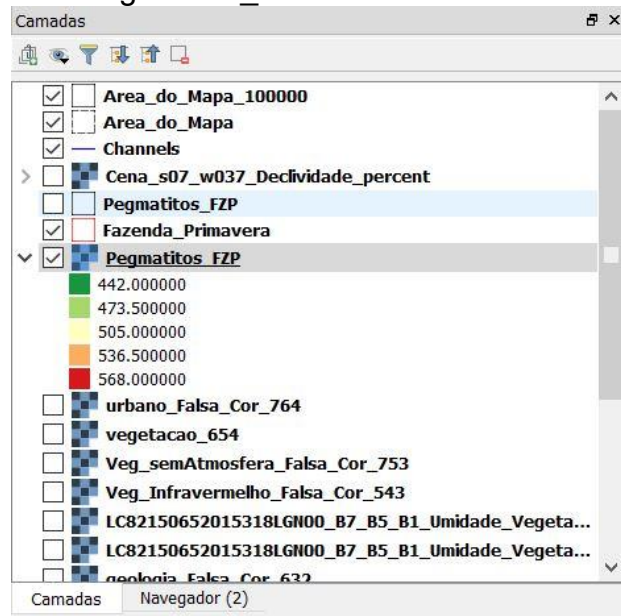


Fonte: Quantum GIS (2015).

Está indicado na camada denominada “Pegmatitos_FZP” (Figura 40) que a altitude mínima dos corpos pegmatíticos é de 442 metros em relação ao nível médio do mar. Portanto foi utilizada a cota 422 metros como mínima para efeito de cálculo, indicada no menu “Base Level” (Figura 39).

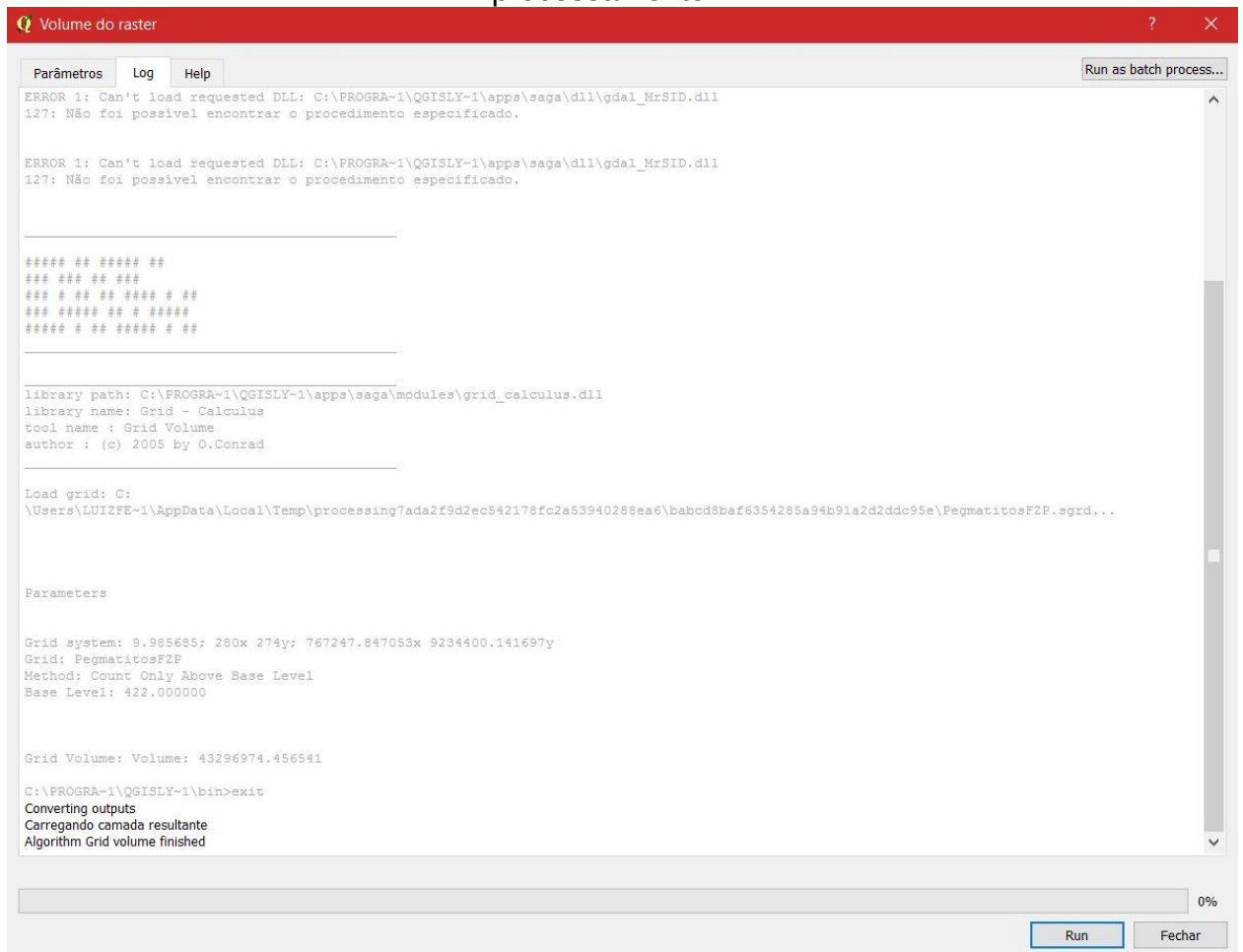
O menu “Log” (Figura 41), da caixa de diálogo “Volume do Raster”, exhibe ao final do processo o volume calculado. Para este exemplo o volume resultante foi de 43.296.974 m³ de massa rochosa.

Figura 40 – Camada “Pegmatitos_FZP” indicando as cotas mínima e máxima.



Fonte: Quantum GIS (2015).

Figura 41 – Caixa de diálogo “Volume do raster” exibindo relatório do processamento.



Fonte: Quantum GIS (2015).

4.3.3 Manipulação de vetores

Os vetores utilizados em qualquer estudo podem ser alterados sempre que necessário. Seja inserindo dados tabulares ou em sua geometria. Neste trabalho foram criados vetores para estabelecer limites de área de trabalho, também foram manipulados os vetores gerados a partir de processos automáticos, como a feição hidrografia, pois a resolução dos dados a partir dos quais estes vetores foram gerados é de 30 metros e, através de imagens com resolução espacial maior (menor que 5 metros), obtidas pelo complemento *OpenLayers Plugin* (Figura 12), foi possível ajustar os nós das linhas para o local adequado, retificando o erro, dando maior precisão aos dados utilizados.

Verificou-se a importância da utilização de programas SIG, pois permitiu que dados vetoriais sejam editados com facilidade, corrigindo erros gerados por dados matriciais de média ou baixa resolução, além de ter possibilitado a construção de vetores a partir de outros dados, ou à mão livre como nos limites de escala.

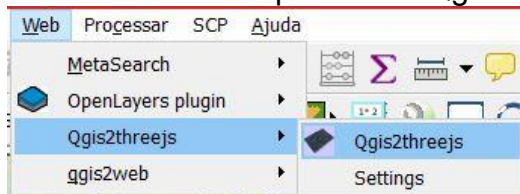
4.3.4 Geração de imagens em 3D

Os mapas em geral são elaborados levando em conta as coordenadas bidimensionais, eixos “x” e “y”. Os dados de altimetria também são apresentados desta forma, já que as linhas que representam as cotas são exibidas em forma de contorno de curvas com suas altitudes (“z”) expressas em forma de texto.

No entanto, a tecnologia possibilitou que as três dimensões “x”, “y” e “z” fossem exibidas de forma conjunta, dando origem à visualização de imagens em três dimensões onde as três coordenadas são projetadas e podem ser observadas dando a sensação de volume.

O QGIS permite este tipo de visualização através de um complemento denominado “Qgis2threejs”. Após instalá-lo, na ferramenta de complementos, basta executá-lo através do menu “Web - Qgis2threejs - Qgis2threejs” (Figura 42).

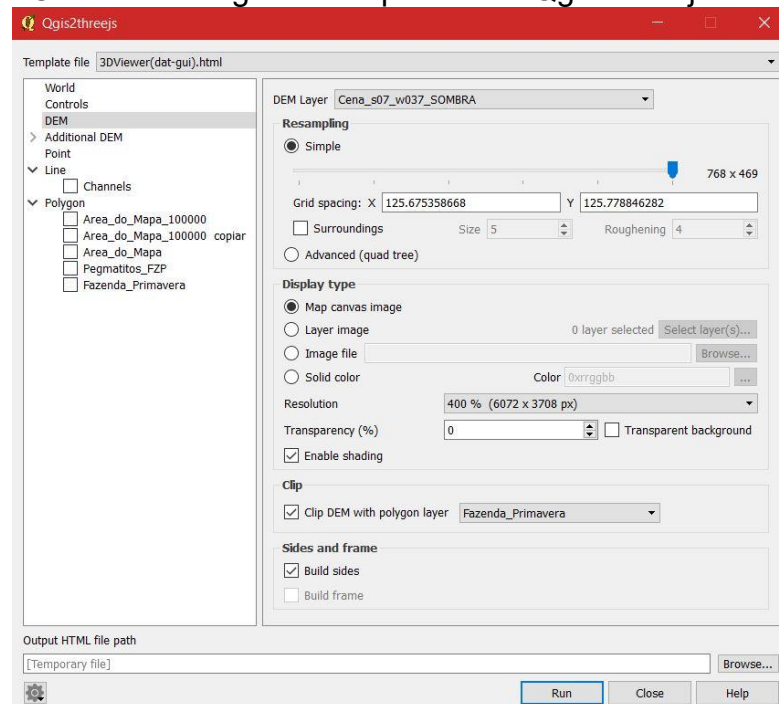
Figura 42 – Menu do complemento “Qgis2threejs”.



Fonte: Quantum GIS (2015).

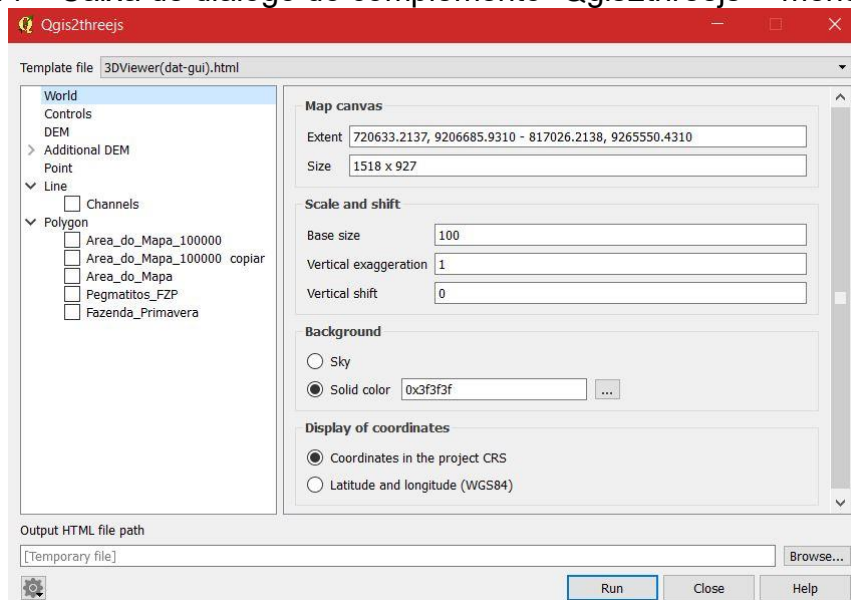
Ao abrir a caixa de diálogo “Qgis2threejs” (Figura 43), deverá ser escolhida a forma de arquivo a ser gerado “*Template file*”, no menu “DEM” (Figura 43), qual será a camada que servirá como base para a construção projeção do eixo “z”, a resolução “*Resampling*”, a forma de exibição “*Display type*”, se a área a ser construída em 3D deve ser recortada (delimitada por alguma feição) “*Clip*”, no menu “*World*” (Figura 44) escolher qual a escala a ser utilizada, o exagero vertical, a altura da base (bloco), a cor do bloco, e o tipo de sistema de coordenadas.

Figura 43 – Caixa de diálogo do complemento “Qgis2threejs” - menu “DEM”.



Fonte: Quantum GIS (2015).

Figura 44 – Caixa de diálogo do complemento “Qgis2threejs” - menu “World”.



Fonte: Quantum GIS (2015).

Nos exemplos utilizados neste trabalho foram utilizados os dados na forma padrão (nativa) do complemento, de acordo com as figuras 43 e 44, pois atendiam as necessidades de forma integral e objetiva.

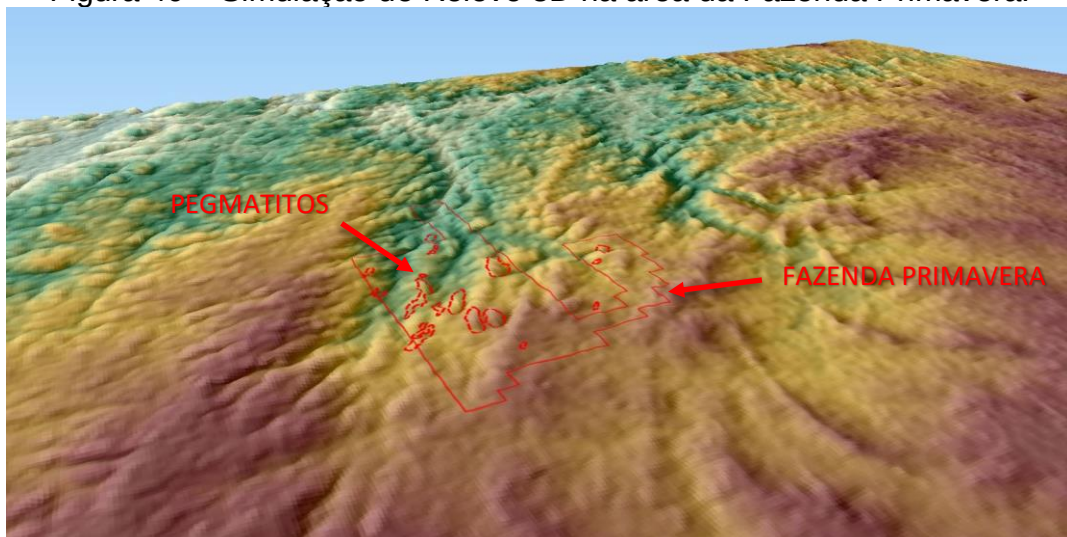
A figura 45 mostra uma vista E-W em perfil da região onde há maior concentração de pegmatitos aflorantes na Fazenda Primavera. Já a figura 46 destaca o relevo da região onde está situada a área estudada, onde as cores mais frias representam as altitudes mais baixas e as cores mais quentes representam as regiões de maior elevação.

Figura 45 – Vista E-W em perfil de área de pegmatitos aflorantes.



Fonte: O autor (2015).

Figura 46 – Simulação de Relevo 3D na área da Fazenda Primavera.



Fonte: O autor (2015).

As imagens são geradas e exibidas em um navegador *web* a partir do local de onde foi salvo o arquivo. Ela pode ser manipulada no navegador para melhor compreensão do relevo, também podem ser visualizados os *wireframes*, adicionar uma rotação constante na imagem para que seja observada em vários ângulos, etc.

4.3.5 Classificação Supervisionada de Imagens

É possível reconhecer padrões e objetos a partir de dados *raster*, extraindo assim as informações necessárias para mapear áreas de interesse da superfície terrestre que correspondam ao objetivo da análise, através de um processo conhecido como classificação de imagens (INPE, 2015).

A classificação pode ser realizada “pixel a pixel” ou por regiões. Na primeira, é utilizada apenas a informação espectral de cada pixel para determinar regiões homogêneas. No caso da segunda classificação, além da informação espectral de cada pixel, é considerada também a informação espacial que relaciona os pixels vizinhos buscando reconhecer áreas homogêneas das imagens baseados nas propriedades espaciais e espectrais.

Em ambos os casos, utilizam-se métodos estatísticos e/ou determinísticos para correlacionar os pixels e determinar a partir daí as áreas semelhantes.

Neste trabalho, para o estudo de cobertura do solo, o intuito foi distinguir com precisão as áreas onde o solo está exposto, onde há cobertura vegetal e também a localização de pequenos açudes (reservatórios), foi realizada a Classificação Supervisionada de Imagens.

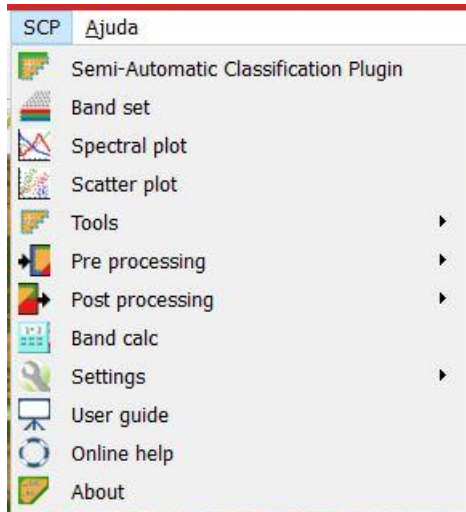
Para o INPE (2015) a Classificação Supervisionada é assim definida:

Quando existem regiões da imagem em que o usuário dispõe de informações que permitem a identificação de uma classe de interesse, o treinamento é dito supervisionado. Para um treinamento supervisionado o usuário deve identificar na imagem uma área representativa de cada classe. É importante que a área de treinamento seja uma amostra homogênea da classe respectiva, mas ao mesmo tempo deve-se incluir toda a variabilidade dos níveis de cinza. Recomenda-se que o usuário adquira mais de uma área de treinamento, utilizando o maior número de informações disponíveis, como trabalhos de campo, mapas, etc. Para a obtenção de classes estatisticamente confiáveis, são necessários de 10 a 100 “pixels” de treinamento por classe. O número de “pixels” de treinamento necessário para a precisão do reconhecimento de uma classe aumenta com o aumento da variabilidade entre as classes.

Para que pudessem ser realizados os processamentos de classificação supervisionada de imagem para categorização da cobertura do solo, foi utilizado o complemento *Semi-Automatic Classification Plugin – SCP*.

Após instalado, é criado na barra de ferramentas um menu denominado SCP (Figura 47) onde poderão ser acessadas todas as ferramentas deste complemento.

Figura 47 – Menu *Semi-Automatic Classification Plugin – SCP*.



Fonte: Quantum GIS (2015).

Foi utilizada a combinação de bandas 6-5-4, utilizando a cena LC82150652015318LGN00, do satélite Landsat-8, para realce da vegetação, facilitando assim a categorização.

A primeira etapa da classificação é a definição das categorias de interesse através da seleção de amostras.

No painel “SCP – ROI creation” (Figura 48) deverá primeiramente ser criado um arquivo de treinamento no formato *shapefile* no botão “New shp”. Nele estarão contidas as áreas geradas na classificação.

Em seguida, deverá ser salvo o arquivo onde ficarão contidas as assinaturas espectrais no painel “SCP – Classification” (Figura 49). Para isto deve-se clicar no botão “Save”, no campo “Signature list file”. Será aberta uma caixa onde será dado nome ao arquivo tipo XML que será criado, e indicada a pasta destino onde o arquivo será salvo.

Retornando ao painel “SCP – ROI creation” (Figura 48), deverão ser criados alvos vinculados às Classes e Macroclasses. Neste ponto deverão ser definidos os parâmetros da Região de Interesse (*Region of Interest – ROI*) no menu “ROI

parameters". Neste trabalho os parâmetros utilizados foram de 0,004 para definir o intervalo entre a distância espectral máxima do pixel de núcleo e os pixels adjacentes (em unidade radiométrica) - "*Range radius*"; 500 para a área mínima da região de interesse (em pixels) - "*Min ROI size*"; e 100 para a largura máxima da área de interesse (em pixels) - "*Max ROI width*". Os demais parâmetros não foram utilizados.

Figura 48 – Painel "SCP – ROI creation".

SCP: ROI creation

Training shapefile
Cobertura_do_Solo.shp

ROI list

MC ID	MC Info	C ID	C Info
1 1	VEGETACAO	2	Caatinga_Esparsa
2 2	AGUA	2	Agua
3 3	SOLO	1	Solo_Expoto
4 4	VEGETACAO	3	Vegetacao_Lacus...
5 5	VEGETACAO	1	Caatinga_Densa

Add to signature

ROI parameters

Range radius	Min ROI size	Max ROI width
0,004000	500	100

☐ Rapid ROI on band ☐ Automatic refresh ROI ☐ Automatic plot

ROI creation

+ Redo Show

☒ Display cursor for NDVI

ROI Signature definition

MC ID	MC Info	C ID	C Info
1	VEGETACAO	2	Caatinga_Esparsa

Save ROI Add sig. list Undo

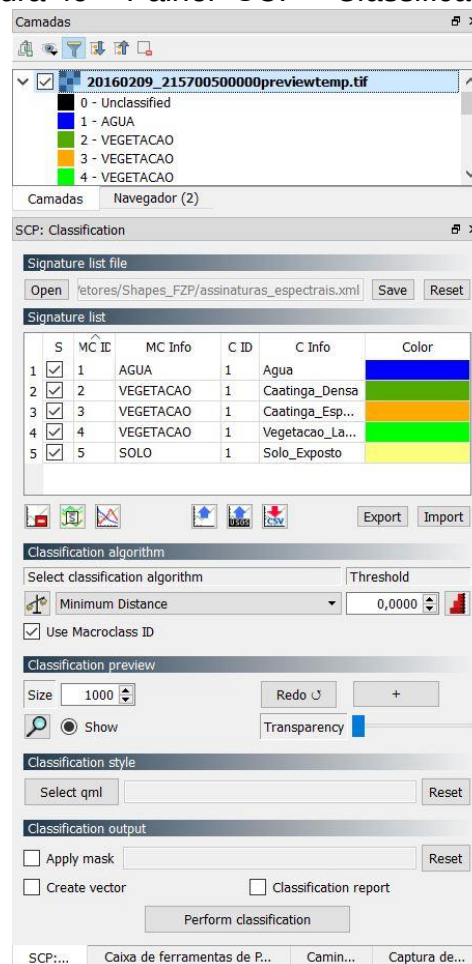
Fonte: Quantum GIS (2015).

Na próxima etapa, no menu "*ROI creation*", é onde escolhemos a forma de criação da área de interesse. Existem três formas de criação da área.

A primeira, "*Activate ROI Pointer*", é o instrumento de captura automática representada por um sinal (+). Após selecionar este instrumento, deve-se clicar na área desejada para que o polígono seja gerado automaticamente em função dos dados indicados pelo usuário no menu anterior.

A segunda forma, “*Create a ROI polygon*”, que foi a escolhida para o estudo, cria um polígono manualmente, contornando a área de interesse. Para auxiliar neste método, além da imagem Landsat utilizada, foi também carregada uma imagem de alta resolução através da ferramenta *OpenLayers Plugin* (Figura 12). Desta maneira foram desenhados polígonos nas áreas desejadas para que fosse gerada uma interpretação acerca dos dados radiométricos desta região, que serão usados pelo programa para gerar polígonos com interpretação radiométrica similar.

Figura 49 – Painel “SCP – Classification”.



Fonte: Quantum GIS (2015).

A terceira maneira, “*Multiple ROI creation*”, gera polígonos de maneira automática, útil para a rápida classificação de imagens multi-temporais. Utilizando os parâmetros indicados na etapa anterior, ele desenha polígonos automaticamente em torno de pontos definidos pelo usuário, necessitando assim de uma lista de coordenadas dos pontos e de definições de classe.

A etapa seguinte, “*ROI Signature definition*”, define as classes e/ou macroclasses a que cada polígono gerado pertencerá. Importante ressaltar que as

classes geradas irão indicar o tipo de objeto descrito pelo usuário. Esta etapa deve ser realizada logo após a construção de cada polígono, quantas vezes forem necessárias.

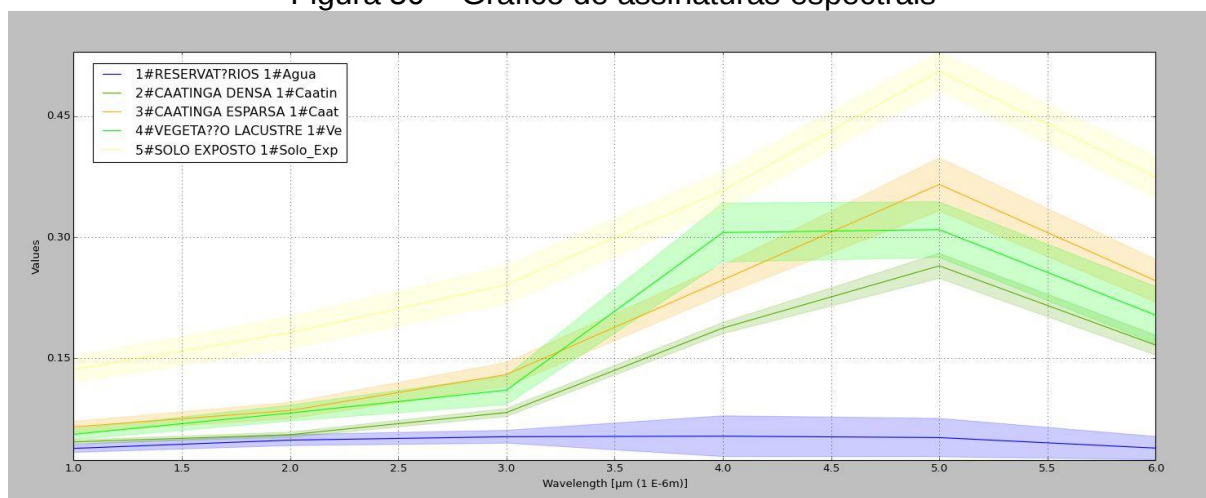
Neste trabalho foram utilizadas cinco Macroclasses (MC) e uma Classe (C) única para cada macroclasse. As classes foram definidas como Caatinga Densa, Caatinga Esparsa, Vegetação Lacustre, Água e Solo Exposto.

No campo “MC ID” é inserido um identificador para cada macroclasse. Importante não repetir a mesma numeração nesta fase. No campo “MC Info” é dada a denominação da macroclasse. No campo “C ID” é dado um identificador de classe. Neste ponto vale salientar que uma mesma macroclasse pode ter diversas classes. Já no campo “C Info”, será dada a denominação da classe.

Assim que forem dadas estas características ao polígono, deve-se clicar no botão “Save ROI” para que o local analisado seja salvo e carregado no menu “ROI list”.

No menu “ROI list” os ROI’s gerados podem ser ordenados, renomeados, etc. Também pode-se selecionar um ou mais ROI’s e verificar o gráfico da assinatura espectral (Figura 50), podendo compará-los em cada banda, o gráfico de dispersão dos pixels utilizados para captação dos dados espectrais, e também poderá excluir uma área que não tenha ficado a contento após a análise dos dados nos gráficos.

Figura 50 – Gráfico de assinaturas espectrais



Fonte: Quantum GIS (2015).

Após esta análise deve-se selecionar os ROI’s desejados (neste estudo foram cinco, como mencionado anteriormente) e clicar no botão “Add to signature” para que os dados sejam carregados no menu “Signature list” no painel “SCP – Classification” (Figura 49).

Neste menu poderão ser atribuídas cores para cada área de interesse. Esta coloração poderá ser alterada posteriormente, mas é interessante já nesta etapa estabelecer alguns padrões básicos, pois serão visualizadas algumas amostras de como ficará a interpretação em outros menus deste mesmo painel.

Neste mesmo menu poderão ser excluídas assinaturas que não se mostrarem interessantes nos testes, poderão também ser mescladas assinaturas espectrais de duas ou mais áreas de interesse, gerando assim uma única com a média resultante desta combinação. Assim como no menu “ROI list”, poderá ser visualizado um gráfico com as diferentes assinaturas, além de poder importar uma biblioteca espectral externa, ou exportar em arquivo CSV as assinaturas listadas.

No menu seguinte, “*Classification algorithm*”, deverá ser escolhido o algoritmo de classificação. São disponibilizados três algoritmos (*Minimum Distance* – Distância Euclidiana, *Maximum Likelihood* – Distância de Mahalanobis e *Spectral Angle Mapping* – Distância dos Cossenos). Foi utilizado o algoritmo de aprendizagem estatística da distância euclidiana, por representar, neste estudo, após testes com os outros algoritmos, de melhor forma a realidade encontrada na imagem.

No menu “*Classification preview*” é possível verificar uma pré-visualização de como ficará o resultado em determinada área da imagem. É possível estabelecer o tamanho do polígono que será desenhado em forma de um quadrado a partir de um pixel central escolhido pelo usuário. Para isto basta selecionar o tamanho “Size” do polígono (em pixels). Após isto, basta selecionar o botão (+) “*Activate Preview pointer*”, e em seguida clicar na área do mapa que se tenha interesse de visualizar. Caso deseje, o usuário pode aplicar uma transparência para que seja observada também a imagem subposta.

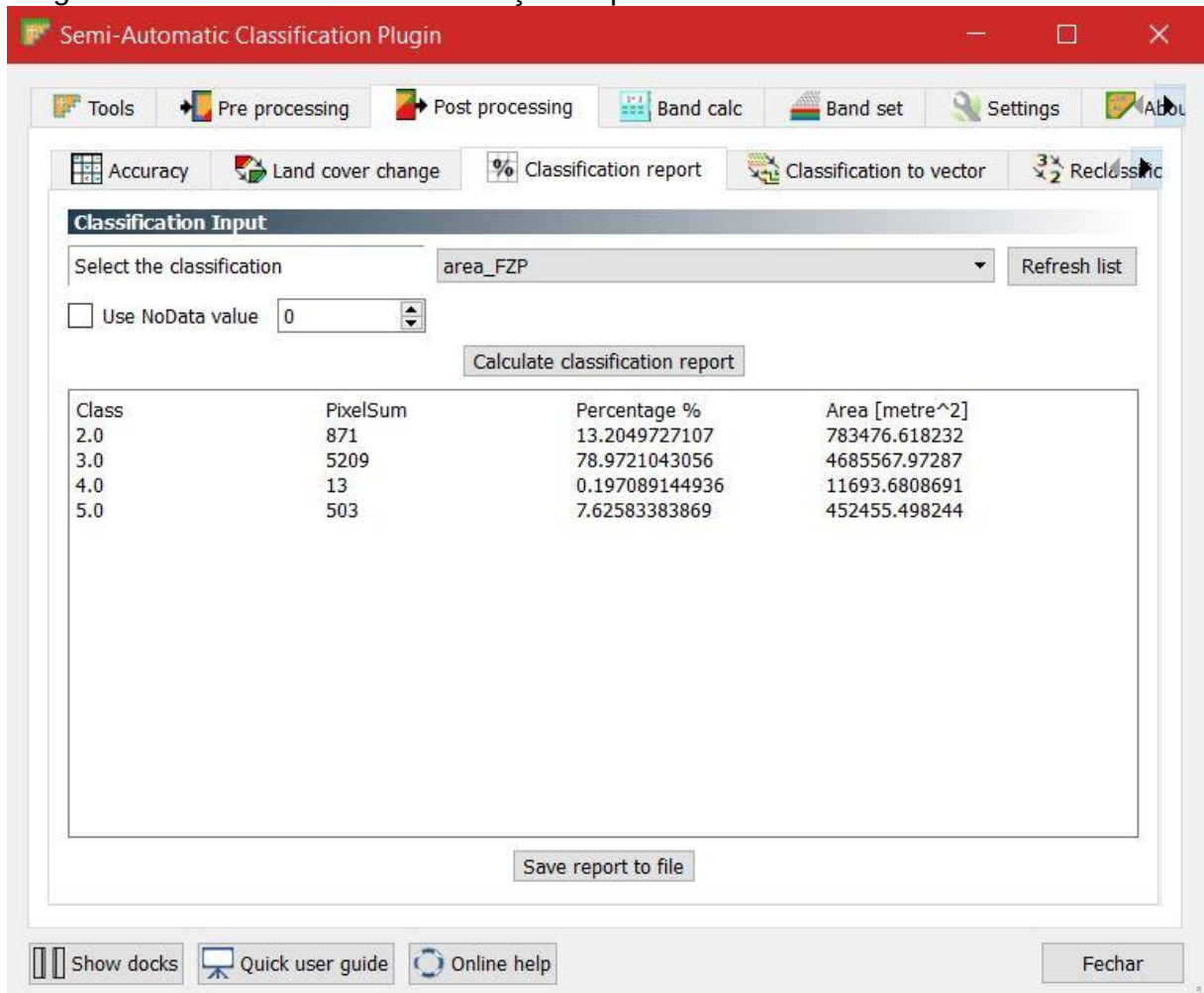
O menu “*Classification output*” é o local onde será finalizada a classificação da imagem estudada. Será gerada uma imagem TIF, classificada de acordo com as características imputadas em todas as fases anteriores pelo usuário.

Os limites serão os mesmos da imagem original. Se o usuário desejar apenas uma área específica de uma cena, deverá recortá-la para obter o resultado desejado. Também poderá ser gerado um arquivo vetorial *shapefile* com as mesmas características do *raster* anteriormente gerado.

Para isto basta selecionar a caixa “*Create vector*”. Ao selecionar a caixa “*Classification report*” será gerado um arquivo com a área em metros quadrados e em

percentual de cada classe que pode ser visualizada através da sub aba “*Classification report*” da aba “*Post processing*” (Figura 51).

Figura 51 – Relatório da Classificação Supervisionada – Área Fazenda Primavera.



Fonte: Quantum GIS (2015).

Após a geração desta classificação, os dados foram utilizados para a confecção de um mapa da Cobertura de Solos da região pesquisada.

4.4 CONFEÇÃO DE MAPAS

O objetivo da confecção de mapas, seja em meio digital ou físico, é localizar espacialmente uma cena e nela extrair os elementos necessários para compor um tema desejado.

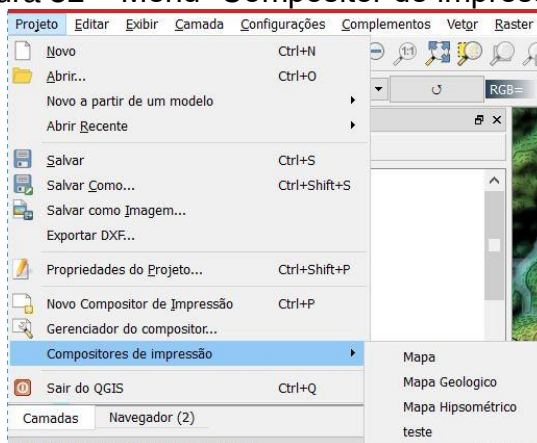
Para isto faz-se necessário reunir todos os dados que compõem o mapa específico, realizar processos, se for o caso, para melhor representação, e, por fim, organizar tudo de forma clara e bem arranjada para o fácil entendimento do intérprete.

Nesta fase é fundamental uma certa habilidade artística para equilibrar as cores, formatar os limites, distribuir de forma simétrica quadros, legendas, molduras, e também é muito importante o conhecimento técnico para informar as direções (indicação do Norte), exibição das escalas, citação das fontes dos dados, dentre outros que se fizerem necessário.

O QGIS é nativo para a confecção de mapas, sejam digitais ou para impressão. Após escolher o tipo de mapa a ser elaborado, basta carregar no programa as informações, sejam imagens ou dados vetoriais, organizar de forma clara e adequada, salvar as alterações para que o próximo passo, a organização em *layout*, possa ser feito.

Assim que estiverem minimamente satisfeitos estes critérios, o usuário poderá optar por abrir um “Compositor de impressão” (Figura 52). Nele será definido o *layout*, e assim o mapa poderá ser editado para apresentação em um relatório, como um documento, ou simplesmente para orientação em campo. O usuário carregará um compositor pré-existente ou criará um novo, a partir do zero. Nele serão definidos o tipo e tamanho de página, localização das margens, legenda, carimbo, enfim, tudo que for essencial em um mapa.

Figura 52 – Menu “Compositor de impressão”.



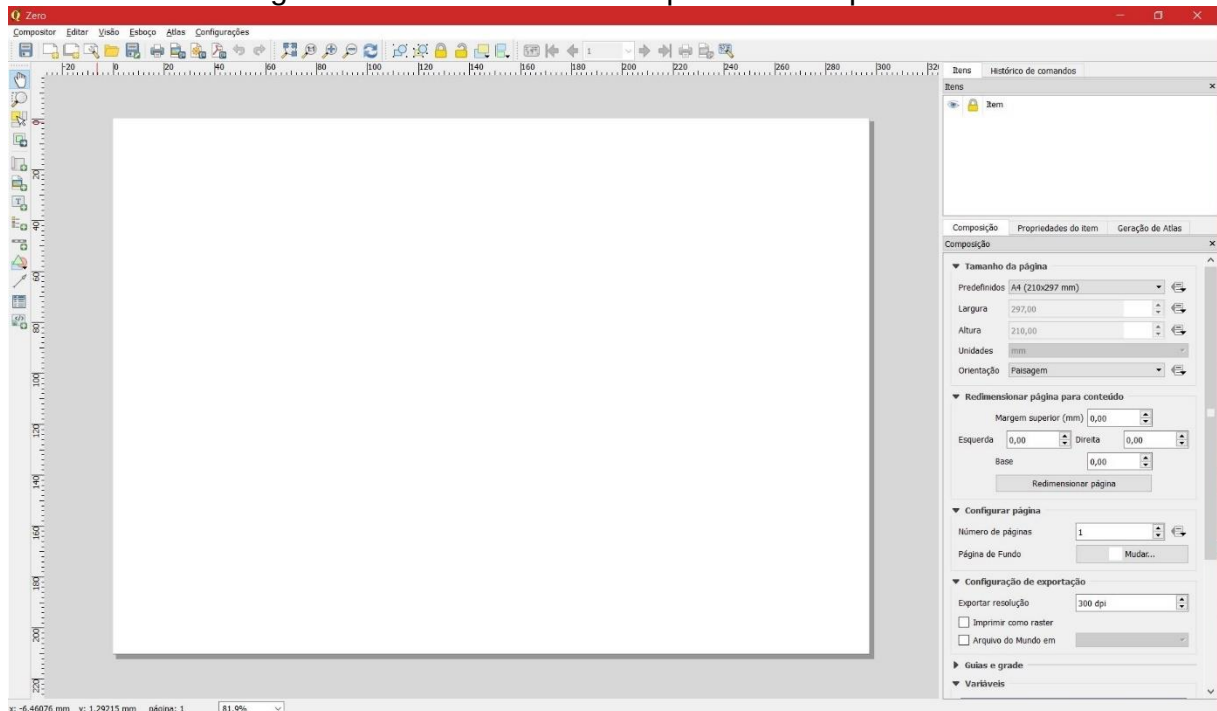
Fonte: Quantum GIS (2015).

A figura 53 mostra a interface do “Compositor de impressão” de mapas do QGIS. Na barra lateral esquerda ficam as ferramentas mais utilizadas. Nela encontram-se as ferramentas básicas para manipular o mapa propriamente dito, como imagens, itens inseridos, ferramentas de desenho, texto, escala, legenda, etc.

Na parte superior ficam dispostas as ferramentas para gerenciamento dos arquivos, como salvar o conteúdo à medida que é manipulado, adicionar itens,

exportar o mapa em diversos formatos, desfazer ações, zoom, atualizar a visão (quando há inserção de dados ao mapa pelo QGIS), ferramentas de impressão etc.

Figura 53 – Ferramenta “Compositor de impressão”.

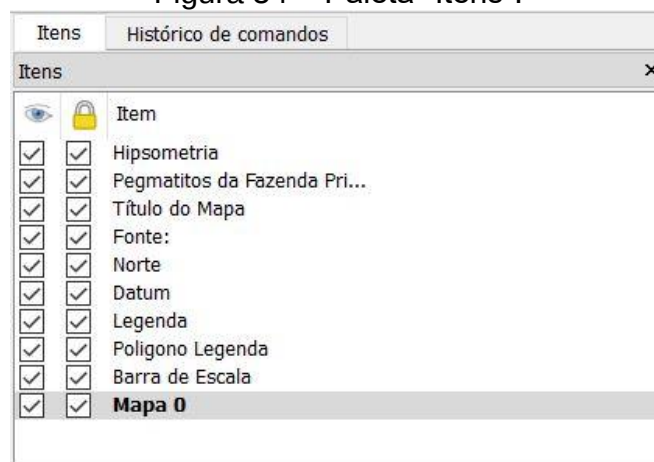


Fonte: Quantum GIS (2015).

Todas estas ferramentas também podem ser acessadas através dos menus na barra de menus (Composição, Editar, Esboço, Atlas e Configurações).

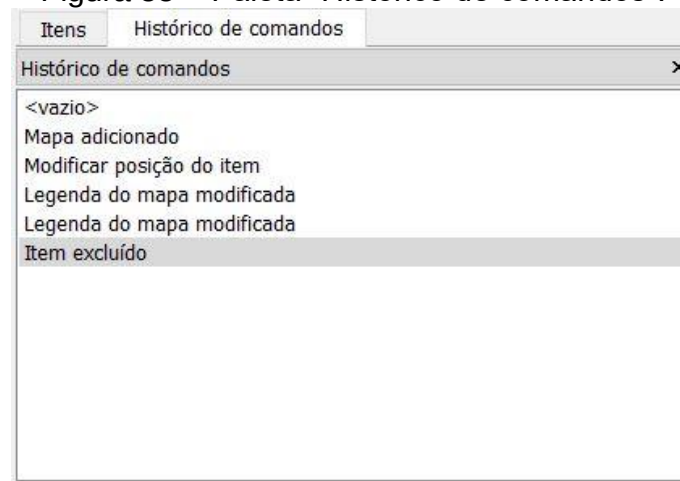
Na parte à direita no compositor ficam dispostas duas janelas. A janela superior exibe duas paletas. A primeira é denominada “Itens” (Figura 54) e exibe os itens inseridos no “Compositor de impressão”, a segunda paleta é denominada “Histórico de comandos” (Figura 55), exibindo as ações que o usuário executou através de comandos.

Figura 54 – Paleta “Itens”.



Fonte: Quantum GIS (2015).

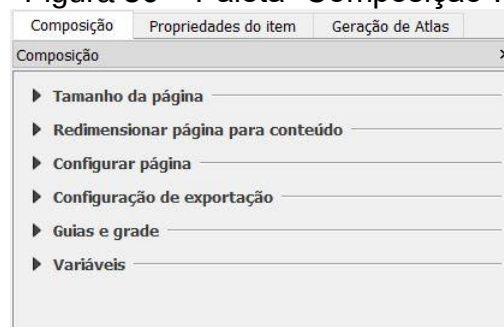
Figura 55 – Paleta “Histórico de comandos”.



Fonte: Quantum GIS (2015).

Já a janela inferior é composta por três paletas onde a primeira é denominada “Composição” (Figura 56), onde são definidas as configurações globais da composição, como o formato e orientação do papel, configuração de página, número de páginas, linhas guia, grade, definições para exportação, e verificar as variáveis do projeto.

Figura 56 – Paleta “Composição”.

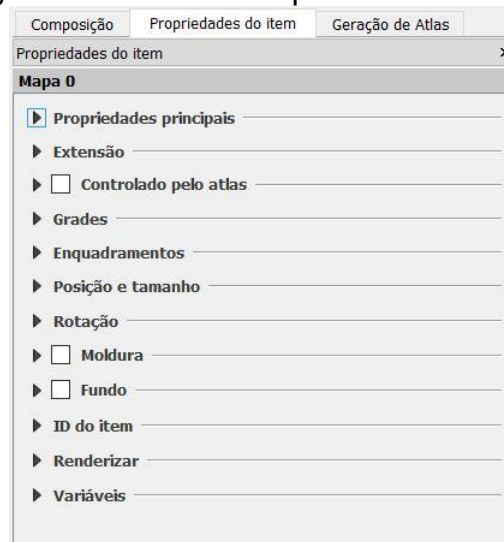


Fonte: Quantum GIS (2015).

A segunda paleta é denominada “Propriedades do item” (Figura 57), e exibe todas as propriedades do item selecionado. Estas propriedades variam de acordo com o tipo de objeto.

Se o item selecionado for um mapa, a paleta exibirá propriedades como escala, grades, posicionamento e tamanho na página, moldura, fundo etc. Se for outro, como “Legenda”, exibirá as propriedades específicas deste objeto como renomear e selecionar quais camadas serão exibidas na legenda, fontes utilizadas, número de colunas, símbolos etc.

Figura 57 – Paleta “Propriedades do item”.



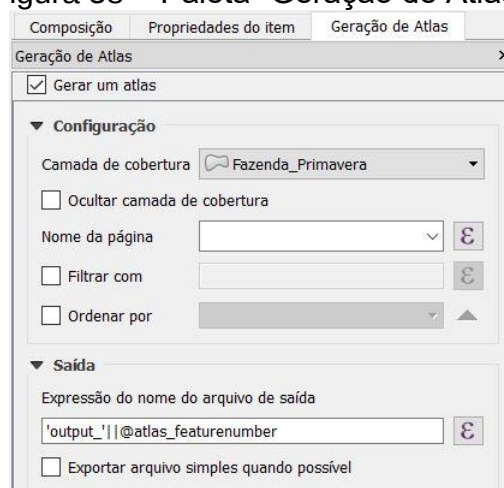
Fonte: Quantum GIS (2015).

Cada item tem propriedades específicas e estas serão exibidas de acordo com o item selecionado. A terceira paleta, “Geração de Atlas” (Figura 58), permite que seja gerado e gerenciado um “livro de mapas” onde várias páginas com mapas diferentes, mas com a mesma origem, são criados.

Basta manipular os itens e configurá-los da maneira desejada para que o mapa seja gerado de forma adequada ao projeto.

Para este trabalho foram confeccionados seis mapas, que serão discutidos e apresentados no próximo capítulo, seguindo os procedimentos descritos acima de maneira simples e ágil, gerando resultados bastante satisfatórios que serão demonstrados e discutidos oportunamente.

Figura 58 – Paleta “Geração de Atlas”.



Fonte: Quantum GIS (2015).

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Visto que a ideia fundamental é reduzir os custos da maior maneira possível na fase inicial de um empreendimento mineiro, tomou-se como referência para a medição da eficiência e qualidade dos resultados (com o *software* utilizado, a compilação e processamento dos dados, e a confecção de mapas), os próprios mapas gerados, pois estes necessitam de diversas informações que só podem ser incorporadas após a aquisição e processamento dos dados obtidos e/ou manipulados, conforme descrito no capítulo 4, e através de um programa específico para a geração de mapas.

Os dados que não podem ser incorporados diretamente a mapas, como Imagens 3D e Cálculos Volumétricos, também serão discutidos, à parte.

5.1 GERAÇÃO DE MAPAS

O Quantum GIS ofereceu todos estes recursos referentes a ser um SIG livre estável, confiável, com capacidade de produção e manipulação de dados, superando as expectativas, sem travamentos ou fechamentos inesperados.

Outro ponto a ser destacado é a qualidade dos dados adquiridos através das bibliotecas públicas utilizadas. Todos eles, sejam *rasters* ou vetores, mostraram-se confiáveis mesmo após modificados ou tratados. Cerca de 95% das informações utilizadas foram providas desta forma, e utilizadas gerando mais informação de qualidade que pode ser verificada nos mapas construídos.

O programa também permitiu a criação e correção de vetores a partir de imagens de alta resolução espacial pelo método de vetorização de imagens, que foram carregadas pelo complemento *Open Layers Plugin* (Figura 12). No entanto, há uma limitação no programa no que diz respeito à geração de mapas com imagens oriundas deste complemento. Elas não podem ser exibidas no “Compositor de Impressão”.

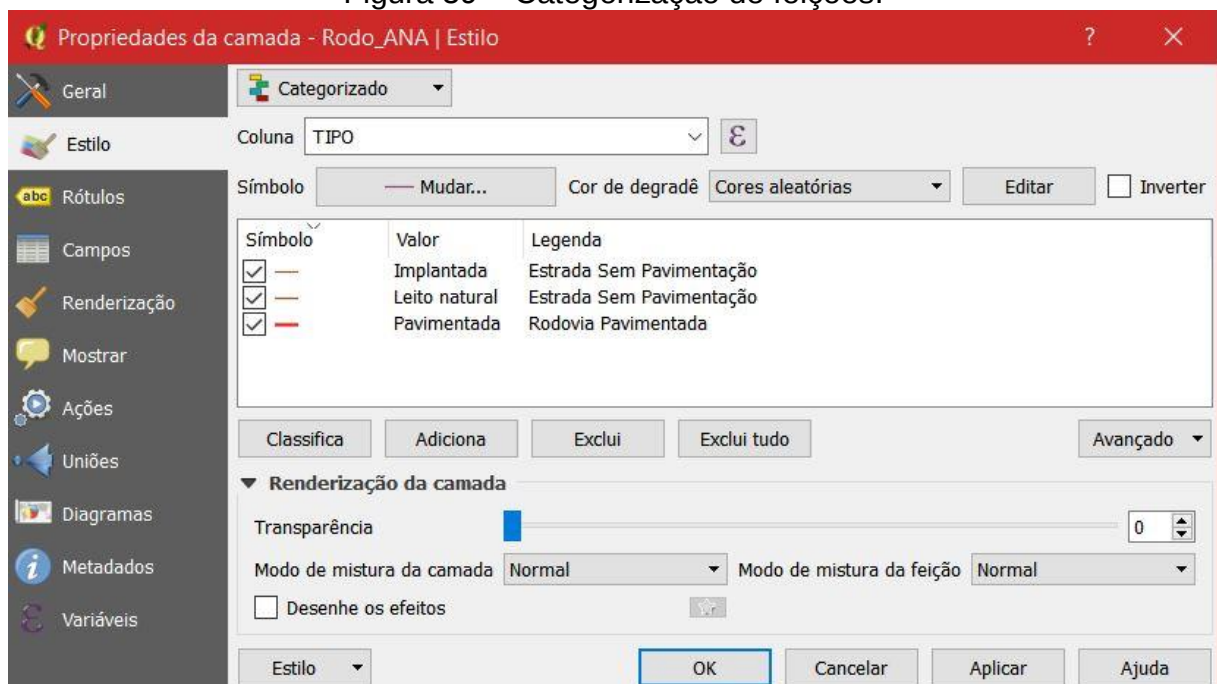
Esta foi a única limitação encontrada para a confecção dos mapas, no entanto, para a interpretação de imagem e manipulação dos vetores dentro do QGIS não houve qualquer problema.

5.1.1 Mapa de Localização

Os dados para a base cartográfica, obtidos do IBGE, puderam ser manipulados com facilidade no programa, categorizados e rotulados. A figura 59 demonstra como é simples a categorização de feições. Categorizar vetores é um recurso bastante utilizado em mapas para a distinção visual entre diferentes características que um mesmo vetor possa possuir.

Neste caso, um mesmo vetor possuía em seus dados tabulares os tipos de rolagem das rodovias, que foi categorizado facilitando a distinção no mapa, bem como no momento de elaboração da Legenda.

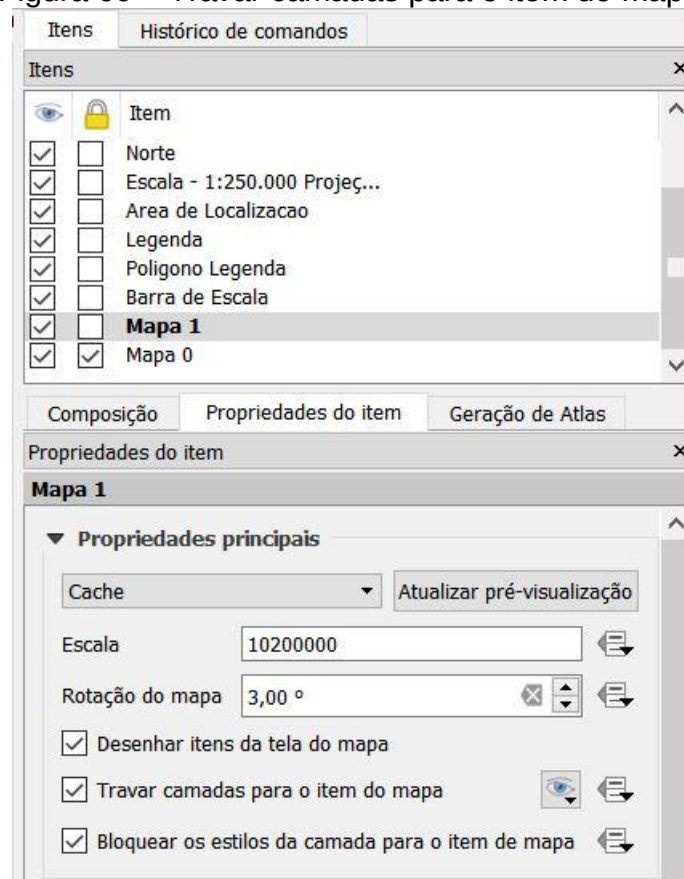
Figura 59 – Categorização de feições.



Fonte: Quantum GIS (2015).

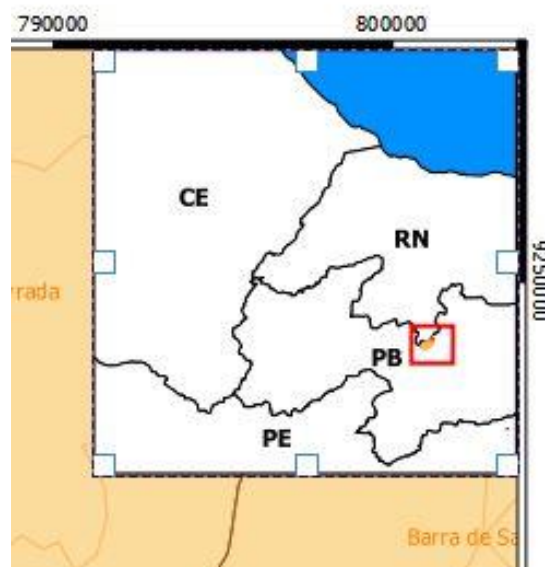
Neste tipo de mapa são utilizados apenas vetores. Uma característica interessante do “Compositor de impressão” do QGIS é a possibilidade de “travar” as atualizações do mapa (Figura 60). Com isto é possível manipular os dados no QGIS sem que se altere o mapa do compositor. Este recurso foi utilizado para a confecção de um mapa auxiliar (Figura 61) na parte superior direita do Mapa de Localização (Figura 62).

Figura 60 – Travar camadas para o item do mapa.



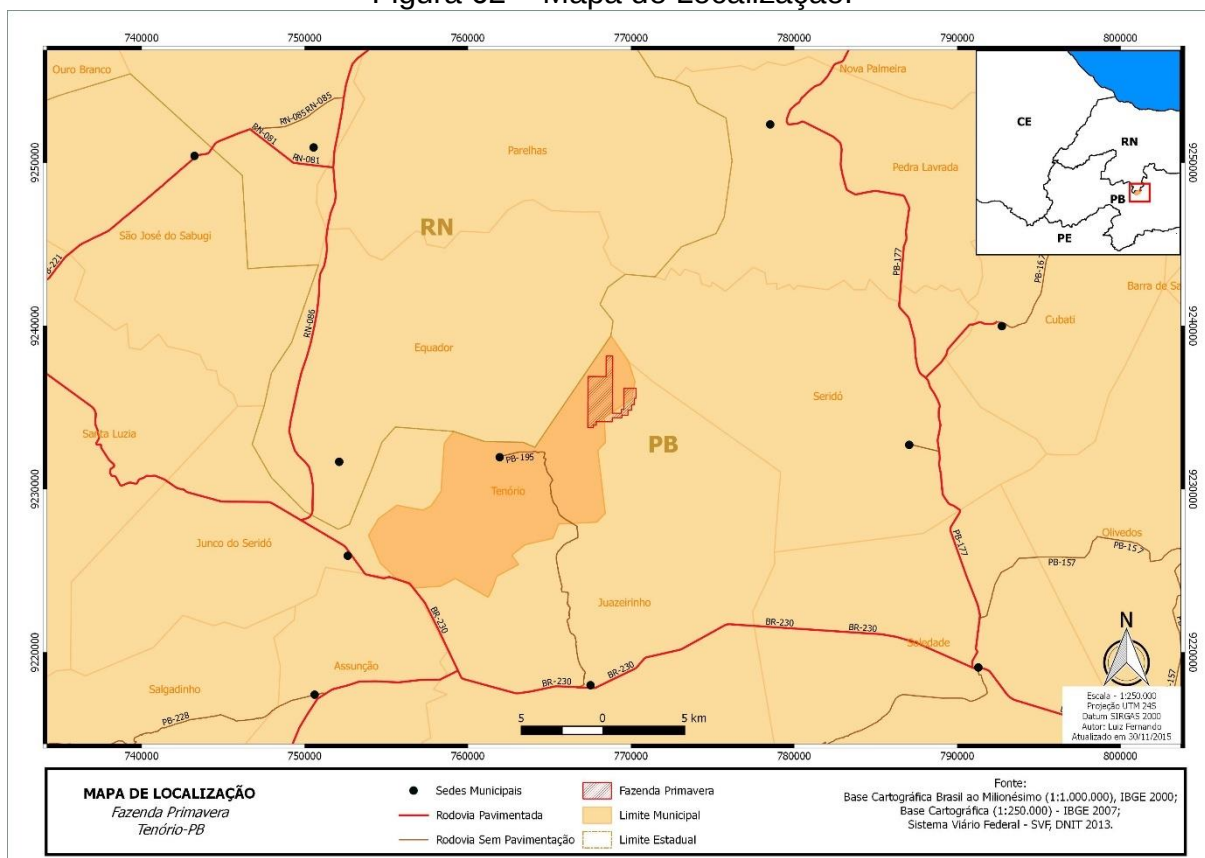
Fonte: Quantum GIS (2015).

Figura 61 – Mapa auxiliar do Mapa de Localização.



Fonte: O autor (2015).

Figura 62 – Mapa de Localização.



Fonte: O autor (2015).

5.1.2 Mapa Geológico

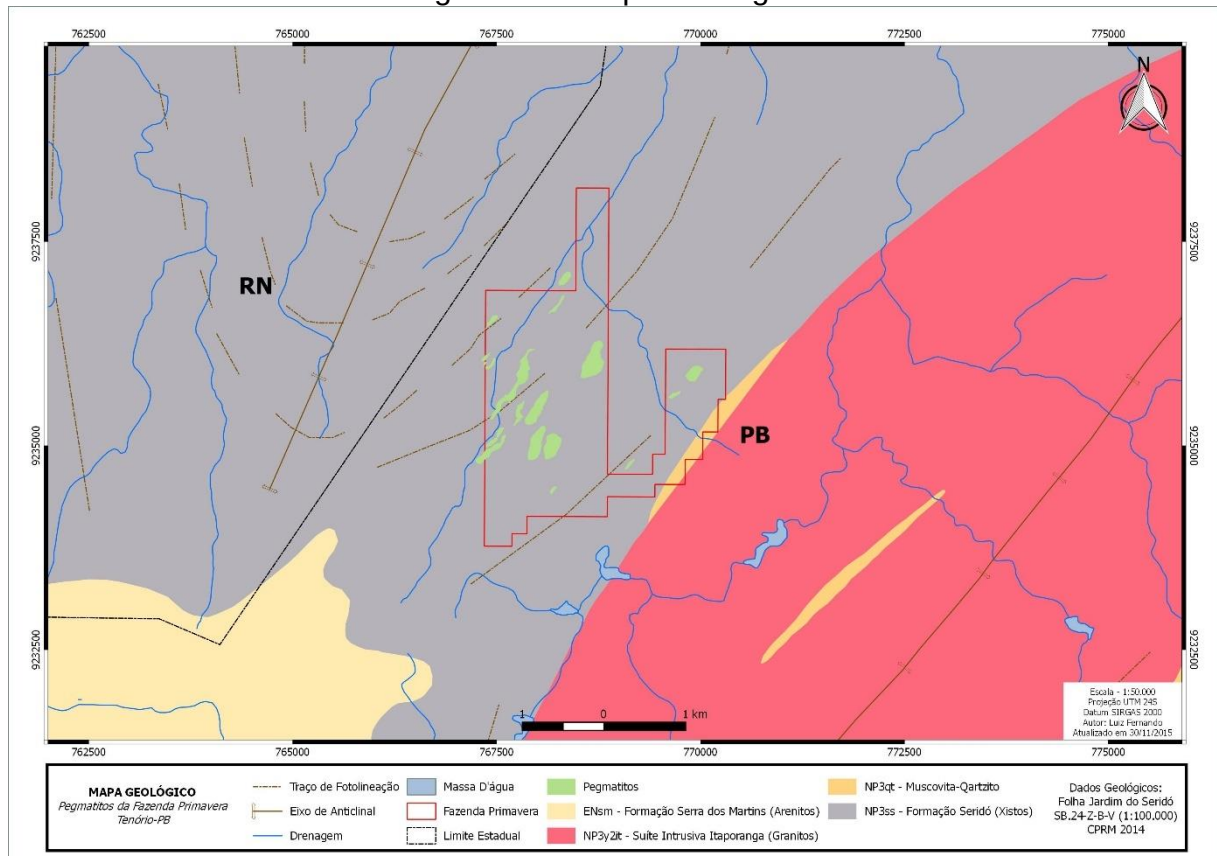
Pela escassez de dados da geologia de detalhe, foram utilizados apenas dados de geologia regional da Folha Jardim do Seridó (referência internacional SB-24-Z-B-V) executada pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte para a CPRM.

No entanto, com o cálculo de volume dos corpos encontrados e o auxílio das imagens de satélite, pode-se interpretar melhor a geologia. Este mapa será uma ferramenta importante para verificar a localização exata de contatos regionais e delimitação *in loco* dos corpos.

Os corpos pegmatíticos foram adquiridos em meio vetorial e corrigidos visualmente com imagens de alta resolução espacial pelo *software* utilizado no estudo, que se mostrou bastante preciso, melhorando a confiabilidade do dado, visto que os dados adquiridos têm origem em caminhamentos com receptor GPS de baixa precisão e pouco conhecimento dos limites dos corpos. Pode-se verificar na figura 63 a

qualidade do mapa no acabamento e na moldura com grade de coordenadas, que facilita a localização em campo com o auxílio de um escalímetro.

Figura 63 – Mapa Geológico.



Fonte: O autor (2015).

É importante ressaltar que todo mapa deve possuir a escala gráfica para facilitar as medidas na ausência de um escalímetro, bem como o sistema de projeção e o *datum* de representação dos dados.

A representação do Norte atualmente é meramente decorativa, visto que a posição e “orientação padrão” dos *softwares* é voltada para esta direção. No entanto, é fundamental a representação de direção nos casos (não convencionais) em que o mapa for elaborado em uma posição diferente do padrão com sentido Norte.

5.1.3 Mapa Hipsométrico

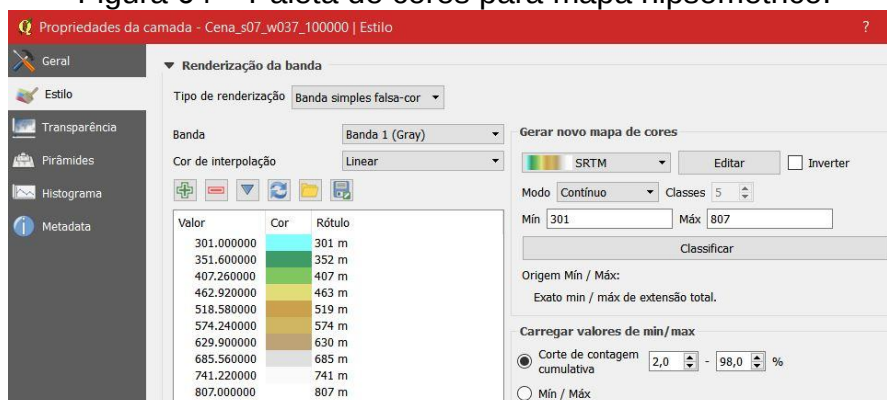
Para Sá (2014), um mapa hipsométrico é concebido através da representação das elevações de um terreno através de cores. No entanto, neste trabalho, além da representação por cores, o QGIS permitiu a representação também

das cotas altimétricas do terreno, obtidas por processamento de uma cena SRTM em forma de curvas de nível. Com esta cena também foi possível gerar uma imagem de relevo sombreado que, sobreposta à imagem SRTM original e com os devidos tratamentos, permitiu a simulação visual do efeito 2,5D, dando uma sensação de profundidade, tudo isto feito de maneira rápida.

A paleta de cores utilizada pôde ser modelada facilmente no próprio programa pelo autor deste estudo. Também há a possibilidade de se carregar paletas de cores pré-configuradas de outros programas, desde que estejam salvas e acessíveis em alguma pasta.

A figura 64 apresenta a paleta utilizada e confeccionada exclusivamente para este mapa, salva com o nome SRTM.

Figura 64 – Paleta de cores para mapa hipsométrico.



Fonte: Quantum GIS (2015).

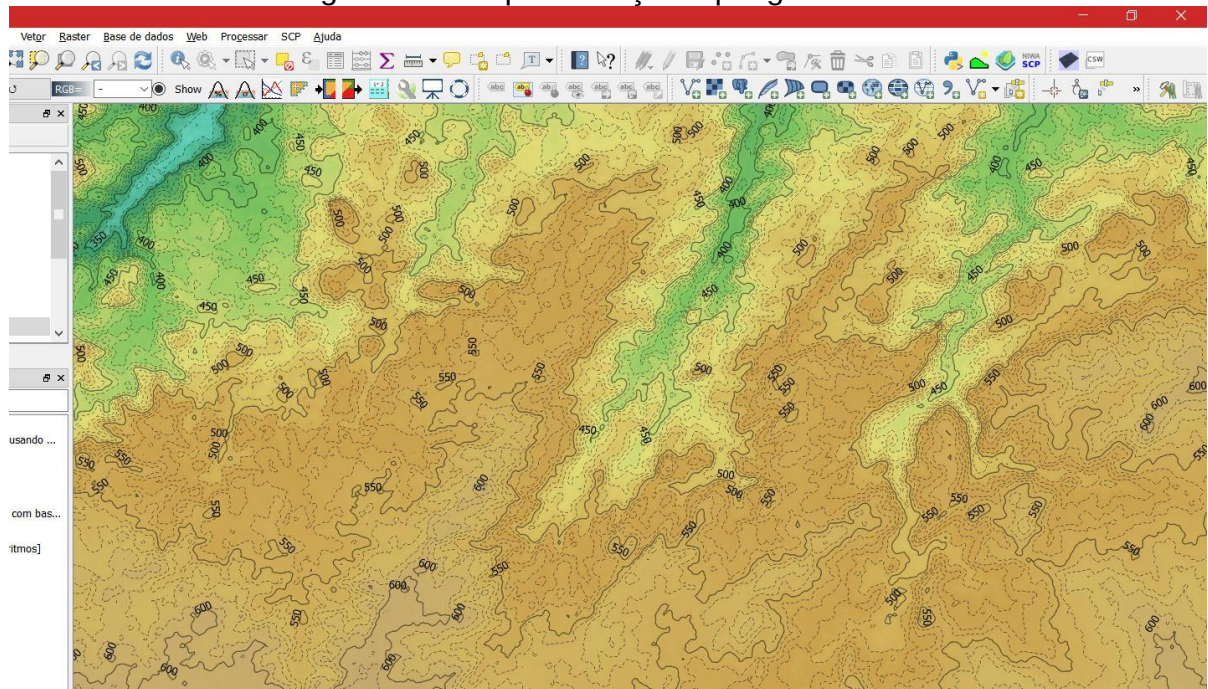
Observa-se outra vantagem que o “Rótulo” pôde ser alterado, inserindo a altitude em metros. Na figura 65 pode-se observar a representação hipsográfica sem o efeito 2,5D, apenas com as cotas extraídas da imagem SRTM e a coloração gerada de acordo com os dados SRTM.

As curvas de nível geradas através de processamento descrito anteriormente, com intervalos de 10 metros, também puderam ser trabalhadas visualmente no programa, e categorizadas.

Foram instituídas “curvas mestras” a cada 50 metros de desnível e, entre elas, “curvas intermediárias” com intervalo de 10 metros. Assim facilita-se a observação nesta escala pela diferença de desenho das linhas. Curvas mestras são linhas cheias e as intermediárias são tracejadas.

Através da escala de cores é possível compreender as altitudes e seus limites, além das próprias curvas de nível rotuladas.

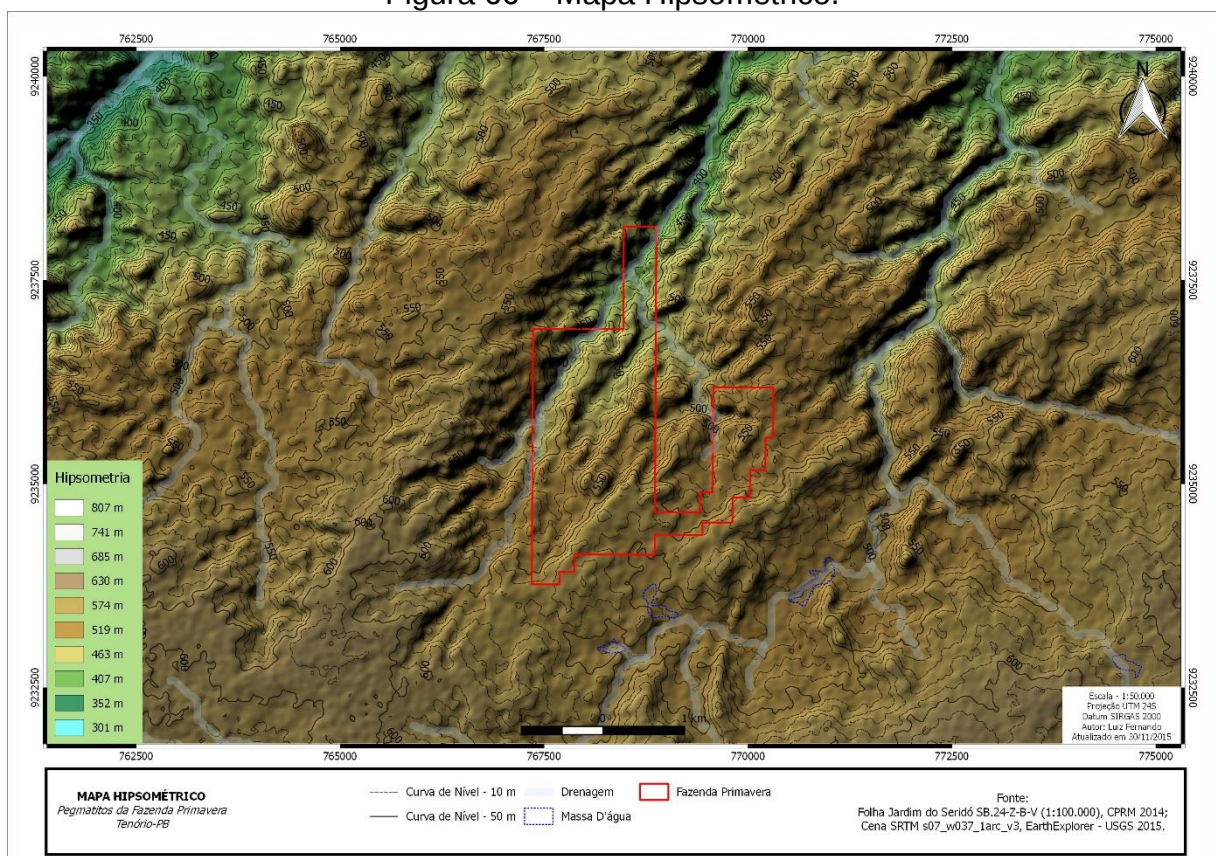
Figura 65 – Representação hipsográfica 2D.



Fonte: O autor (2015).

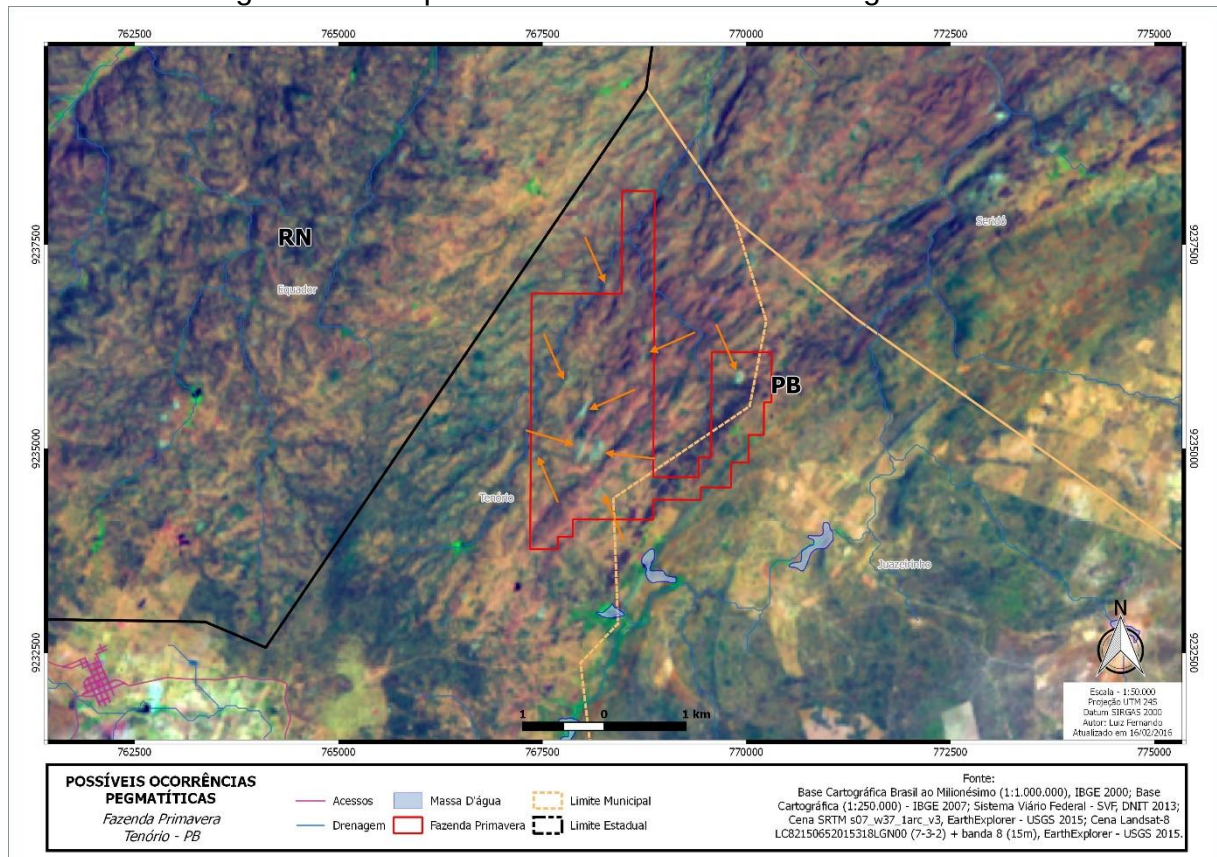
O resultado foi, esteticamente, de um belo mapa (Figura 66), e, tecnicamente, com diversas informações úteis para compreender o relevo da região.

Figura 66 – Mapa Hipsométrico.



Fonte: O autor (2015).

Figura 71 – Mapa de Possíveis Ocorrência Pegmatíticas.



Fonte: O autor (2015).

5.1.5 Mapa de Estudo Logístico

Para efeito deste trabalho, foi produzido um mapa de estudo logístico que possibilitou a identificação de opções para o deslocamento de pessoal, e também para o transporte de cargas e futuros produtos gerados.

O resultado foi bastante satisfatório, tendo em vista que o QGIS, além de “desenhar” o mapa, também foi capaz de fornecer as distâncias entre os pontos através de processamento das feições linhas.

O estudo englobou, além dos acessos rodoviários e ferroviários, a infraestrutura de transbordo, como portos e aeródromos, este último indicando apenas os mais próximos, focando em aeronaves de pequeno porte e pistas de pouso menores.

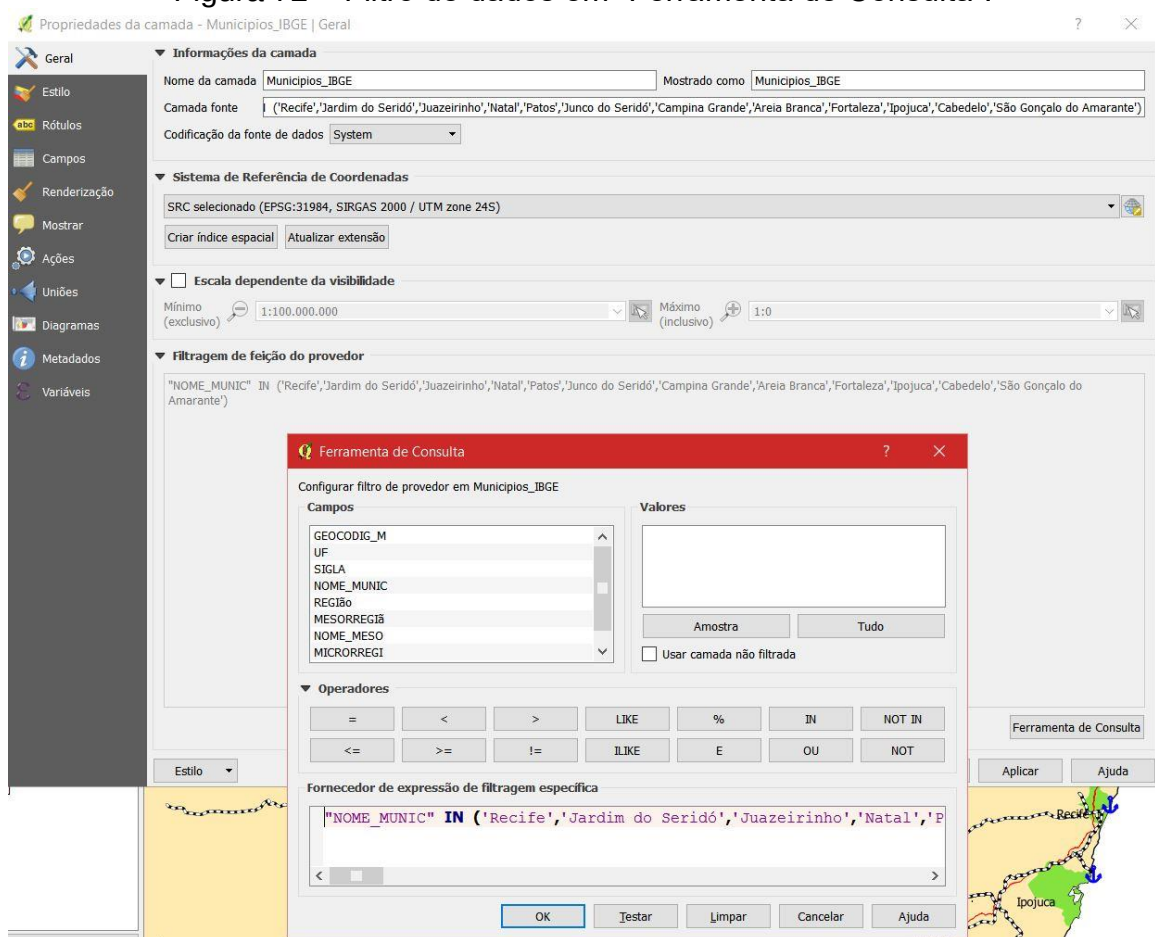
Neste mapa nota-se que o QGIS possibilitou, além da eficiência na medição da distância entre dois objetos (Fazenda Primavera e Aeródromos, por exemplo), também a categorização feita para os municípios onde as estruturas

(portuária, aeroaviária e ferroviária) estão sediadas, além da possibilidade de filtrar apenas os objetos desejados dentro de uma feição.

No caso dos municípios, verifica-se que em um grupo contendo todos os municípios da região nordeste, foram selecionados apenas os de interesse deste projeto através da “Ferramenta de Consulta” (Figura 72), no menu “Geral” - “Propriedades da Camada” (Figura 18).

Para isto foi usada uma “calculadora” onde são digitadas expressões que, com os devidos operadores, conseguem filtrar os dados tabulares desejados.

Figura 72 – Filtro de dados em “Ferramenta de Consulta”.



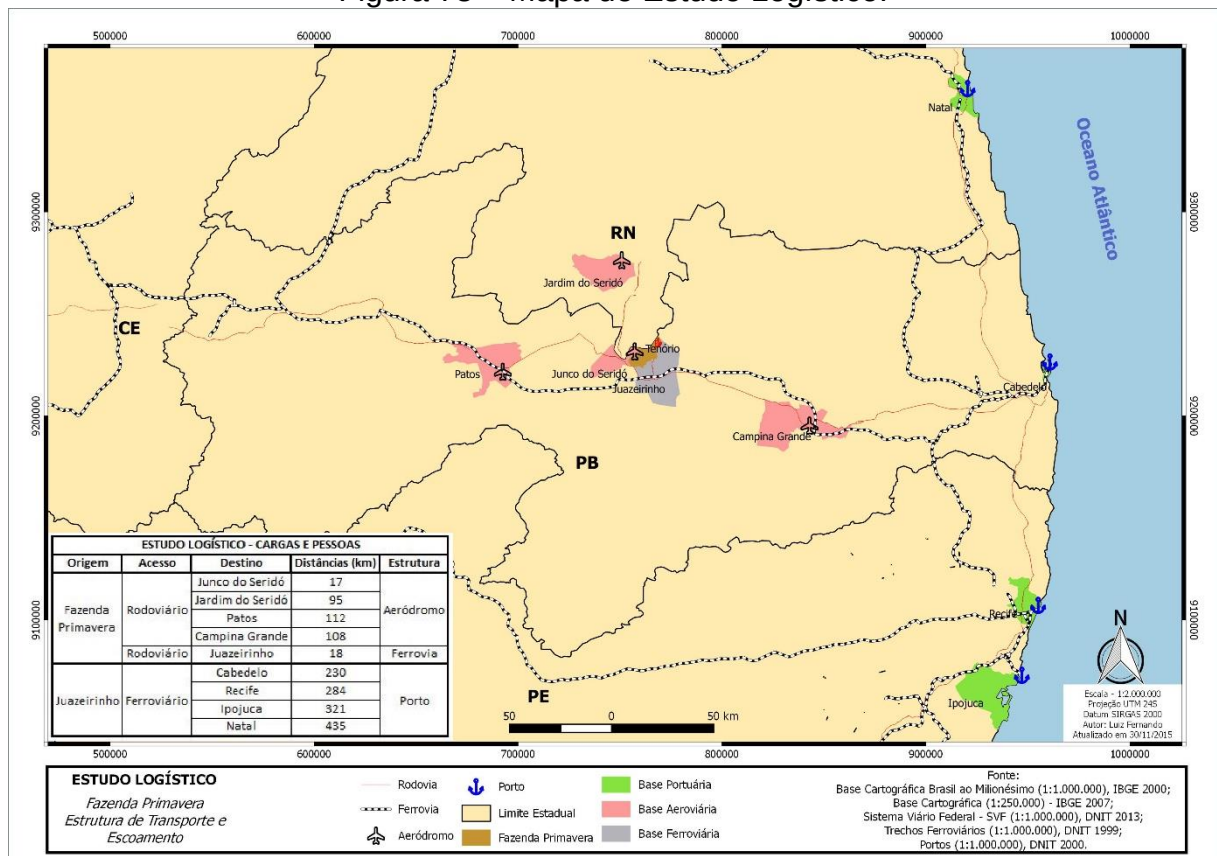
Fonte: Quantum GIS (2015).

Este mesmo método foi utilizado para filtrar apenas as rodovias de interesse para a exibição no mapa.

Também foi possível a inserção de uma tabela com as distâncias entre os pontos abordados neste projeto, mostrando a versatilidade do SIG.

O resultado destas operações pode ser observado no mapa criado (Figura 73).

Figura 73 – Mapa de Estudo Logístico.



5.1.6 Mapa de Cobertura de Solo

A responsabilidade em relação ao planejamento espacial, monitoramento e proteção do meio ambiente tem crescido enormemente nos últimos anos. São criadas constantemente novas leis que restringem e asseguram um melhor uso do solo, seja do ponto de vista social, ou ambiental. Portanto uma mineração deve priorizar, desde seu início, estudos que assegurem o cumprimento das legislações e regulamentações dos órgãos ambientais, pois a emissão de licenças e alvarás, nas diversas fases do empreendimento, são liberadas somente após a constatação do cumprimento das exigências legais pelos órgãos de fiscalização.

Para Blaschke *et al* (2007), dados básicos para um bom planejamento precisam de informações atualizadas sobre as condições da região analisada, e que estas estejam sempre disponíveis, preferencialmente com uma boa resolução. Para o gerenciamento de conflitos ou tomada de decisão sustentáveis, é necessária uma base de dados reconhecida por todos os participantes e que demonstre um cenário atual da situação.

Um exemplo concreto associado ao monitoramento ambiental é o de uso e ocupação do solo. O acesso a recursos naturais como áreas agricultáveis, água, bem como a desertificação, são grandes desafios (BLASCHKE *et al*, 2007), principalmente na região objeto deste estudo, bastante vulnerável em função do bioma caatinga no semiárido brasileiro.

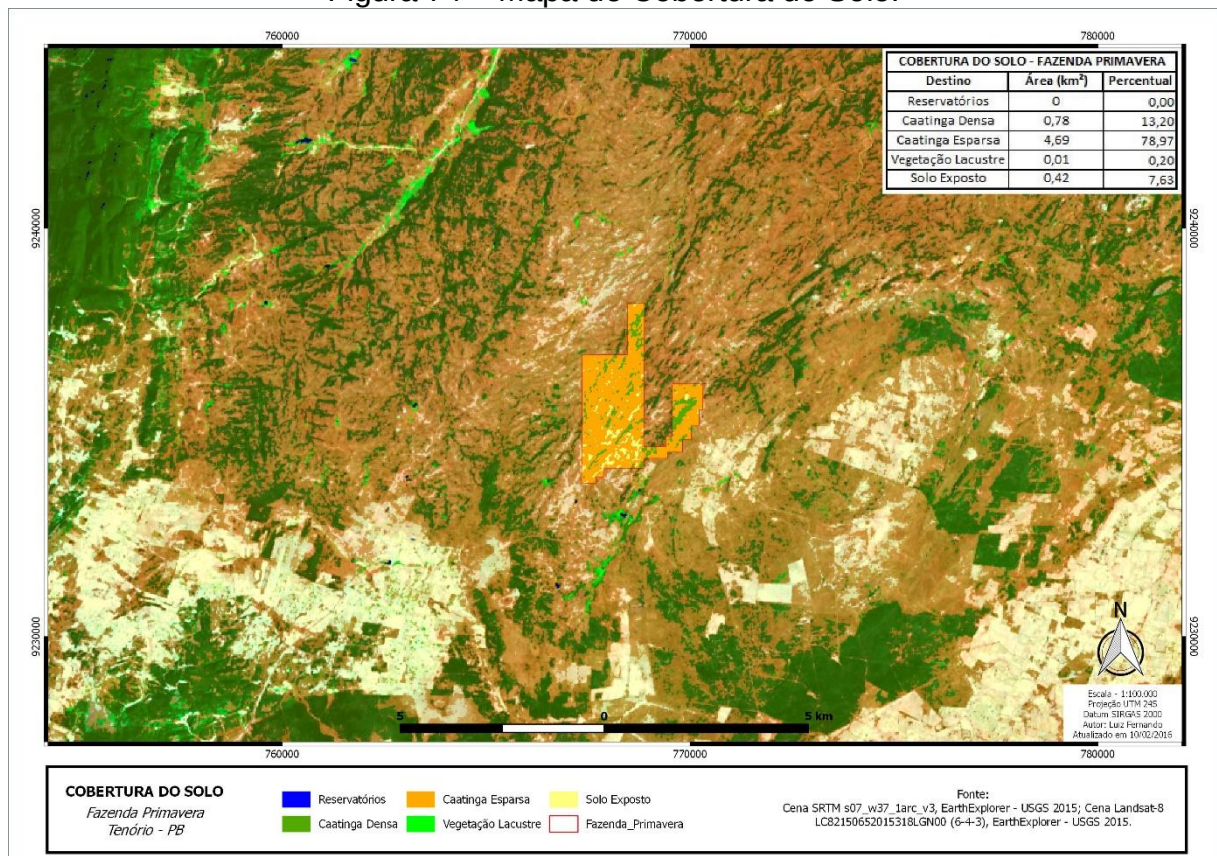
Tendo em vista os fatores mencionados, e que um empreendimento mineiro interfere no meio ambiente desde as fases iniciais, com desmatamento, consumo de água no processamento, caso se prove viável economicamente a reserva mineral, consumo de energia, interferência com proprietários de terra, dentre outros, foi elaborado um Mapa de Cobertura do Solo, para que fossem localizadas, determinadas e quantificadas áreas de relevância ambiental e sócio-espacial.

Com isto buscou-se distinguir três tipos diferentes de vegetação identificadas nas imagens, além de represas ou açudes, e solos expostos que podem ser tanto rocha nua, como áreas já degradadas (sem vegetação) características de propriedades com benfeitorias, para auxiliar em um levantamento ambiental prévio da região e, por fim, quantificar dentro da área da Fazenda Primavera, estas características.

Os resultados foram bastante satisfatórios, pois o mapa gerado (Figura 74) conseguiu realçar todas as categorias definidas. A cena SRTM sombreada, sobreposta com a imagem Landsat destaca o relevo da região. Sobre estas foi sobreposto o *shapefile* gerado pela classificação da imagem Landsat, aplicando transparência, que destaca nas imagens subpostas as características ambientais.

Dentro do polígono delimitador da área de pesquisa da Fazenda Primavera está evidenciado o arquivo vetorial, sem transparência, para facilitar a identificação e quantificação visual de todas as classes definidas. Além disso o mapa traz a informação quantificada da área total de cada espécie de cobertura de solo definida para este estudo, bem como seus percentuais em relação ao polígono.

Figura 74 – Mapa de Cobertura do Solo.



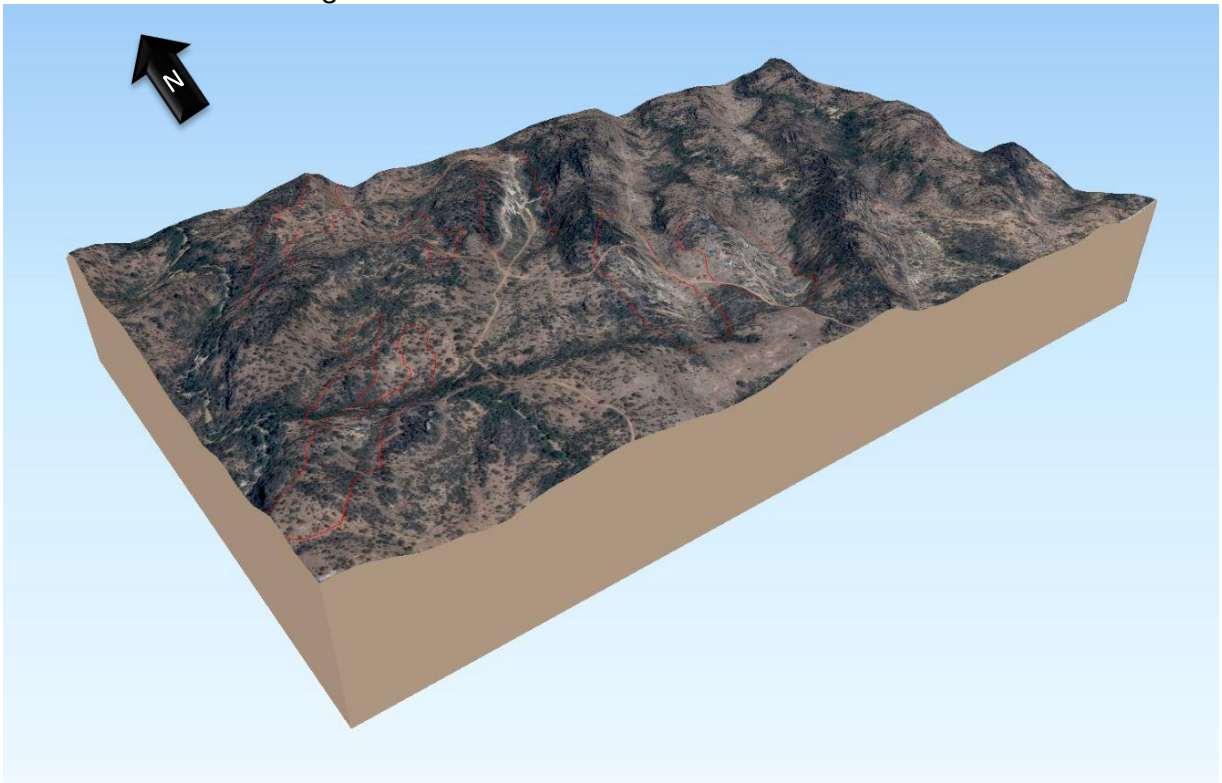
Fonte: O autor (2016).

5.2 IMAGENS 3D

Outro destaque do *software* utilizado é a possibilidade de obtenção de imagens em três dimensões. Este é um fator muito importante no auxílio da interpretação de um terreno. Desta forma podem ser projetadas feições vetoriais sobre imagens auxiliando no estudo e compreensão de fenômenos geomorfológicos, verificação de terrenos acidentados, dimensões volumétricas de corpos, projeção de edificações, declividade, dentre outros.

Na figura 75 verifica-se, com precisão, a localização dos corpos estudados através das linhas vetoriais em vermelho e tem-se compreensão total do relevo.

Figura 75 – Vista em 3D da área em estudo.

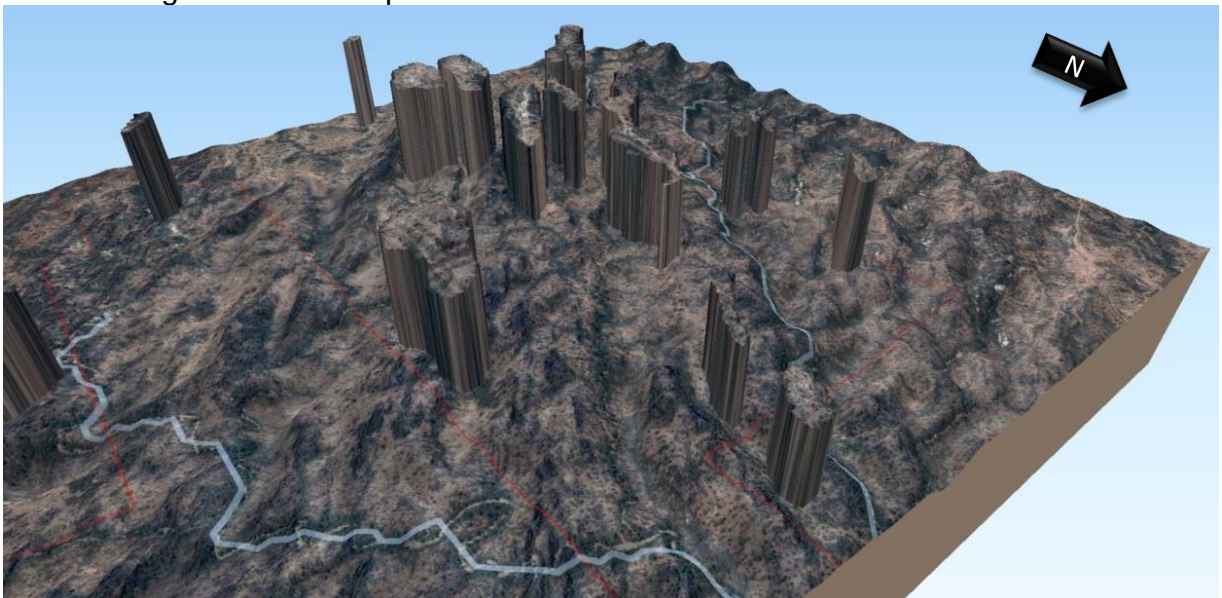


Fonte: O autor (2015).

Muito útil também, é a possibilidade de rotacionar a imagem gerada em 360° nos três eixos dimensionais. Isto significa que se existirem dados de sondagem, por exemplo, é possível verificar as litologias e os corpos projetados em profundidade.

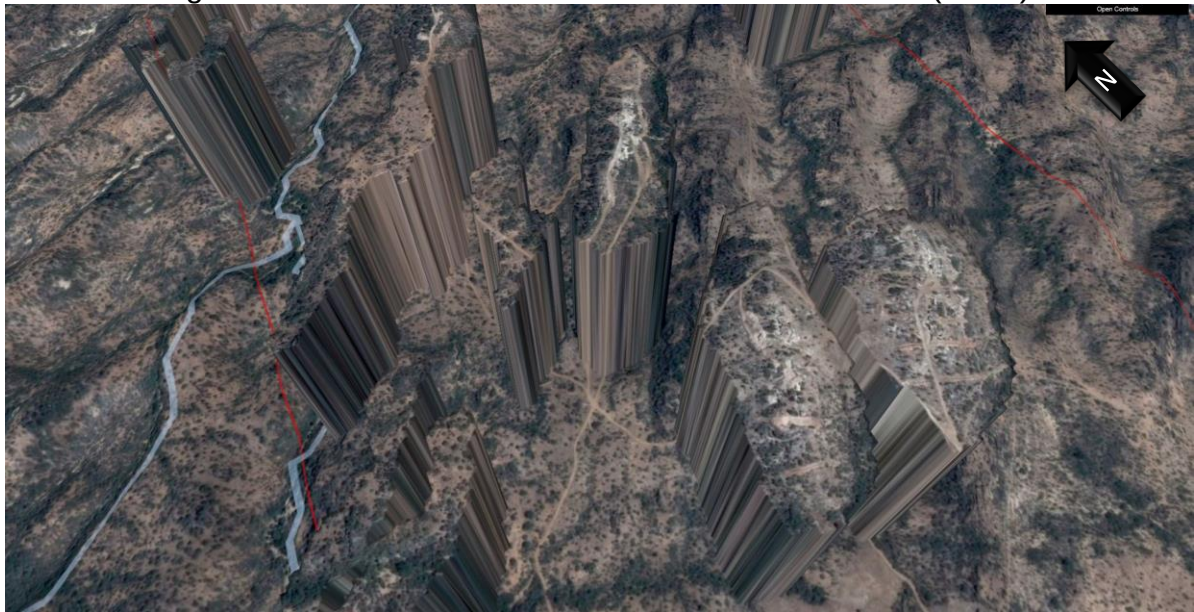
Nas figuras 76 e 77 pode-se verificar também uma projeção que destaca alvos com imagem de detalhe.

Figura 76 – Vista panorâmica em 3D da área destacando os alvos.



Fonte: O autor (2015).

Figura 77 – Vista em 3D da área destacando os alvos (zoom).



Fonte: O autor (2015).

5.3 CÁLCULO DE VOLUME DOS CORPOS ROCHOSOS

Um dos fatores fundamentais para o embasamento da tomada de decisão para prosseguimento ou cancelamento, já na fase inicial de um empreendimento mineiro, é saber a estimativa de volume da reserva mineral prospectada.

Alguns *softwares* no mercado possuem a capacidade de obter estes dados através cálculos computacionais. Mas dentro da expectativa deste estudo, de realizar todas as operações necessárias com o menor custo possível, pode-se afirmar que a solução computacional encontrada superou as expectativas.

As imagens SRTM utilizadas atenderam às expectativas, pois forneceram os dados altimétricos que, ao serem cruzados aos limites 2D (vetores) dos corpos pegmatíticos, possibilitaram o cálculo do volume através do Quantum.

6 CONCLUSÕES

Os resultados demonstraram ser possível realizar um trabalho com as qualidades exigidas em uma empresa, utilizando somente *Open Source* GIS aliado a dados públicos, sem que seja demandado nenhum investimento financeiro em programas ou aquisição de dados.

Os produtos gerados possibilitam a compreensão de fenômenos regionais e locais, dando subsídios para a instalação da estrutura inicial de um empreendimento mineiro, auxiliam no planejamento de interferência ambiental com dados relacionados a topografia, análise de vegetação, modelamento inicial de reservas, e também no planejamento logístico maximizando tempo e recursos.

O *software* escolhido mostrou-se confiável e estável, existindo bastante conteúdo disponível em meio digital para utilização do mesmo, além de grupos de discussão, blogs com tutoriais, apostilas e vídeos, que auxiliam tanto nos primeiros passos quanto os usuários avançados. Isto demonstra a existência de uma comunidade colaborativa ativa e diversificada que trabalha para o desenvolvimento do QGIS.

As entidades governamentais brasileiras e em diversas partes do mundo, como na Alemanha e Japão, passaram a adotar recentemente *softwares* livres em suas atividades de geoprocessamento.

Todos estes fatores, aliados à quantidade diversificada de *plugins*, sua interface amigável, e também pela quantidade crescente de usuários, faz com que o autor deste estudo enxergue um grande futuro neste tipo de solução e por isto este *software* livre foi escolhido para o desenvolvimento da pesquisa.

Por ser um *software* de código aberto, é possível implementação de melhorias constantes, inclusive desenvolvimento de ferramentas específicas para as atividades a serem executadas por uma empresa ou órgão.

Todos os processamentos necessários neste estudo foram realizados com êxito e de maneira surpreendentemente rápida. Mesmo usuários acostumados com *softwares* proprietários, massificados no mercado, não sentirão dificuldade em adaptar-se ao programa, o que facilitará sua difusão em pequenas empresas.

O único ponto desfavorável que merece destaque é a impossibilidade de gerar mapas com imagens de alta resolução oriundas do complemento *OpenLayers*

plugin no compositor de impressão. No entanto, existe possibilidade de visualizá-la no próprio QGIS e realizar os estudos necessários à demanda de um empreendimento.

O avanço tecnológico vem democratizando o acesso à informação, bem como a comunidade científica tem se mostrado cada vez mais aberta a disponibilizar seus conteúdos de maneira gratuita, livre, principalmente nos grupos que estudam e desenvolvem sistemas computacionais, contribuindo para o desenvolvimento da sociedade e compartilhamento do conhecimento.

Trazendo esta abordagem para as geotecnologias, podemos afirmar que as instituições ligadas às geociências, seja o meio acadêmico, que fomenta a pesquisa e desenvolvimento científico em nosso país; os órgãos governamentais, que cada vez mais carecem de recursos e têm a responsabilidade de democratizar a produção de seus conteúdos; ou os pequenos empreendedores que geram grande parte de nossas riquezas, sendo estes os principais beneficiários desta nova visão sobre a democratização do conhecimento.

As informações acima ressaltam um dos objetivos deste estudo, que foi a defesa da legalidade digital, ou seja, a não utilização de “*softwares crackeados*” preservando a propriedade intelectual.

Os corpos objeto desta pesquisa, puderam ser localizados, mapeados, ter seus acessos indicados, seus volumes estimados e visualizados por vários ângulos com imagens de alta resolução, dando bastante subsídio para estudos complementares essenciais nas fases posteriores, pois as ferramentas poderão continuar sendo utilizadas ao longo de todo projeto à medida que mais informações sejam obtidas.

7 RECOMENDAÇÕES

Uma solução viável para o problema encontrado no presente estudo na exibição da imagem do complemento *OpenLayers plugin* no compositor de impressão, seria o recorte da imagem e posterior georreferenciamento, habilitando assim seu uso no compositor.

A partir deste trabalho, através da classificação supervisionada, poderá ser pesquisada e desenvolvida, utilizando imagens hiperespectrais, uma classificação baseada na resposta espectral dos minerais constituintes dos pegmatitos, para melhor compreender e delimitar as zonas mineralizadas.

Aliado a isto faz-se necessário um estudo amplo através de sondagem e geofísica, para entendimento do subsolo desta região, que aparenta possuir boas reservas, mas as publicações e pesquisas realizadas até hoje focam apenas em afloramentos.

Através da literatura técnico-científica sabemos que estas rochas são ricas em Minerais Metálicos e Terras Raras; existe, portanto, potencial para a instalação de projetos mineiros que ajudem a desenvolver esta região com a geração de emprego e renda.

Mostra-se interessante, por parte da academia, uma maior utilização e difusão de programas *Open Source* como alternativa aos altos custos dos programas proprietários. Por ter código aberto, o ambiente acadêmico é ideal para evolução e desenvolvimento de soluções.

Para geotecnologias é fundamental a integração entre os departamentos acadêmicos de geociências, de desenvolvimento de *softwares*, e não menos importantes, o departamentos ligados ao meio ambiente, como biologia, engenharia ambiental, dentre outros, pois no mundo globalizado a multidisciplinaridade é cada vez mais exigida no mercado de trabalho e a troca de conhecimento pelos alunos e professores dos diferentes departamentos pode gerar soluções inovadoras, além de grande bagagem de conhecimento e competências para os futuros profissionais.

Especificamente para o QGIS, poderiam ser melhoradas e desenvolvidas ferramentas de modelagem geométrica para simulação de avanço de lavra, cálculos de desmonte, enfim, as possibilidades são diversas e o sistema oferece as mais diferentes possibilidades de desenvolvimento.

Neste estudo não houve a necessidade da criação de um SGBD ou servidores, entretanto é importante salientar que, em um empreendimento mineiro, um banco de dados em um servidor específico para armazenamento de dados geoespaciais deve ser criado para que não haja risco de corrupção dos dados e, em um ambiente ideal, uma cópia (*backup*) dos arquivos deve ser feita em outro servidor diariamente e mantida por no mínimo 90 dias, pois caso aconteça danos, perda dos dados por comprometimento do disco rígido, ou qualquer outro motivo, como a sobrescrição por engano, estes dados estarão preservados e poderão ser recuperados, evitando assim o comprometimento de toda esta fase do projeto.

REFERÊNCIAS

- ALVES, Jailson da Silva. **Software GIS Livre e o Ensino-Aprendizagem da Geografia**. 2011. 50 f. Monografia (Licenciatura Plena em Geografia) – Universidade Estadual da Paraíba. Guarabira, 2011.
- ALMEIDA, Fernando Flávio Marques de et al. Províncias Estruturais Brasileiras. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO NORDESTE, 8: 1977, Campina Grande. **Atas...**, Campina Grande: SBG 1977, p. 363-391.
- ANDRADE, Esdras de Lima. Redescobrimos os SIG com software livre. **Revista FOSSGIS Brasil**. Brasil. n.1. p.49. mar. 2011.
- BASTOS, Gracinete. **Estruturação de Banco de Dados a Partir do Mapeamento Geotécnico Aplicado à Região de Ribeirão Preto (SP)**. 2005. 306 f. Tese (Doutorado em Engenharia – Área Geotecnia) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2005.
- BAUER, Jeniffer. **Assessing the Robustness of Web Feature Services Necessary to Satisfy the Requirements of Coastal Management Applications**. 2012. 36 f. Research Paper (Master of Science – Geography Program) – The College of Earth, Ocean, and Atmospheric Sciences, Oregon State University, Corvallis - OR, 2012.
- BLASCHKE, Thomas; GLÄSSER, Cornelia; LANG, Stefan. Processamento de Imagens num Ambiente Integrado SIG / Sensoriamento Remoto – Tendências e Consequências. In: BLASCHKE, Thomas; KUX, Hermann (org.). **Sensoriamento Remoto e SIG Avançados**. 2. ed. São Paulo: Editora Oficina de Textos, 2007. p. 11-18.
- BRITO NEVES, Benjamim Bley de et al. Tectonic History of the Borborema Province. In: Umberto Cordani; Edson José Milani; Antonio Thomaz Filho; Diogenes de Almeida Campos. (Org.). Tectonic Evolution of south america. **Anais...** Rio de Janeiro: 31st International Geological Congress, 2000, v. unico, p. 151-182.
- CÂMARA, Gilberto et al. **Anatomia de Sistemas de Informação Geográfica**. Projeto GEOTEC, Escola de Computação, SBC, 1996, p. 193.
- CÂMARA, Gilberto; DAVIS, Clodoveu; MONTEIRO, Antônio Miguel Vieira. **Introdução à ciência da geoinformação**. São José dos Campos, SP: INPE, 2001. INPE-10506-RPQ/249. 345 p. Disponível em: <<http://mtc-2.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/sergio/2004/04.22.07.43/doc/publicacao.pdf>>. Acesso em: 05 out. 2015.
- CARMO, Ítalo Marcolino do. **Estudo Comparativo de Ferramentas Computacionais para Modelagem Geométrica e Cubagem de Maciços Rochosos**. 2013. 97 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Departamento de Engenharia de Minas do Centro de Tecnologia e Geociências, da Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2013.

CARVALHO, Marcus Vinícius Alves de; DI MAIO, Angelica Carvalho. **GEOLISTA**. Niterói, RJ: Universidade Federal Fluminense, 2011. 51 p. Disponível em: <<http://www.uff.br/geoden/docs/GeoLISTA.pdf>>. Acesso em: 23 out. 2015.

CAVALCANTI NETO, Mário Tavares de Oliveira; ROCHA DA ROCHA, Alexandre Magno. **Noções de Prospeção e Pesquisa Mineral para técnicos de Geologia e Mineração**. Editora do IFRN, 2010, p. 267.

DA SILVA, Marcelo Reis Rodrigues & DANTAS, José Robinson Alcoforado. A Província Pegmatítica da Borborema- Seridó nos Estados da Paraíba e Rio Grande do Norte. In: **Principais Depósitos Minerais do Nordeste Oriental** - Série Geologia. Nº 04. DNPM, Brasília, 1984.

DIAS, Carlos Augusto Tavares. **Geologia e Mineralogia de Pegmatito Mineralizado em Estanho e Metais Associados (Nb, Ta, Zn, Cu, Pb), Mina Bom Futuro, Rondônia**. 2012. 88 f. Dissertação (Mestrado em Geologia Regional) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas do Campus de Rio Claro, da Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Rio Claro, 2012.

DUARTE, Cynthia Romariz; SABADIA, José Antônio Beltrão. Emprego de imagens SRTM para geração de mapas auxiliares ao mapeamento geológico – estudo de caso Folha Santana do Cariri. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto – SBSR, 15, 2011, Curitiba. **Anais...**, Curitiba: INPE, mai. de 2011. p. 3264.

EarthExplorer. United States Geological Survey – USGS. Disponível em: <<http://earthexplorer.usgs.gov/>>. Acesso em: 27 nov. 2015.

ESRI, **Band Combinations for Landsat 8**. 2013. Disponível em <<https://blogs.esri.com/esri/arcgis/2013/07/24/band-combinations-for-landsat-8/>> Acesso em: 30 nov. de 2015.

FLORENZANO, Teresa Gallotti; LIMA, Suely Franco Siqueira; MORAES, Elizabete Caria. Formação de professores em geotecnologia por meio de ensino a distância. **Educar em Revista**, Curitiba: Editora UFPR, p. 69-84, n. 40, abr./jun., 2011.

GEOBANK®, Serviço Geológico do Brasil – CPRM. Disponível em <<http://geobank.cprm.gov.br/>> Acesso em: 27 nov. de 2015.

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE, **Introdução ao Geoprocessamento**. Divisão de Sensoriamento Remoto. Disponível em: <http://www.dsr.inpe.br/intro_sr.htm>. Acesso em 05 out. 2015.

JARDIM DE SÁ, Emanuel Ferraz; SALIM, José. **Reavaliação dos conceitos estratigráficos na região do Seridó (RN-PB)**. Mineração e Metalurgia, Rio de Janeiro, 80(421): p. 16–28. 1980.

JARDIM DE SÁ, Emanuel Ferraz. Geologia da região do Seridó: reavaliação de dados. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO NORDESTE, 11, 1984, Natal. **Atas**, Natal: 1984. v. 1. p. 278-296.

JARDIM DE SÁ, Emanuel Ferraz. **A Faixa Serido (Província Borborema, NE do Brasil) e o seu significado geodinâmico na Cadeia Brasileira/Pan-Africana**. 1994. 804 f. Tese (Doutorado em Geologia) Instituto de Geociências da Universidade de Brasília, Brasília, 1994.

LIRA, Belarmino Barbosa. **Relatório de Pesquisa Mineral para o DNPM: Empresa MINEGRAN - Minerais e granitos do Nordeste LTDA**. João Pessoa, 2014.

LUZ, Adão Benvindo da et al. **Aproveitamento Integral dos Pegmatitos do Nordeste: um tema recorrente**. In: Encontro Nacional de Tratamento de Minérios e Metalurgia Extrativa, XIX, 2002, Recife, p. 642-650.

MANGHI, Giovani; OLAYA, Victor; CAVALLINI, Paolo. Quantum GIS e Sextante: Novos cenários para a análise SIG. **Revista FOSSGIS Brasil**. Brasil. n.6. p.67. nov. 2012.

MATTA, Paulo Magno da. **Prospecção e Pesquisa de Rochas Ornamentais: Uma Contribuição à Produção**. In: Simpósio de Rochas Ornamentais do Nordeste - SRONE, 4, 2003, Fortaleza. **Anais...**, Fortaleza: CETEM, nov. de 2003, p. 21-32.

MEDEIROS, Anderson. **ArcGIS vs. QGIS: Comparativo de 10 Características**. Disponível em: <<http://andersonmedeiros.com/arcgis-vs-qgis-comparativo-de-10-caracteristicas/>>. Acesso em: 10 nov. 2015.

MENEZES, Ítalo Prata de. **Estudo de estabilidade de taludes da mina a céu aberto São Luís em Catas Altas/MG combinando técnicas de geoprocessamento e métodos usuais de investigação e análise geológico-tectônicas**. 2012. 147 f. Dissertação (Mestrado em Ciências - Geotecnia) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2012.

MOREIRA DA SILVA, Marcelo Ricardo Miranda. **Vetorização de Planos Municipais de Ordenamento do Território (PMOT's) através de processos automáticos e semiautomáticos com recurso a software livre**. 2012. 119 f. Relatório (Estágio) – Faculdade de Letras, Universidade do Porto, Porto – PT, 2012.

NOÉ, Yanina et al. **Sistemas de Información Geográfica com Qgis 2.x**. Salta, Argentina: Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, mai. de 2014. 173 p. Disponível em: <http://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta_-_qgis2_x.pdf>. Acesso em: 12 dez. 2015.

Quantum GIS Project – QGIS. **QGIS Python Plugins Repository**. Disponível em: <<http://plugins.qgis.org/plugins/>>. Acesso em: 10 nov. 2015.

SANTOS, Jorge. **Landsat-8: Novas Combinações de Bandas e Informações Técnicas**. Processamento Digital | Geotecnologias e Software Livre, jun. 2013. Disponível em: <<http://www.processamentodigital.com.br/2013/06/02/landsat-8-novas-combinacoes-de-bandas/>>. Acesso em 15 dez. 2015.

SÁ, Narcélio de. **Criando um Mapa Hipsométrico no QGIS**. Nacélio de Sá Geotecnologias, jan. 2011. Disponível em: <<http://narceliodesa.com/mapa-hipsometrico-no-qgis/>>. Acesso em 10 dez. 2015.

Serviço Geológico do Brasil - CPRM

Disponível em <<http://www.cprm.gov.br/publique/>> Acesso em: 27 nov. de 2015.

SIGMINE®, Departamento Nacional e Produção Mineral – DNPM. Disponível em <<http://sigmine.dnpm.gov.br/webmap/>> Acesso em: 10 dez. de 2015.

SILVA, Sebastião Milton Pinheiro; CRÓSTA, Álvaro Penteado. Mapeamento de pegmatitos da Faixa Seridó (FSe) com base na análise por componentes principais de imagens TM/Landsat-5 e Terra/ASTER e o apoio da espectroscopia de reflectância. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 15, 2011, Curitiba. **Anais...** Curitiba: INPE, mai. 2011, p. 3597.

SOARES, Dwight. R. **Contribuição à Petrologia de Pegmatitos Mineralizados em Elementos Raros e Elbaítas Gemológicas da Província Pegmatítica da Borborema, Nordeste do Brasil**. 2004. 158 f. Tese (Doutorado em Geociências) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2004.

UCHÔA, Helton Nogueira; FERREIRA, Paulo Roberto. **Geoprocessamento com Software Livre**: versão 1.0. Brasil, out. 2004. Disponível em: <<http://www.geolivres.org.br>>. Acesso em: 09 dez 2015.

USGS. United States Geological Survey. Disponível em: <<http://www.usgs.gov/>> e <http://landsat.usgs.gov/L8_band_combos.php>. Acesso em: 27 nov. 2015.

USGS Fact Sheet. Landsat-Earth observation satellites: United States Geological Survey Fact Sheet 2015-3081, 4p. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.3133/fs20153081>>. Acesso em: 27 nov. 2015.

VALIN, Mariana Mello. **Uso de Softwares Livres para o Desenvolvimento de SIG WEB de Acessibilidade a Atrativos Turísticos**: Estudo de Caso da Cidade de Campinas - SP. 2009. 129 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – da Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2009.

VIDAL, Francisco Wilson Hollanda; NOGUEIRA NETO, José de Araújo. Minerais de Pegmatitos. In: VIDAL, F.W.H.; SALES, F.A.C.B.; ROBERTO, F.A.C.; SOUZA, J.F. & MATTOS, I.C. (Org.). Rochas e Minerais Industriais do Estado do Ceará, 2005, Fortaleza. **Anais...** Fortaleza: 1º ed., Realce Editora & Ind. Gráfica Ltda., 2005, p. 67-81.