

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
CENTRO DE ENGENHARIAS E CIÊNCIAS AGRÁRIAS
ENGENHARIA DE AGRIMENSURA

MARCELO HENRIQUE CÉSAR SOUZA FILHO

**PROPOSTA DE ZONEAMENTO MINERÁRIO DA REGIÃO METROPOLITANA DO
AGRESTE – AL UTILIZANDO GEOTECNOLOGIAS**

RIO LARGO – ALAGOAS

2020

MARCELO HENRIQUE CÉSAR SOUZA FILHO

**PROPOSTA DE ZONEAMENTO MINERÁRIO DA REGIÃO METROPOLITANA DO
AGRESTE – AL UTILIZANDO GEOTECNOLOGIAS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação de Engenharia de Agrimensura da Universidade Federal de Alagoas, como requisito para obtenção do Título em Bacharel em Engenharia de Agrimensura.

Orientadora: Prof^ª. Dra. Rafaela Faciola
Coelho de Souza Ferreira

RIO LARGO – ALAGOAS

2020

Catálogo na fonte
Universidade Federal de Alagoas
Biblioteca do Campus de Engenharias e Ciências Agrárias
Bibliotecária Responsável: Myrtes Vieira do Nascimento

S729p Souza Filho, Marcelo Henrique César

Proposta de zoneamento minerário da região metropolitana do agreste – AL utilizando geotecnologias. / Marcelo Henrique César Souza Filho – 2020.

89 f.; il.

Monografia de Graduação em Engenharia de Agrimensura (Trabalho de Conclusão de Curso) – Universidade Federal de Alagoas, Campus de Engenharias e Ciências Agrárias. Rio Largo, 2020.

Orientação: Profa. Dra. Rafaela Faciola Coelho de S. Ferreira

Inclui bibliografia

1. Geoprocessamento. 2. Zoneamento minerário. 3. Pavimentação.
I. Título.

CDU: 628

Folha de Aprovação

MARCELO HENRIQUE CÉSAR SOUZA FILHO

**PROPOSTA DE ZONEAMENTO MINERÁRIO DA REGIÃO METROPOLITANA DO
AGRESTE – AL UTILIZANDO GEOTECNOLOGIAS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação de Engenharia de Agrimensura da Universidade Federal de Alagoas, como requisito para obtenção do Título em Bacharel em Engenharia de Agrimensura.

Trabalho de Conclusão de Curso aprovado em 02 de Outubro de 2020

Banca Examinadora:

Rafaela Faciola Coelho de Souza

Profª. DSc. RAFAELA FACIOLA COELHO DE SOUZA FERREIRA

(Orientadora)

Henrique Lacet Silva Souza

Engº MSc. HENRIQUE LACET SILVA SOUZA

(Co-orientador)

Juciela Cristina dos Santos

Profª. MSc. JUCIELA CRISTINA DOS SANTOS

Membro Avaliador Interno

Valmir dos Santos Araújo

Engº. VALMIR DOS SANTOS ARAÚJO

Membro Avaliador Externo

Dedico, primeiramente, a Deus, por todos os dias renovar minhas forças e minha fé. Aos meus pais, Marcelo Henrique e Sirlene Eliete, aos meus irmãos Henrique e Felipe, por terem sido minha base nesta caminhada e nos momentos adversos dessa vida.

AGRADECIMENTOS

Início meus agradecimentos sendo grato imensamente a **Deus**, por me permitir a conclusão desta fase ímpar em minha vida.

Venho aqui neste pequeno trecho, expressar minha imensa gratidão a minha família, meus pais, Marcelo Henrique e Sirlene Eliete, que desde os princípios da vida nunca falharam no alicerce da criação de seus filhos, que hoje, retribuem com bons frutos. Aos meus irmãos, Henrique Lacet e Felipe Lacet, que sempre foram e serão meus parceiros de vida e de profissão, agradeço por toda paciência e compartilhamento de experiências e virtudes. Família, amo vocês!

Faço aqui um pequeno agradecimento a todos os companheiros de trabalho por onde passei até os dias de hoje, a toda equipe de geoprocessamento da Seplag-AL e da SEMEC/AL, obrigado por todos os ensinamentos e oportunidades de desenvolver meu trabalho com maestria.

A toda equipe da empresa Arqmensura, em nome de meu irmão Henrique Lacet e meus amigos Valmir Araújo e Fernando Barros, agradeço a parceria para realização deste projeto e uma imensa gratidão pelas oportunidades de atuação na área, como também, pela confiança depositada em mim. Obrigado, hoje vocês são minhas referências quando se fala em Agrimensura.

Não menos importante, gostaria de agradecer a todos que estiveram comigo na universidade, em especial minha turma 2014.1, tenho plenas certezas que vão brilhar e muito por esse mundo a fora. Meu companheiro e companheira de projeto de pesquisa, Jeysa e Kaio, vocês foram fundamentais para composição deste trabalho, obrigado por todo empenho e dedicação. Sem deixar de fora, gostaria de agradecer ao corpo docente do curso de Engenharia de Agrimensura, em especial, aos professores (as), Rafaela Faciola (minha orientadora, engenheira civil mais “agrimensora” que já conheci), Juciela Cristina (sem palavras para expressar minha gratidão pelas oportunidades e confiança depositadas em mim, e acima de tudo, obrigado pelos puxões de orelha), Michelle Adelino (obrigado por sempre lembrar da minha capacidade técnica e pessoal), e não menos especial, professor e amigo Jhonathan Gomes (você é apenas: sem palavras guerreiro!). Aos demais professores, UM MUITO OBRIGADO!

**A TODOS QUE HOJE FAZEM PARTE DA MINHA VIDA, UM MUITO
OBRIGADO!**

RESUMO

O zoneamento ambiental minerário é uma ferramenta de gestão amplamente aplicada em planos diretores a fim de analisar aspectos do meio físico que podem corroborar com a expansão e ascensão econômica dos estados e municípios, respeitando o meio ambiente e suas limitações. Neste sentido, este trabalho apresenta a elaboração de um zoneamento minerário da Região Metropolitana do Agreste (RMA) de Alagoas, especificamente em áreas com potencial de extração de materiais agregados aplicados na pavimentação rodoviária e na construção civil, com o intuito de subsidiar a elaboração de futuros documentos para o planejamento e zoneamento mineral do Estado. O método de mapeamento aplicado baseia-se na utilização de técnicas de geoprocessamento em ambiente SIG, para correlacionar dados de geodiversidade com dados geoespaciais, conforme proposto originalmente por Zuquette e Gandolfi (2004). A partir das áreas zoneadas através de documentos produzidos com base em dados geoespaciais e de geodiversidade, foram realizados levantamentos aerofotogramétricos, com a finalidade de promover um reconhecimento e uma validação dos aspectos topográficos das regiões mapeadas. Os documentos cartográficos revelaram que a RMA tem um potencial de exploração mineral substancial de rochas sedimentares e metamórficas, tais como gnaisse, quartzito e calcário. De acordo com a literatura, construiu-se, ainda, um documento ao qual indica a aplicação desses materiais na pavimentação rodoviária, sendo estes para traçado e aterro de rodovias. No entanto, para construção civil não foram determinados materiais a serem explorados nessa região, visto que os atributos considerados não atenderam as características necessárias do meio físico. Desta forma, a associação da cartografia geotécnica as técnicas de geoprocessamento e fotointerpretação, mesmo com restrição na riqueza de dados disponíveis para produção, permitiram a elaboração de documentos que possibilitam um embasamento ao zoneamento ambiental e minerário aplicado ao ordenamento territorial do Estado, uma vez que Alagoas ainda apresenta escassez desses estudos em seu plano diretor. Vale ressaltar, que esses documentos são instrumentos importantes na tomada de decisão em termos de planejamento territorial, gestão do uso e ocupação do solo de uma região, e sobretudo, viabilizam o desenvolvimento sustentável dos municípios de seu entorno.

Palavras chaves: Minerais de Agregado; Geoprocessamento; Zoneamento Minerário; Pavimentação.

ABSTRACT

The mining environmental zoning is a management tool widely applied in master plans in order to analyze aspects of the physical environment that can corroborate the economic expansion and rise of states and municipalities, respecting the environment and its limitations. In this sense, this work presents the elaboration of a mining zoning of the Metropolitan Region of Agreste (RMA) of Alagoas, specifically in areas with potential for the extraction of aggregate materials applied in road paving and in civil construction, in order to subsidize the elaboration of future documents for the state's mineral planning and zoning. The applied mapping method is based on the use of geoprocessing techniques in a GIS environment, to correlate geodiversity data with geospatial data, as originally proposed by Zuquette and Gandolfi (2004). From the zoned areas through documents produced based on geospatial and geodiversity data, aerophotogrammetric surveys were carried out, with the purpose of promoting a recognition and validation of the topographic aspects of the mapped regions. Cartographic documents revealed that RMA has a potential for substantial mineral exploration of sedimentary and metamorphic rocks, such as gneiss, quartzite and limestone. According to the literature, a document was also built to indicate the application of these materials in road paving, which are for road design and embankment. However, for civil construction materials were not determined to be explored in this region, since the attributes considered did not meet the necessary characteristics of the physical environment. Thus, the association of geotechnical cartography with the techniques of geoprocessing and photointerpretation, even with restrictions on the wealth of data available for production, allowed the elaboration of documents that provide a basis for environmental and mining zoning applied to the territorial ordering of the State, since Alagoas still lacks such studies in its master plan. It is worth mentioning that these documents are important instruments in decision making in terms of territorial planning, management of land use and occupation in a region, and above all, they enable the sustainable development of the surrounding municipalities.

Keywords: Aggregate Minerals; Geoprocessing; Mining Zoning; Paving.

LISTA DE ILUSTRAÇÃO

Figura 1 – Atividades correlacionadas ao Geoprocessamento.....	19
Figura 2 – Estrutura geral (subsistemas) de um SIG.	24
Figura 3 – Elementos de representação vetorial.....	25
Figura 4 – Duas resoluções da representação matricial. A esquerda quatro vezes menor que a direita.....	26
Figura 5 – Dados geográficos dispostos em camadas.....	27
Figura 6 – Representação vetorial e matricial, respectivamente, de um mapa temático.....	28
Figura 7 – Exemplo de Mapa Cadastral.....	29
Figura 8 – Elementos de Rede.....	29
Figura 9 – Isolinhas de Topografia, exemplo de MNT	30
Figura 10 – Mosaico de imagens (composição colorida) do satélite <i>Landsat-5</i> , do Rio Negro e do Rio Solimões, no Estado do Amazonas, obtidas em 1997.....	30
Figura 11 – Combinação de camadas de dados <i>raster</i> , na produção de um novo dado <i>raster</i> derivado.....	33
Figura 12 – Exemplo de Recobrimento Lateral (30%) e Longitudinal (60%) para mapeamentos com aeronaves.....	35
Figura 13 – Fluxograma geral das etapas gerais da pesquisa.....	48
Figura 14 – Mapa de localização da Região Metropolitana do Agreste.....	50
Figura 15 – Localização das áreas 1 e 2 em São Sebastião-AL.....	64
Figura 16 – Localização das áreas 1 e 2 em Feira Grande-AL.....	64
Figura 17 – Implantação dos pontos de controle em campo (esquerda) e identificação dos pontos de controle no mosaico (direita).....	65
Figura 18 – Mapa de agregados aplicados a pavimentação, R.M. do Agreste.....	57
Figura 19 – Mapa Geológico da R.M. do Agreste.....	58
Figura 20 – Mapa de declividade da R.M. do Agreste.....	59
Figura 21 – Mapa Geomorfológico da R.M. do Agreste.....	60
Figura 22 – Mapa de textura do solo da R.M. do Agreste.....	61
Figura 23 – Mapa de agregados destinados a Traçado (Pavimentação).....	63
Figura 24 – Mapa de agregados destinado a Aterro (Pavimentação).....	64
Figura 25 – (a) Orthomosaico georreferenciado da área 1 – gnaisse (ss) localizado na área zoneada de material agregado; (b) Tipo de material agregado para Traçado zoneado na área 1 – gnaisse (ss).....	65
Figura 26 – (a) Mapa hipsométrico da área 1 – gnaisse (ss); (b) Mapa hipsométrico da RMA, com a localização da área 1 – gnaisse (ss).....	66
Figura 27 – (a) Área 1 – Gnaisse (SS) localizado no cenário geomorfológico da RMA; (b) Mapa hipsométrico local.....	67
Figura 28 – (a) Orthomosaico georreferenciado da Área 1 – Gnaisse (SS); (b) Mapa de uso e cobertura do solo da RMA.....	68
Figura 29 – (a) Tipo de material agregado para Traçado disponível na área 2 – quartzito (ss); (b) Orthomosaico georreferenciado da área 2 – quartzito (ss) localizado na área zoneada de material agregado.....	69

Figura 30 – (a) Mapa hipsométrico da área 2 – quartzito (ss); (b) Mapa hipsométrico da RMA, com a localização da área 2 – quartzito (ss).....	70
Figura 31 – (a) Mapa hipsométrico local; (b) Área 2 – Gnaisse (SS) localizado no cenário geomorfológico da RMA.....	71
Figura 32 – (a) Orthomosaico georreferenciado da área 2 – quartzito (SS); (b) Mapa de uso e cobertura do solo da RMA.....	72
Figura 33 – (a) Tipo de material agregado para Traçado disponível na área 1 – gnaisse (FG); (b) Orthomosaico georreferenciado da área 1 – gnaisse (FG) localizado na área zoneada de material agregado.....	73
Figura 34 – (a) Mapa hipsométrico da área 1 – gnaisse (FG); (b) Mapa hipsométrico da RMA, com a localização da área 1 – gnaisse (FG).....	74
Figura 35 – (a) Mapa hipsométrico local; (b) Área 1 – Gnaisse (FG) localizado no cenário geomorfológico da RMA.....	75
Figura 36 – (a) Orthomosaico georreferenciado da área 1 – gnaisse (FG); (b) Mapa de uso e cobertura do solo da RMA.....	76
Figura 37 – (a) Orthomosaico georreferenciado da área 1 – gnaisse (FG) localizado na área zoneada de material agregado; (b) Tipo de material agregado para Traçado disponível na área 1 – gnaisse (FG).....	77
Figura 38 – (a) Mapa hipsométrico da área 2 – quartzito (FG); (b) Mapa hipsométrico da RMA, com a localização da área 2 – quartzito (FG).....	78
Figura 39 – (a) Mapa hipsométrico local; (b) Área 2 – quartzito (FG) localizado no cenário geomorfológico da RMA.....	79
Figura 40 – (a) Orthomosaico georreferenciado da área 2 – quartzito (FG); (b) Mapa de uso e cobertura do solo da RMA.....	80

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Tabela de áreas dos agregados destinados a Pavimentação.....	56
Tabela 2 – Tabela de materiais da R.M do Agreste com potencial de extração, destinados a pavimentação.....	62

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Principais níveis de Mensuração no Geoprocessamento.....	22
Quadro 2 – Ordenamento hierárquico de documentos cartográficos do mapeamento geotécnico.....	40
Quadro 3 – Documentos cartográfico (meio físico) correlacionados ao nível hierárquico.....	41
Quadro 4 – Atributos para elaboração de carta de zoneamento para materiais.....	42
Quadro 5 – Principais utilizações dos Agregados.....	44
Quadro 6 – Materiais utilizados na construção civil, baseados na litologia, mineralogia e geologia (tipo rochoso).....	45
Quadro 7 – Materiais utilizados na pavimentação, baseados na litologia, mineralogia e geologia (tipo rochoso).....	46
Quadro 8 – Critérios de avaliação para adequabilidade a usos em obras de estradas.....	46

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANM	Agência Nacional de Mineração
CECA	Centro de Ciências Agrárias
CPRM	Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais
CZGG	Carta de Zoneamento Geotécnico Geral
DNPM	Departamento Nacional de Produção Mineral
FG	Feira Grande - AL
GPC	Ground Control Points (Pontos de Controle do Terreno)
GNSS	Global Navigation Satellite System (Sistema de Navegação Global por Satélite)
IAEG	International Association of Engineering Geology
INPE	Instituto Nacional de Pesquisa Espaciais
MDE	Modelo Digital de Elevação
MNT	Modelo Numérico do Terreno
NBR	Normas Brasileiras
PDI	Processamento Digital de Imagens
PIB	Produto Interno Bruto
PUCE	Pattern - Unit - Component - Evaluation
RM	Região Metropolitana
RMA	Região Metropolitana do Agreste - AL
RPA	Remotely Piloted Aircraft (Aeronaves Remotamente Pilotadas)
RTK	Real time Kinematic
QGIS	QuantumGIS
SEPLAG	Secretária de Estado do Planejamento, Gestão e Patrimônio
SIG	Sistemas de Informações Geográficas
SGBD	Sistema de Gerenciamento de Banco de Dados
SS	São Sebastião - AL
UFAL	Universidade Federal de Alagoas

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	15
1.1 Objetivo Geral.....	17
1.2 Objetivos Específicos.....	17
2. REFERENCIAL TEÓRICO.....	18
2.1 Zoneamento Mineral	18
2.2 Geoprocessamento.....	19
2.2.1 Sistemas de informações geográficas – SIG	22
2.2.2 Dados geográficos	26
2.2.3 Análise espacial	31
2.3 Fotogrametria	33
2.3.1 Fotografias aéreas por RPA (<i>Remotely Piloted Aircraft</i> – Aeronaves Remotamente Pilotadas)	35
2.4 Cartografia Geotécnica.....	36
2.4.1 Metodologia de Zuquette	38
2.4.2 Carta de zoneamento para exploração de materiais de construção	42
2.5 Agregados aplicados na construção civil e pavimentação.....	43
3. METODOLOGIA	478
3.1 Área de estudo	48
3.2 Levantamento de dados	51
3.3 Produção dos mapas de base.....	51
3.4 Zoneamento da RMA	52
3.5 Levantamento de campo e validação do zoneamento.....	52
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	56
4.1 Zoneamento mineral de agregado da região metropolitana do Agreste...56	56
4.2 Levantamento de campo	65
4.2.1 Área 1 – gnaisse (SS).....	65
4.2.2 Área 2 – quartzito (SS)	68
4.2.3 Área 1 – gnaisse (FG).....	72
4.2.4 Área 2 – quartzito (FG)	76
5. CONCLUSÃO	81
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	83

1. INTRODUÇÃO

Marcado por uma economia concentrada em um espaço geográfico limitado, de poucos setores e poucas famílias, Alagoas pleiteia diversos entraves para o desenvolvimento regional, principalmente nas regiões interioranas do estado. Com a perda de espaço da indústria na participação relativa na economia, os setores de Agronegócio, Serviços e Extração de Recursos Minerais, passaram a ter maior espaço.

Dentro da perspectiva de recursos minerais, a exploração de minas de agregados, apresentam, grande força dentro desta atividade, tanto pela disponibilidade de material em quantidade, quanto pela facilidade de retirada para aplicação, sendo fortemente utilizado na construção civil e pavimentação.

As atividades de mineração envolvem, basicamente, as fases de extração, beneficiamento e comercialização do material que são encontrados na natureza em estado sólido, líquido ou gasoso. Os minerais são provenientes de rochas ou materiais inconsolidados (solos) denominados de recursos minerais. Esta atividade é uma prática condicionada à geologia local e aos processos naturais, visto que, depende da dinâmica geológica do planeta. Portanto, a localização dos depósitos minerais é um aspecto importante para a atividade de mineração e, sobretudo, para a organização do território. Dentre os recursos que são extraídos na forma pura e não precisam de um processo robusto e oneroso de beneficiamento, destacam-se os agregados, que podem ser aplicados como material de construção natural diretamente na construção civil e na pavimentação.

Em Alagoas, a diversidade litológica garante uma oferta de agregados que atendem o mercado da construção civil do Estado, principalmente no interior, promovendo o desenvolvimento e a expansão de municípios de médio e pequeno porte. Porém, a administração dessas atividades extrativistas precisa ser mais efetiva pelo poder público, a fim de diminuir as sérias alterações na paisagem e no meio ambiente.

Dessa maneira, desde os meados do século XX, maneiras de integração multidisciplinar vêm sendo discutida entre geólogos, engenheiros e diversos profissionais do ramo da cartografia, com o objetivo de relacionar e utilizar os dados

geológico-geotécnicos para desenvolvimento de uma área (ZUQUETTE; GANDOLFI, 2004).

Segundo Franco *et al* (2010), o crescimento do uso da cartografia geotécnica como ferramenta auxiliadora em diversos meios científicos, como é o caso das áreas das engenharias e geologia, onde seu reconhecimento, tem levado a aplicações desde o planejamento de obras até o diagnóstico do meio físico.

A cartografia geotécnica é um processo que tem por finalidade básica levantar, avaliar e analisar os atributos que compõem o meio físico. As informações devem ser manipuladas por processos de seleção, generalização, adição e transformação, para que possam ser correlacionadas, interpretadas e, no final, representadas em mapas, cartas e anexos descritivos utilizados para fins de engenharia, planejamento, saneamento, etc (ZUQUETTE, 1987, *apud* FRANCO *et al*, 2010).

Um das premissas da cartografia geotécnica é subsidiar informações ao planejamento urbano e regional, promovendo um estudo de uso e ocupação de uma área em questão. Nesse sentido, como pilar para o mapeamento geotécnico, Zuquette; Gandolfi (2004), relacionam atributos de uma área e suas cartas geotécnicas derivadas, por exemplo, a Carta de Potencial Mineral e de Materiais para a construção civil associadas a atributos como: litologia, declividade, grau de intemperismo, porosidade, densidade, entre outros. De mesma maneira, o avanço das técnicas de geoprocessamento, tem possibilitado a extração de um número maior de informações, através de análise de imagens de satélite, como também, a manipulação e integração rápida de grandes volumes de dados, através de ambientes SIG's – Sistemas de Informações Geográficas (VALENTE, 1999).

Desta forma, o mapeamento geotécnico associado ao geoprocessamento, apresentam-se como importante instrumento para análise de potencialidades de uma área para diversos fins, como proposto por esse projeto, onde será realizado estudo para região metropolitana do Agreste (RMA) do Estado de Alagoas, com o intuito de mapear áreas que se comportem potencialmente a mineração de agregados que possam ser aplicados na construção civil e na pavimentação, possibilitando, de mesma maneira, a confecção de possíveis documentos para o planejamento e zoneamento mineral do Estado de Alagoas.

1.1 Objetivo Geral

MAPEAR áreas na Região Metropolitana do Agreste (RMA), que apresentem potencial mineral de agregados que possam ser aplicados na construção civil e na pavimentação, a fim de subsidiar a elaboração de futuros documentos para o planejamento do Estado.

1.2 Objetivos Específicos

- LEVANTAR informações espaciais, geográficas, geológicas, litológicas, geomorfológicas, hidrográficas, entre outras, em documentos disponibilizados pelos órgãos responsáveis pelos recursos minerais no Brasil;
- INTEGRAR os dados levantados sobre a região metropolitana através do geoprocessamento em um ambiente SIG;
- REPRESENTAR espacialmente o cenário atual por meio de Mapas e Cartas regionais que apresentem áreas de afloramentos rochosos e materiais inconsolidados para extração de mineral de agregados com a indicação da aplicação desses materiais na construção civil e na pavimentação;
- COLETAR dados de campo a partir de RPA (*Remotely Piloted Aircraft* - Aeronaves Remotamente Pilotadas) e GNSS, a fim de validar os documentos elaborados na fase anterior;

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Zoneamento Mineral

De acordo com a Constituição Federal (BRASIL, 1988), os recursos minerais são bens pertencentes à União, propriedade dissemelhante ao domínio da terra que os possuem, sendo intitulados de recursos naturais não renováveis. Tais características promovem a aplicação de normas e técnicas para que seu aproveitamento seja de forma racional e socialmente responsável, visando a minimização dos impactos ambientais provenientes de sua extração, beneficiamento, utilização e encerramento das atividades (TANNO; SINTONI, 2003).

A titularidade da União sobre os bens minerais, entretanto, não garante a utilização dos depósitos minerais, onde, segundo Rezende (2017), políticas de uso e ocupação do solo, zoneamentos ecológicos e econômicos, planos diretores juntamente a ordenamento territorial, podem impossibilitar o manejo das jazidas que apresentem atividades conflitantes com mineração sobre áreas que foram objetos de estudo quem demonstram potencialidades minerais viáveis a extração.

De acordo com o Código de Mineração (BRASIL, 1967), no seu artigo 42º, relata que a autorização de lavra poderá ser recusada quando esta apresentar potencialidade a prejuízo público ou conflitos em que a exploração mineral comprometa interesses públicos, a juízo do governo. De acordo com Rezende (2017), dentro da base de dados georreferenciados do ANM (Agência Nacional de Mineração), existem cerca de 265 polígonos que representam áreas que impossibilitam a atividade mineral, por serem áreas que demarcam regiões de linhas de transmissão elétrica, aterros, rodovias, gasodutos, ferrovias hidrelétricas, distritos industriais, entre outras situações.

A dispersão geográfica é uma das características naturais dos minerais usados no emprego imediato na construção civil. Todavia, para que eles sejam economicamente viáveis, fatores como a legislação mais ou menos restritiva, a inviabilização de reservas e jazidas pelas cidades e por usos de solos impeditivos à mineração, o uso e posse de tecnologia de pesquisa e lavra, o sistema de transportes e a demanda por minerais para agregados são fundamentais (LA SERNA; REZENDE, 2009).

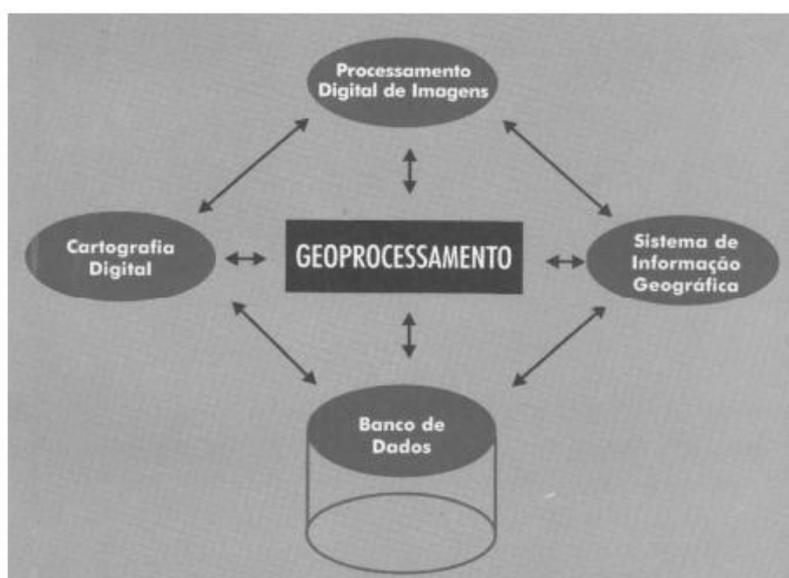
A partir disto, o zoneamento é produto fundamental para a realização de atividades de manejo e gestão, através da produção cartográfica de um território, dividindo uma região em zonas homogêneas quanto a probabilidade de ocorrência do determinado objetivo, permitindo a sociedade civil e os empreendedores, compreendam as vulnerabilidades e potencialidades de cada zona (SCOLFORO *et al.*, 2008).

2.2 Geoprocessamento

A obtenção de dados sobre a distribuição geográfica de recursos minerais, propriedades, animais e plantas, sempre foi um pilar da organização das sociedades, entretanto, isto era feito apenas em meio analógico, por exemplo, documentos e mapas em papel, fator que impedia a combinação de diversos dados e mapas. Assim, com o avanço da tecnologia, a cartografia clássica passou a dar espaço para a cartografia digital, inserida dentro do acervo de técnicas do geoprocessamento. Em outras palavras, o termo geoprocessamento pode ser adotado a profissionais que desenvolvem atividades com cartografia digital, processamento digital de imagens e sistemas de informações geográficas (Figura 1) (ROSA, 2013).

Figura 1 – Atividades correlacionadas ao Geoprocessamento.

Fonte: ROSA, 2013



O conjunto de tecnologias utilizadas para coleta, armazenamento, edição, análise e disponibilização de dados e informações com referência geoespacial, são conhecidos como geotecnologias, constituído por soluções em *software*, *hardware*, *peopleware* e *dataware*. Dentre as geotecnologias pode-se citar o Sensoriamento Remoto por Satélites, Aerofotogrametria, Sistema de Posicionamento Global, Cartografia Digital, Geodésia, entre outros, com destaque para o Geoprocessamento, que hoje, é o principal constituinte dos Sistemas de Informações Geográficas – SIG's (ZAIDAN, 2017).

Assim, Xavier da Silva (2009), considera o geoprocessamento um resultado de uma associação de conhecimentos teóricos, conceituais e metodológicos, aos quais estão relacionados aos avanços das tecnologias, destacando-se o sensoriamento remoto e o processamento de dados, que lhe concedem, simultaneamente, prestígios devidos e indevidos.

Nesse contexto, Câmara *et al* (2001), enfatiza que o geoprocessamento denota uma ciência que utiliza metodologias matemáticas e computacionais para o desenvolvimento das informações geográficas, algo, que vem impactando de forma positiva nas diversas áreas da Cartografia, Análise de Recursos Naturais, Transportes, Comunicações, Energia e Planejamento Urbano e Regional, através, das ferramentas computacionais chamadas de Sistemas de Informação Geográfica (SIG), onde, é possível integrar diversos dados de fontes distintas e criar bancos de dados georreferenciados, permitindo assim, análises complexas e uma produção automatizada de documentos cartográficos.

Para utilizar um SIG no âmbito do Geoprocessamento, é necessário traduzir o cenário geográfico real em representações computacionais. Isso implica em dizer, deve-se escolher as mais adequadas representações da semântica de seu domínio de aplicação, em outras palavras, escolher o melhor conjunto/estrutura de dados e algoritmos capazes de transcrever a ampla diversidade de características do espaço geográfico (CÂMARA *et al*, 2001).

Nessas circunstâncias, Gomes e Velho (1995) adaptado por Câmara *et al* (2001), conceitua o processo de transcrição como um “paradigma dos quatro universos”, onde, a tradução dos dados é distinta em quatro “ambientes”:

- ◆ No universo do *mundo real*, que inclui os fenômenos/objetos a serem transcritos (tipo de solo, dados topográficos, cobertura do solo, cadastro urbano e rural, etc);
- ◆ No universo *conceitual* (matemáticos), distinto entre as classes formais de dados geográficos (dados contínuos e objetos individualizáveis) e a espacialização destas classes através tipos de dados comumente utilizados (dados temáticos e cadastrais, modelos numéricos de terreno, dados de sensoriamento remoto);
- ◆ No universo da *representação*, onde é associado diferentes representações geométricas as entidades formais estipuladas no universo conceitual, variando de acordo com a escala, projeção cartográfica e a época de aquisição do dado;
- ◆ No universo de *implementação*, realiza-se, através de linguagem de programação, o modelo de dados, definindo assim, a estrutura de dados que irá compor as geometrias do universo de representação;

Assim, Câmara e Medeiros (1998), relatam que o paradigma não se limita a sistemas de Geoprocessamento, mas, como uma visão unificadora aos impasses da Computação Gráfica e Processamento de Imagens, relatando, que a interface de usuário de um SIG deve retratar o universo conceitual e minimizar os detalhes dos universos de representação e implementação, onde, o usuário lida com concepções íntimas da sua realidade e reduz a dificuldade associada aos diferentes tipos de representação geométrica.

Um aspecto central no uso da tecnologia de Geoprocessamento advém da característica lógico-matemática de sistemas de informação; para ser representada em ambiente computacional, temos de associar a cada tipo de informação geográfica uma escala de medida e de referência, que será utilizada pelo GIS para caracterizá-lo (CÂMARA *et al*, 2001).

Deste modo, as mensurações típicas realizadas no âmbito geográfico representam-se áreas ou pontos da superfície terrestre e os aspectos de relação entre essas áreas ou pontos (ROSA, 2013). A escala de mensuração associa grandezas numéricas aos objetos a serem representados computacionalmente, dispostos em quatro níveis de mensuração: nominal, ordinal, intervalo e razão (Quadro 1). A regra associada ao processo de medição, resulta no seu grau e a cada grau de medida, reproduz o objeto de estudo, descrevendo seu nível de detalhe, que oscila entre

informações quantitativas até informações qualitativas (ROSA, 2013) (CAMARA *et al*, 2001).

Quadro 1 – Principais níveis de Mensuração no Geoprocessamento.

Escala	Características
Nominal	Essencialmente qualitativa, utilizado na diferenciação dos objetos de diferentes classes (classes de solo, rocha, cobertura vegetal, etc). Comumente utiliza-se os níveis binários para classificação dos eventos, com o intuito apenas de diferenciá-los.
Ordinal	Atribuição de valores ou nomes para as amostras, estabelecendo um conjunto ordenado de classes, baseado em regras, por exemplo, tamanho, altura, peso, desenvolvendo, uma sequência qualitativa
Intervalo	Escala de referência similar a escala ordinal, diferenciando nas características dos valores, onde o intervalo entre eles é conhecido e cada observação recebe um valor numérico preciso. Nesta escala, o ponto de referência zero é arbitrário, permitindo a atribuição de valores positivos e negativos, para as amostras.
Razão	Escala de referência semelhante a intervalar, diferenciando na característica do ponto zero, onde, neste nível de mensuração, o ponto zero é uma origem verdadeira.

Fonte: ROSA (2013); Câmara *et al* (2001).

2.2.1 Sistemas de informações geográficas – SIG

Sistemas de Informação Geográfica (SIG) é um ramo do universo dos Sistemas de Informação, desenvolvidos a partir da década de 60, com a primeira aparição no Canadá, em 1964, do então chamado “*Canadian Geographic Information System*” (Sistema Canadense de Informação Geográfica). Com o passar dos anos outros sistemas foram criados, com destaque para os sistemas “*New York Landuse and*

Natural Resources Information Systems” (Sistema de Informações sobre Uso da Terra e Recursos Naturais de Nova York) (1967) e o “*Minnesota Land Management Information System*” (Sistema de Informação de Gestão de Terras de Minnesota) (1969) (ROSA, 2013).

O termo Sistemas de Informação Geográfica (SIG) é aplicado para sistemas que realizam o tratamento computacional de dados geográficos e recuperam informações não apenas com base em suas características alfanuméricas, mas também através de sua localização espacial; oferecem ao administrador (urbanista, planejador, engenheiro) uma visão inédita de seu ambiente de trabalho, em que todas as informações disponíveis sobre um determinado assunto estão ao seu alcance, inter-relacionadas com base no que lhes é fundamentalmente comum, a localização geográfica (CÂMARA *et al*, 1999).

Os SIG's, podem ser identificados com uma das geotecnologias que estão inseridas dentro do acervo de atividades do geoprocessamento (ZAIDAN, 2017). Para Câmara (2005) adaptado por Francisco (2014), SIG representam ferramentas computacionais de Geoprocessamento, que possibilitam a produção de análises complexas, a partir da reunião de dados de variadas fontes e a criação de bancos de dados georreferenciados.

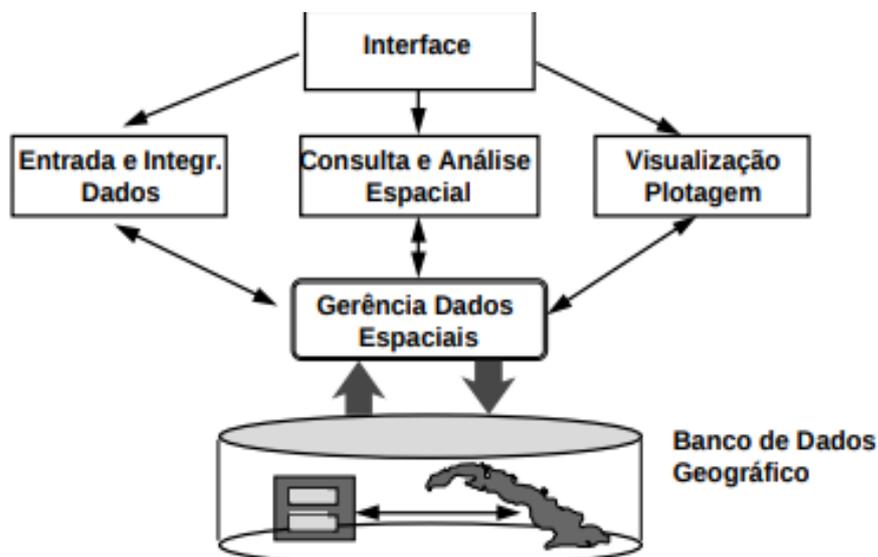
O grande apelo do SIG surge da sua habilidade em integrar grandes quantidades de informação sobre o ambiente e prover um repertório poderoso de ferramentas analíticas para explorar estes dados. Imagine o potencial de um sistema no qual são formadas dúzias ou centenas de camadas de mapas para exibir informação sobre redes de transporte, hidrografia, características de população, atividade econômica, jurisdições políticas, e outras características dos ambientes naturais e sociais (ROSA, 2013).

Devido aos variados tipos de aplicações, que une áreas como agricultura, cartografia, cadastro urbano, extração mineral, entre outros, Câmara (1999) enfatiza três grandes maneiras de se utilizar um SIG: como meio de produção de mapas, como base para análise espacial de fenômenos e como banco de dados geográficos, passíveis de armazenamento e recuperação de informação espacial.

Um sistema de informações geográficas é formado de maneira simples por cinco “subsistemas” (Figura 2): interface do usuário, de entrada, de armazenamento/gerenciamento, de análise e manipulação de dados e de saída e apresentação dos dados geográficos ou espaciais (gráficos e/ou imagens) (ROSA, 2013).

Figura 2 – Estrutura geral (subsistemas) de um SIG.

Fonte: CÂMARA, 1999.



A obtenção de dados geográficos, resulta da observação do mundo real, baseado no nível de detalhamento, precisão e acurácia compatíveis com a necessidade de produção das informações geográficas pelo SIG. Dentre as ciências e meios para aquisição de dados, pode-se destacar as ciências Geodésia, o Sensoriamento Remoto e a Fotogrametria, que fornecem técnicas de mensuração do mundo real, tais como, Topografia, Processamento de Imagens Digitais (PDI), Restituição Fotogramétrica, realizadas a partir da utilização de instrumentos específicos, como estação total, receptores GNSS, restituidores digitais, sistema de sensores passivos (óticos) e ativos (radar, laser e sondas) e RPA's (aeronaves remotamente pilotadas), a fim de produzir dados digitais a serem processados pelo sistema de informações geográficas (FERREIRA, 2006).

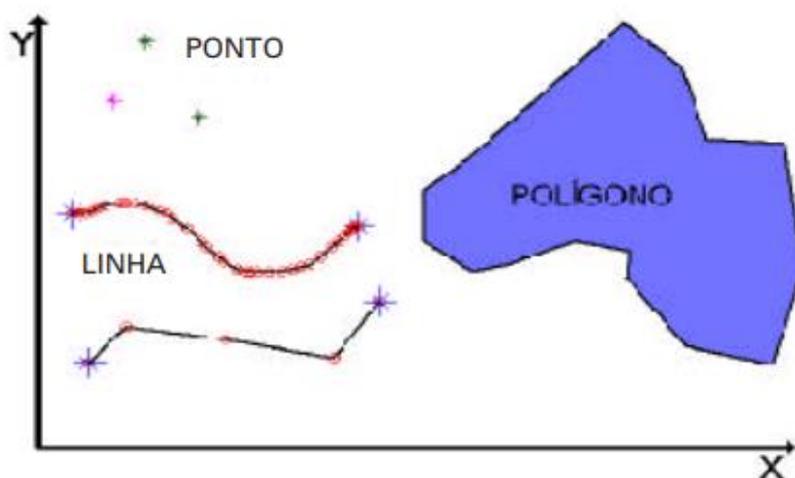
O processamento de dados diz respeito às operações de tratamento e de análise, destinados a preparação da base de dados, constituído pela conversão dos mesmos para formato digital, adaptação as propriedades cartográficas, modelagem da tabela de atributos, como também, a geração de novos dados/informações a partir da análise espacial. Assim, um SIG deve permitir que os dados sejam manuseados de diversas forma, possibilitando atividades, por exemplo, de seleção, classificação, agregação, identificação e derivação de novas informações, realizadas por expressões lógicas de uma linguagem de consulta, ou por meio manuseio direto e interativo da interface gráfica (FRANCISCO, 2014; ROSA, 2013).

O armazenamento/gerenciamento de dados baseia-se na inserção, remoção e/ou modificação/atualização, realizado por meio de um sistema de gerenciamento de banco de dados (SGBD), responsável por armazenar e recuperar dados geográficos em seus diversos formatos, assim como, seus metadados (informações descritivas) (ROSA, 2013).

A representação gráfica dos dados geográficos no ambiente SIG, é possível a partir de dois modelos geométricos, modelo vetorial e modelo matricial. No modelo vetorial (Figura 3), a localização e a aparência gráfica de cada objeto são guardadas e reproduzidas por um ou mais vértices associados a pares de coordenadas, expressos através das feições de pontos, linhas e polígonos (áreas) (ROSA, 2013; CÂMARA; MEDEIROS, 1998).

Figura 3 – Elementos de representação vetorial.

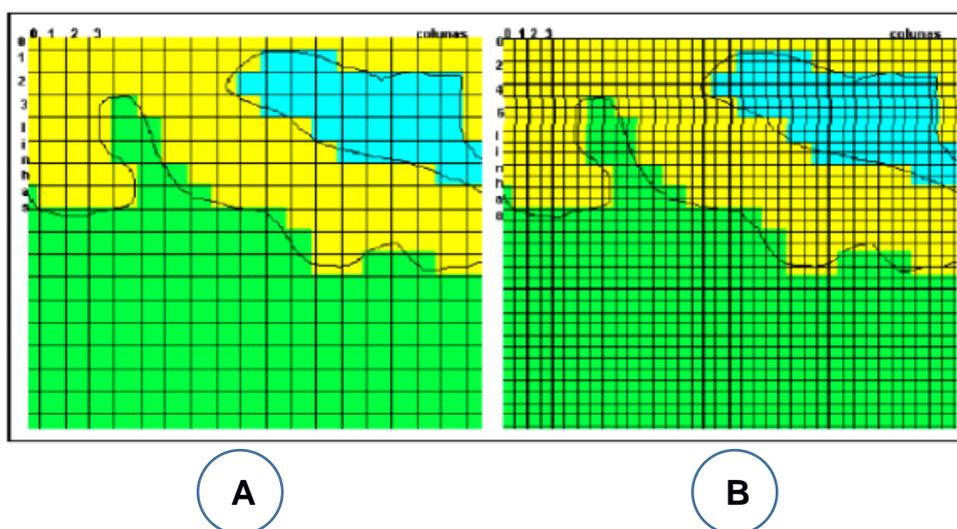
Fonte: SOARES, 2001.



No modelo matricial, também conhecido como *raster* (imagens), o espaço é reproduzido como uma matriz, constituída por i colunas e j linhas, formando células, conhecidas como *pixels*, onde os mesmos apresentam um valor associado referente ao atributo, associado ao par de coordenadas (X,Y), representado pelo número da coluna e o número da linha (Figura 4). É através desse “subsistema”, que permite a realização da produção de mapas, *layouts*, tabelas, relatórios, entre outros resultados (FRANCISCO, 2014; CÂMARA; MEDEIROS, 1998).

Figura 4 – Duas resoluções da representação matricial. (A) quatro vezes menor que a (B).

Fonte: INPE, 2000 *apud* SOARES, 2001.



2.2.2 Dados geográficos

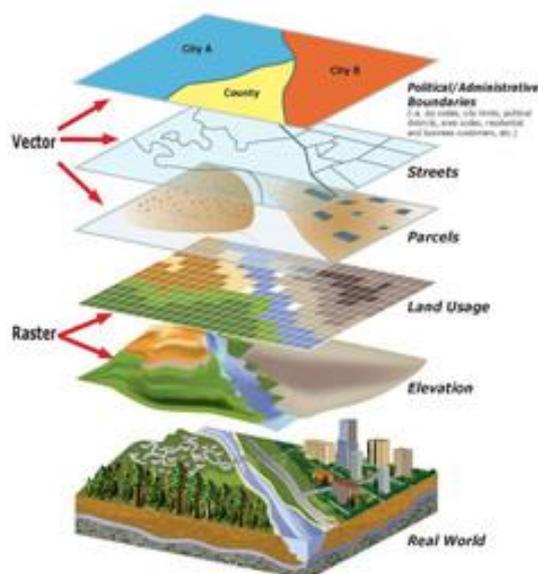
A expressão *dado espacial* descreve todo fenômeno que possui alguma dimensão espacial associado as suas características, assim, os dados espaciais utilizados em SIGs, são conhecidos como dados georreferenciados ou dados geográficos, pois, apresentam feições que descrevem fatos, objetos e fenômenos do planeta terra, correlacionados com a posição sobre a superfície terrestre, em um determinado instante ou período de tempo. (CÂMARA *et al*, 1996).

Assim, dados georreferenciados são desenvolvidos com base na relação entre dados espaciais e dados tabulares (metadados), cujo seu objetivo é representar graficamente, fisicamente, quantitativamente e qualitativamente os fenômenos/objetos contidos na superfície terrestre (FERREIRA, 2006).

Os *softwares* de SIG, possuem capacidade de manipular dados geográficos, com o intuito de produzir informações geográficas. Deste modo, os dados são estruturados em planos de informações, conhecidos como camadas, quando geograficamente referenciados em um de sistema de coordenadas, possibilitam seu agrupamento reproduzindo o modelo de mundo real (Figura 5). As camadas são compostas por uma reunião de elementos geográficos, que relacionam a um único tema ou classe de informação (FERREIRA, 2006; FRANCISCO, 2014).

Figura 5 – Dados geográficos dispostos em camadas.

Fonte: NOVAENG, 2019



Três características são essenciais para os dados geográficos. A característica não espacial, que descreve o ente a ser estudado, com nome e tipo da variável, a característica espacial, que informa a localização geográfica do ente, relacionado a propriedades geométricas e topológicas, e a característica temporal, que identifica o espaço de tempo o qual os dados são considerados, assim como, a data em que foram coletados e sua validade (CÂMARA *et al*, 1996).

No acervo de aplicabilidades em geoprocessamento e conseqüentemente em SIGs, os dados geográficos contidos no mundo real, são constantemente modelados, baseado em duas visões complementares: modelo de *campos* e de *objetos*. Um campo é entendido como uma aplicação matemática cujo domínio é uma concepção da região geográfica (porção de superfície qualquer contida dentro do espaço geográfico), que deste modo, o modelo de campo visualiza o mundo como uma superfície contínua, cujo os entes geográficos a serem analisados diversificam de acordo com diferentes distribuições, considerados contradomínio, ou seja, o conjunto de valores que o campo pode assumir. Assim, nos casos em que a variação temporal é analisada, basta considerar um conjunto de pares (p, t) , onde representam a região geográfica e o instante temporal, respectivamente (CÂMARA *et al*, 1996; CÂMARA *et al*, 1998).

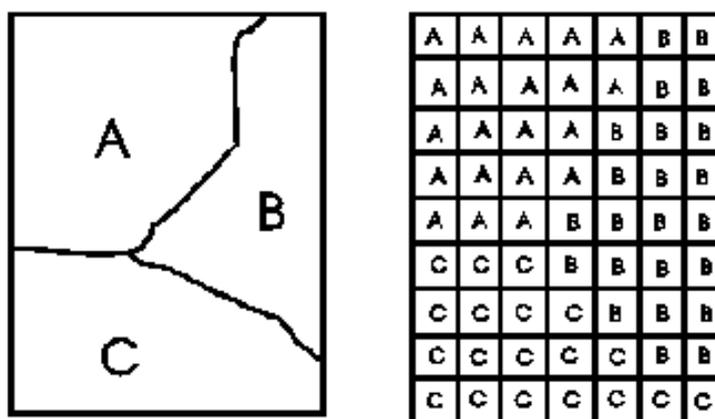
Baseado nos relatos de Câmara *et al* (1996), o modelo de objetos retrata o mundo real como uma superfície composta de objetos passíveis de identificação, não

necessariamente associados a algum fenômeno geográfico específico, podendo em alguma situação, ocupar a mesma localização geográfica, entretanto, possuem geometria e características próprias.

Dentro da perspectiva de dados geográficos manipulados por técnicas de geoprocessamento e apresentados por SIGs, os mesmos são classificados em 5 principais classes: mapas temáticos, mapas cadastrais, redes, modelos numéricos de terreno e imagens. Os mapas temáticos são produtos que representam elementos de forma reduzida, observados em um determinado espaço geográfico segundo os valores de um tema (por exemplo, uso do solo), através da aplicação de simbologias e projeções cartográficas, descrevendo o espaço geográfico de forma qualitativa. Um mapa temático pode ser armazenado nos formatos vetorial e matricial (*raster*) (Figura 6) (ARCHELA; THÉRY, 2008; CÂMARA, 1996).

Figura 6 – Representação vetorial e matricial, respectivamente, de um mapa temático.

Fonte: INPE, c2006.

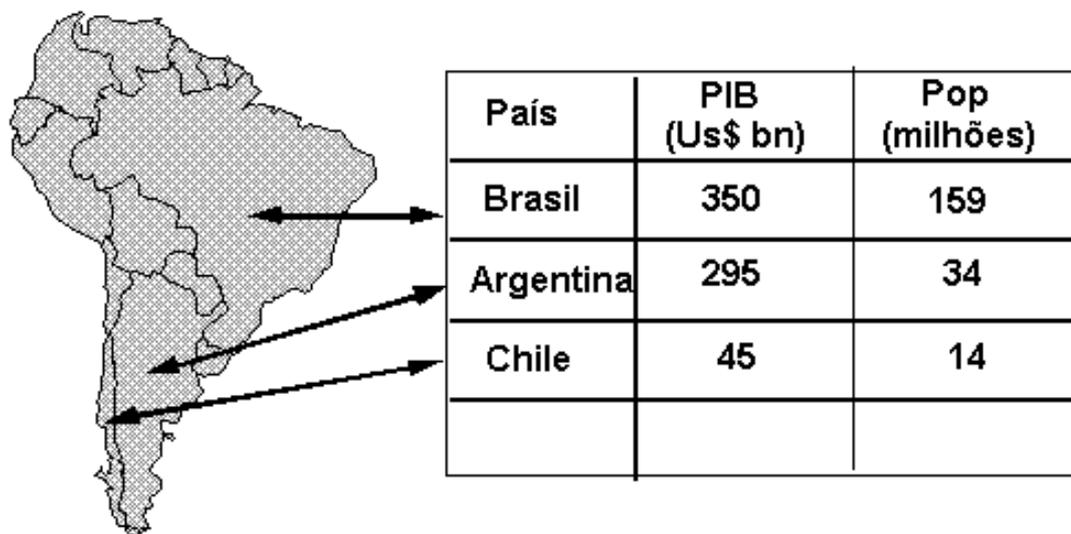


Diferente dos mapas temáticos, os mapas cadastrais apresentam objetos identificáveis (objetos geográficos) no mundo real, possuem características (nome, localização, entre outras), e diversas representações gráficas de acordo com a escala aplicada ao mapa (Figura 7) (CÂMARA *et al*, 1998).

A distinção entre mapas cadastrais e mapas temáticos não é usual na literatura de SIG, mas é extremamente importante para caracterizar de forma adequada os tipos de dados e as aplicações em Geoprocessamento. Quando falamos em mapas temáticos, estamos lidando, na absoluta maioria dos casos, com informações imprecisas [...] já no caso de um mapa cadastral, temos medidas precisas e determinadas (CÂMARA; MEDEIROS, 1996).

Figura 7 – Exemplo de Mapa Cadastral.

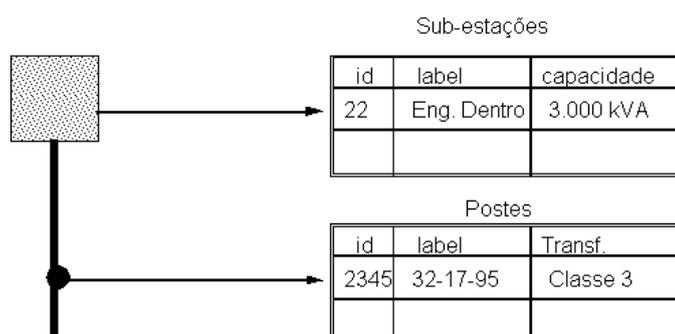
Fonte: INPE, c2006.



Na classe do tipo rede (Figura 8), os objetos geográficos, além de possuir uma localização geográfica exata, estão sempre associados a atributos não espaciais e descritivos, conhecidos como metadados, presentes no banco de dados. Em geoprocessamento, o significado de rede representa as informações associadas a serviços de utilidades pública, cujo, o principal objetivo do modelo é representar e monitorar os serviços, por exemplo, rede elétrica, de esgoto, de água, etc (CÂMARA; MEDEIROS, 1998; SOARES, 2001).

Figura 8 – Elementos de Rede.

Fonte: INPE, c2006

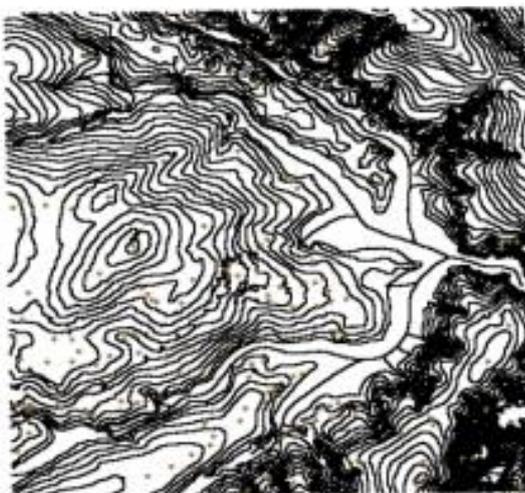


A expressão modelo numérico de terreno ou simplesmente MNT, é comumente utilizado para representar espacialmente de maneira quantitativa, uma grandeza variável dentro de um espaço geográfico. Geralmente, utiliza-se MNT para expressar

dados de altimetria, possibilitando assim, a produção de mapas topográficos, mapas de declividade para apoio de análises geomorfológicas e de erodibilidade, como também, servindo como utensílio básico para projetos de estradas e barragens. Modelo numérico de terreno denota um modelo matemático que traduz uma superfície real através da aplicação de algoritmos e conjunto de pontos (x, y) , associados a um determinado atributo (z) , que juntos transcrevem a variação constante da superfície (Figura 9) (CÂMARA; MEDEIROS, 1998; INPE, c2006).

Figura 9 – Isolinhas de Topografia, exemplo de MNT.

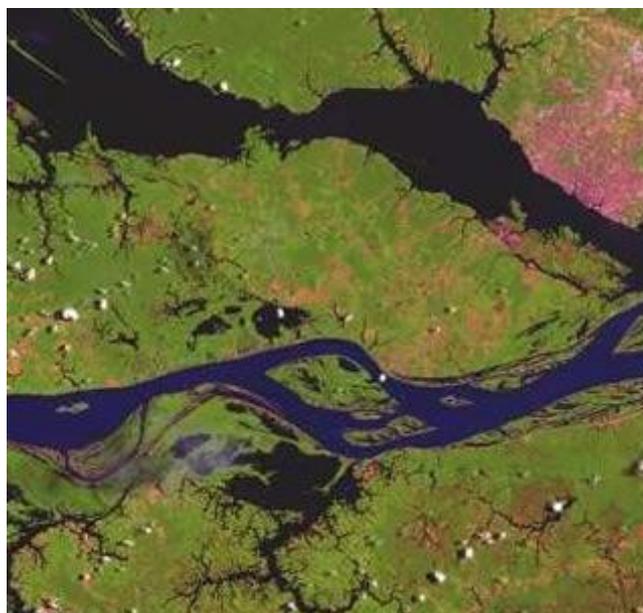
Fonte: CÂMARA et al, 1999.



Os dados geográficos denominados de imagens, representam informações espaciais capturadas de forma indireta, ou seja, obtidas através de satélites (Figura 10), fotografias aéreas ou “*scanners*” aerotransportados, armazenadas como matrizes (dado tipo *raster*), onde elemento da imagem (“*pixel*”) possui um valor, denominado número digital, que corresponde à reflectância do objeto para área imageada. A partir de técnicas de fotointerpretação e de processamento digital de imagem, é possível individualizar os objetos geográficos contidos na imagem, permitindo a geração de imagens temáticas, cujo os valores dispostos na matriz (*raster*), não correspondem a medidas físicas, mas a números ou códigos qualitativos que representam temas, como “solo exposto”, “vegetação”, “água”, entre outros (CÂMARA et al, 1996; CÂMARA et al, 1999; INPE, c2006).

Figura 10 – Mosaico de imagens (composição colorida) do satélite Landsat-5, do Rio Negro e do Rio Solimões, no Estado do Amazonas, obtidas em 1997.

Fonte: EMBRAPA TERRITORIAL, 2018.



2.2.3 Análise espacial

Segundo Câmara *et al.* (2002), citado por Cruz e Campos (2005), o procedimento de análise espacial representa um apanhado de técnicas e ferramentas cujo a finalidade é a produção de um modelo inferencial, descrevendo, geralmente através de mapas, a distribuição das variáveis de estudo, possibilitando a criação de hipóteses a partir da observação dos dados.

“Processos de análise espacial tratam dados geográficos que possuem uma localização geográfica (expressa como coordenadas em um mapa) e atributos descritivos (que podem ser representados num banco de dados convencional). Dados geográficos não existem sozinhos no espaço: tão importante quanto localizá-los é descobrir e representar as relações entre os diversos dados” (INPE, c2006).

A análise espacial em SIG implica no conhecimento das relações espaciais, baseados na topologia, entre as entidades geográficas, especialmente, quando a análise está associada ao modelo vetorial dos dados espaciais. A partir da topologia dos dados, são definidas as possíveis relações espaciais entre os diferentes elementos gráficos (pontos, linhas e áreas) (CRUZ; CAMPOS, 2005).

Na visão de Câmara *et al* (1996), para aplicações cartográficas e/ou cadastrais, os SIG's devem promover serviços de processamento e apresentação de mapas, como também, administração de banco de dados geográficos, e assim, permitir a aplicação de ferramentas de análise espacial.

Segundo Rosa (2011), os *softwares* detêm de ferramentas que possibilita ao usuário realizar pesquisas e manipulação de dados de forma individualizada ou com a combinação de vários dados, com o intuito de identificar elementos, padrões e tendências que uma simples visualização não possa identificar. Dessa maneira, os SIGs permitem realizar alguns tipos de análises espacial, como: sobreposição de dados, pesquisa topológica, operações de *buffering*, operações de geoprocessamento (dissolução, junção, corte, entre outros), análise de redes, modelagem tridimensional, interpolação, modelagem cartográfica, dentre outras análises.

A sobreposição de dados trata de um método de representação que consiste na apresentação de vários tipos de informações que pertencem a um mesmo espaço geográfico. Enquanto que, as operações de geoprocessamento são responsáveis pela edição e análise espacial, produzindo novos temas de informação geográfica ou enriquecendo as já existentes. A modelagem tridimensional e interpolação, são processos matemáticos, cujo o objetivo é a representação de fenômenos contínuos, com o intuito de auxiliar a visualização da superfície e na estimação de variáveis em qualquer ponto da superfície, respectivamente (ROSA, 2011).

A representação gráfica dos dados e dos procedimentos analíticos utilizados em um estudo, são definidos a partir de um conjunto de regras e procedimentos conhecidos como modelagem cartográfica (modelo cartográfico). Desta forma, a modelagem pode ser retratada como uma metodologia que integra processos com o intuito de resolver problemas espaciais. O meio de representar o modelo, é a partir do método de álgebra de mapas, que equivale a uma forma de organizar os processos, onde as variáveis e as operações desenvolverão o modelo (ROSA, 2011).

Segundo Tomlin (1990) *apud* Cordeiro *et al* (2007), os elementos da álgebra de mapas consistem em mapas que relacionam cada local de uma determinada região geográfica um valor quantitativo ou qualitativo, possibilitando desta forma, a aplicação de operações determinadas pelo modelador, com o intuito de gerar novos dados.

Da mesma forma que em matemática se usam símbolos para representar valores reais ou variáveis, em álgebra de mapas usam-se símbolos para representar as variáveis geográficas. Paralelamente aos operadores matemáticos (soma, subtração, multiplicação e divisão), também se usam

operadores lógicos para representar as relações entre variáveis ou as combinações entre mapas (ROSA, 2011).

Nos ambientes SIG, a álgebra de mapas é frequentemente utilizada para conjugar camadas ou variáveis alternativas com o intuito de gerar informações espaciais associadas a um aspecto particular da aptidão ou território, ou seja, conjunto de “geoprocessos” desenvolvidos em várias camadas com objetivo de alcançar dados derivados (Figura 11). Desta forma, o conceito de álgebra de mapas, abrange tanto procedimentos com dados vetoriais, como, em dados do tipo *raster* (imagens) (FERRERAS, 2016).

Figura 11 – Combinação de camadas de dados *raster*, na produção de um novo dado *raster* derivado.

Fonte: FERRERAS, 2016



2.3 Fotogrametria

O termo Fotogrametria durante a década de 60, era conhecida como: “*Ciência e arte de obter medidas confiáveis por meio de fotografias*” (*American Society of Photogrammetry*), entretanto, com o advento de novas tecnologias, a partir da utilização de novos sensores, a definição de Fotogrametria expressa pela *American S. of Photogrammetry*, passou a ser mais abrangente, tornando-se uma arte, ciência e tecnologia com capacidade de obter informações fidedignas de objetos físicos e do meio ambiente, através de fotografias, a partir dos processos de gravação, medição, interpretação das imagens e padrões de energia eletromagnética radiante e outras fontes de emissão (TOMMASELLI *et al*, 1999).

Atualmente, segundo Tommaselli *et al* (1999), a ciência da Fotogrametria é subdivida em quatro áreas de aplicação: Fotogrametria Espacial, Fotogrametria a curta distância, Fotogrametria Terrestre e Fotogrametria aérea (Aerofotogrametria). A aplicação espacial, traduz todas as formas de fotografias e/ou imagens extraterrestres e as medições decorrentes. De acordo com Silva (1995), fotogrametria terrestre e a curta distância, são aplicações correlatas, visto, que o método de captação de dados/fotos utilizando uma câmara métrica terrestre a uma distância inferior a 200 metros, é conhecido como fotogrametria terrestre a curta distância. Embora bastante utilizado na Arquitetura e Engenharia, para medições em estruturas e objetos, este método de tomadas de fotografias, também possui larga utilização na Medicina, podendo ser chamada de Fotogrametria Médica (TOMMASELLI *et al*, 1999).

A Fotogrametria Área ou Aerofotogrametria, é uma subdivisão da fotogrametria, onde a tomada de fotografias da superfície terrestre é realizada a partir do uso de câmeras de precisão a bordo de aeronaves. Atualmente, o método da aerofotogrametria é preferencialmente aplicado para o mapeamento de grandes áreas, visto, que os produtos obtidos, possuem grande precisão e custo relativamente baixos. (LIMA *et al*, 2010; TOMMASELLI *et al*, 1999). Nos últimos anos com o desenvolvimento da tecnologia, no que tange a evolução de métodos computacionais, a ciência da fotogrametria concebeu um novo esquema de instrumentos e processos, conhecido como Fotogrametria Digital (LIMA *et al*, 2010).

Segundo Heipke (1995) *apud* por Temba (2000), a fotogrametria digital é compreendida como uma tecnologia de informação utilizada para a produção de informações geométricas, radiométricas e de semântica sobre objetos do universo real, a partir de imagens digitais. De acordo com Helava (1992) *apud* Temba (2000), com o domínio da tecnologia computacional, a fotogrametria digital passou a se correlacionar com outras ciências, tais como Sistema de Informações Geográficas (SIG) e com o Sensoriamento Remoto, visto que, a produção fotogramétrica oferece dados com acurácia e integridade métrica ideais, tornando-se uma das principais fontes primária de dados para produção cartográfica.

Para produção cartográfica, segundo Redweik (2007) conforme citado por Souza (2016), é comumente utilizado imagens aéreas resultantes dos processos de retificação fotográfica e estereorrestituição, provenientes dos sistemas de processamentos fotogramétricas, dando origem a diversos dados destintos em dois grupos, os matriciais, representados por imagens das feições (ex.: mosaicos,

orthofotoimagens, orthofotomosaicos), e os vetoriais, simbolizando objetos selecionados/classificados de acordo com a necessidade, sendo apresentado por pontos ou vetores.

As informações obtidas através das fotografias aéreas, são utilizadas como dado base para geolocalização de feições na superfície terrestre, através do processo de estereoscopia, onde os aspectos físicos como vegetação, edificações, drenagem e a topografia, apresentam diferentes formas, texturas, cor e sombra, permitindo assim, a identificação dos alvos no terreno (CARVALHO; ARAÚJO, 2009 *apud* SOUZA, 2016).

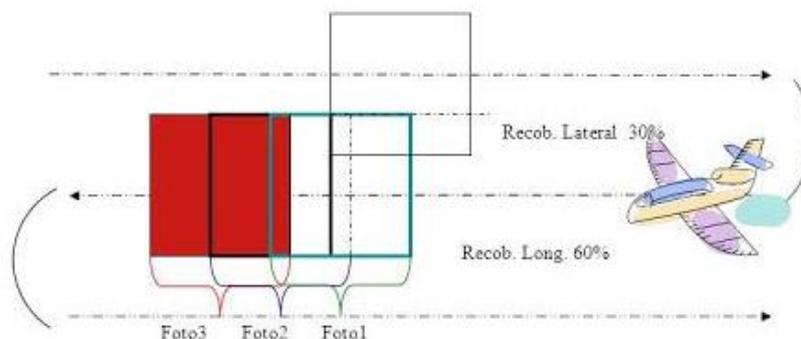
2.3.1 Fotografias aéreas por RPA (*Remotely Piloted Aircraft* – Aeronaves Remotamente Pilotadas)

Imagens aéreas com alta resolução espacial e temporal auxiliam na captação de dados em campo, produzindo informações a serem utilizadas como apoio a tomada de decisões. Atualmente, se faz necessário a busca por meios de obtenção de imagens aéreas rápidos, confiáveis e de baixo custo. Como alternativa, são utilizados Aeronaves Remotamente Tripuladas (RPAs – do inglês *Remotely Piloted Aircraft*), também denominadas de VANTs (Veículos Aéreos Não-Tripulados) ou Drones, por possuírem a capacidade de coletar imagens aéreas úteis, com alta resolução espacial e temporal (XIANG e TIAN, 2011 *apud* PERIN, 2016).

Desta forma, o produto final consiste em um mosaico produzido a partir de imagens que recobrem a área de estudo, variando a quantidade de acordo com a resolução espacial definida e do tamanho total da área, ambos, definidos durante o planejamento de voo. Tais fotografias são compiladas sistematicamente através do recobrimento lateral e longitudinal (Figura 12), de maneira a obter uma representação contínua da superfície imageada, conhecido como ortoimagem (também denominado de ortomosaico) (BRAZ *et al.*, 2015 *apud* PERIN *et al*, 2016; DA SILVA *et al*, 2014).

Figura 12 – Exemplo de Recobrimento Lateral (30%) e Longitudinal (60%) para mapeamentos com aeronaves.

Fonte: ORTH, 2009.



Durante o processo de geração do ortomosaico, surge uma dificuldade quanto a acurácia, em termos de precisão, das informações planimétricas e altimétricas. Desta maneira, o processamento fotogramétrico de imagens obtidas por RPA, pode ser auxiliado com o uso de dados de posicionamento oriundos do sistema GNSS (*Global Navigation Satellite System*), utilizando pontos de apoio e pontos de controle no terreno imageado (GCPs – do inglês *Ground Control Points*), com o intuito de coletar coordenadas mais precisas para assistir o processo de correção geométrica do ortomosaico (DA SILVA *et al*, 2014).

Segundo Perin *et al.* (2016), outro método de utilização dos GCPs, é no processo de georreferenciamento após a produção do mosaico, corrigindo a distorção posicional da imagem, através da indicação das coordenadas dos GCPs, identificados na mesma, coletadas pelo sistema GNSS.

2.4 Cartografia Geotécnica

Com o contínuo desenvolvimento tecnológico e da sociedade, a criação de novas normas e referências para elaboração de mapas, as definições de documentos cartográficos, assim como os produtos cartográficos apresentados hoje, são bem mais diversas e diferentes daqueles produzidos nos tempos antigos. Grande exemplo, são as novas formas de obtenção de informações para produção cartográfica, atrelado ao desenvolvimento de novos equipamentos de medição e de posicionamento geográfico (ZUQUETTE; GANDOLFI, 2004).

A partir do avanço da tecnologia associada a cartografia clássica, o processamento eletrônico de dados cartográficos permitiu a representação e o armazenamento de dados de uma forma mais dinâmica, associado ao surgimento dos sistemas de informações geográficas (SIG), onde possibilitou a captura, gerenciamento, manipulação e análise de dados de diversas fontes, devidamente georreferenciados, tornando-os matéria-prima para construção de soluções de planejamento urbano e ambiental, gerenciamento de obras civis, gestão territorial, zoneamento ambientais e mineral, entre outros (SOBREIRA; DE SOUZA, 2012).

Assim, desde o século passado, houve uma crescente no processo de produção de mapas que retratam o meio físico (água, materiais inconsolidados, relevo e rochas etc.), trazendo informações adequadas para implantações de obras civis, a partir de dados geológicos/geotécnicos, que resultavam em um produto cartográfico conhecido como mapa geotécnico ou carta geotécnica (ZUQUETTE; GANDOLFI, 2004).

Para Zuquette (1987), carta geotécnica é resultado da interpretação dos atributos do meio físico contidos em um mapa, enquanto que, mapa geotécnico, o autor considera como uma representação gráfica dos atributos geotécnicos obtidos, sem a devida análise interpretativa.

Para elaboração de mapas e cartas geotécnicas, diversos autores elaboraram metodologias e sistemáticas capazes de analisar o meio físico através de alguns pontos: sua elaboração (origem), características do meio físico considerado, classificações dos atributos utilizados, obtenção dos atributos, finalidades, documentos obtidos e as áreas onde foram aplicadas (ZUQUETTE, 1987).

Dentre os elaboradores das metodologias, algumas delas se destacam como estudo base para formulação de novas técnicas, dentre elas destacam-se: Metodologia francesa, Metodologia da IAEG, Metodologia PUCE, Metodologia espanhola, Sistema ARDA, Metodologia suíça, Sistemática de Ontário (Canadá), Mapas de solos para fins de engenharia (Estados Unidos) e a Metodologia da Grã-Bretanha (ZUQUETTE; GANDOLFI, 2004).

No Brasil, a elaboração de trabalhos de cartografia e mapeamento geotécnico tiveram início dos anos 1965-1966, com o professor Haberlehner da Universidade Federal do Rio de Janeiro. A partir disso, outros trabalhos foram desenvolvidos, com enfoque para as elaborações do Departamento de Geotécnia da EESC/USP

(Universidade de São Paulo), publicadas por Lázaro V. Zuquette (1981) e Nilson Gandolfi e Lázaro V. Zuquett (1986) (ZUQUETTE; GANDOLFI, 2004).

2.4.1 Metodologia de Zuquette

A proposta metodológica de Zuquette (1987) tem por objetivo desenvolver documentos que possam ser utilizados como diretrizes básicas para implementar o planejamento de ocupação do meio físico, sem que haja devidas consequências.

O devido mapeamento geotécnico está baseado nas condições socioeconômicas do país e nos princípios que regem as demais metodologias, onde, o levantamento dos atributos do meio físico, deverá ser executado por meio técnico e por métodos simples, baratos e eficazes (ZUQUETTE, 1987; ZUQUETTE; GANDOLFI, 2004).

De acordo com Zuquette (1987), os documentos produzidos podem ser utilizados como auxílio no planejamento de uma região, tanto no quesito de obras de engenharia, como na agropecuária ou na ocupação do meio físico por diferentes formas. Partindo desse ponto, o autor caracteriza os principais usuários dos documentos gerados pelo mapeamento geotécnico, em dois grupos: os públicos e os privados.¹

Os usuários públicos abrangem todos níveis da administração, Federal, estadual e municipal, sendo, que os órgãos municipais e estaduais são os mais necessitados das informações do meio físico, onde, serão utilizadas para o planejamento, com informações úteis em termos econômicos e de tempo. Enquanto que os órgãos federais, são responsáveis pelo controle e fiscalização do meio físico (ZUQUETTE, 1987).

No caso dos usuários particulares, são principalmente as empresas e pessoas físicas que estão relacionadas com a ocupação do meio físico, geralmente construtoras e projetistas, obtendo dos mapeamentos dados suficientes para a execução de obras civis (loteamentos, indústrias, estradas, etc), como também, para extração de material para serem utilizados na construção civil ou pavimentação (ZUQUETTE, 1987).

A construção dos mapeamentos geotécnicos é fundamentada em um conjunto de informações já existentes e fundamentais para cara região, conhecidos como atributos, relativos aos aspectos do meio ambiente, por exemplo, substrato rochoso,

material inconsolidado, águas, condições sócio-econômicas, entre outros. Estes atributos foram considerados a partir do objetivo geral do mapeamento, possibilitando a elaboração do zoneamento em relação ao meio físico frente aos diversos tipos de usos e forma de ocupação, como também, a predisposição a processos naturais e a previsão de impactos ambientais (ZUQUETTE, 1987; ZUQUETTE; GANDOLFI, 2004).

De acordo com a sistemática EESC/USP, retratada por Zuquette (1987), os documentos cartográficos se definem basicamente em 4 classes de representação dos atributos coletados e/ou analisados:

- ◆ Mapas básicos fundamentais: comumente representam os componentes do meio físico (Ex: Mapa Topográfico, Mapa Geológicos, Mapa de material inconsolidado, Mapa das águas);
- ◆ Mapas básicos opcionais: são considerados todos os mapas existentes (com exceção dos mapas básicos fundamentais), podendo variar de acordo com as características da região e o objetivo (Ex: Mapa geomorfológico, Mapa pedológico, Mapa geofísico, Mapa climático e uso e cobertura do solo);
- ◆ Mapas Auxiliares: com um único exemplar, mapa de documentação ou de dados, consiste em registrar todos os pontos onde foram possíveis extrair informações, assim como o tipo e o modo de obtenção;
- ◆ Cartas derivadas ou interpretativas: são produtos gerados a partir da análise e/ou interpretações realizadas sobre as informações encontradas nas outras classes de mapas, ou, através da combinação dos atributos desses mapas, através de procedimentos manuais ou automáticos (Ex: Carta para Irrigação, Carta de potencial a corrosividade, Carta para estradas, Carta de potencial de materiais geológicos para construção civil, etc.).

Durante o processo de ordenamento das informações dos mapas e cartas, Zuquette & Gandolfi (2004), intitulam 8 níveis hierárquicos de documentos (Quadro 2), com o objetivo de definir categorias aos produtos, assim como, a ordem de elaboração em uma sequência lógica, desde o planejamento do trabalho (seleção dos atributos, definição de escala, objetivos, etc), até a concepção do documento em nível mais avançado de acordo com a hierarquia proposta. São confeccionados com base numa sequência de procedimentos (metodologias e sistemáticas), que determinam em qual

nível hierárquico o objetivo se encaixa, por conseguinte, os mapas e cartas relacionadas (Quadro 3).

Quadro 2 – Ordenamento hierárquico de documentos cartográficos do mapeamento geotécnico.

Nível Hierárquico	Tipo de Documento
I	Fundamental básico – relata as características do meio físico, biológico e antrópico, por meio da variação espacial dos atributos.
II	Fundamental de síntese – finalidade de sintetizar informações de uma região, sem promover análises para fins específicos.
III	Carta derivada ou interpretativa – elaborada para finalidade específica; anuncia o resultado de uma análise, considerando as características das áreas delimitadas, classificadas de acordo com o comportamento natural mediante a uma determinada situação de uso.
IV	Carta analítica básica – confeccionada com base em um conjunto de dados sobre componentes básicos de um meio, relacionados ao quesito probabilidade de ocorrência.
V	Carta de prognósticos de riscos, de problemas e de limitações
VI	Carta de procedimento – considera a ocupação e o controle de riscos
VII	Carta de viabilidade (potencial) para os usuários – produzida em cima de todas as informações do meio ambiente, levando em questão todos os vetores de ocupação
VIII	Carta de orientações conclusivas – objetiva permitir tomadas de decisões dentro do planejamento administrativo ou econômico.

Fonte: Adaptado de ZUQUETTE; GANDOLFI (2004).

Quadro 3 – Documentos cartográfico (meio físico) correlacionados ao nível hierárquico

Nível Hierárquico	Meio Físico
I	Mapas: substrato rochoso; qualidade das águas; declividade; materiais inconsolidados; geologia estrutural; climático; feições do terreno; etc.
II	Carta de zoneamento geotécnico geral (CZGG); mapa das condições geológico-geotécnica (MCGG); carta das restrições
III	Cartas derivadas e interpretativas: fundações; condições de drenabilidade; escavabilidade; potencial agrícola; potencial para minerais e materiais para construção civil; irrigação; estradas; etc.
IV	Cartas: áreas degradadas; probabilidade de ocorrência de eventos naturais; passivos ambientais (meio físico); potencial de erosão; áreas sujeitas a eventos perigosos (tipo x área); etc.
V	Carta de classificação de bacias hidrográficas quanto a problemas ambientais; carta de riscos específicos e totais; carta de zoneamento geoambiental; carta de vulnerabilidade das águas; etc.
VI	Carta que retrata os procedimentos construtivos e os cuidados para implementar as formas de ocupação.
VII	Viabilidade para aeroportos, barragens e captação de água; viabilidade para construções civis; viabilidade para agropecuária e hortifrutigranjeiros; viabilidade para aterros sanitários; etc.
VIII	Hierarquização das unidades considerando somente os atributos do meio físico; priorização das áreas para diferentes finalidades (específicas ou globais)

Fonte: Adaptado de ZUQUETTE; GANDOLFI (2004).

Os mapas e cartas resultantes dos processos de mapeamento geotécnico devem apresentar, como princípio básico, o registro, a análise ou a síntese de um conjunto de atributos de uso direto para as diferentes situações,

considerando os aspectos decisivos e a lógica relacionada ao tema em questão (ZUQUETTE; GANDOLFI, 2004, p. 130).

2.4.2 Carta de zoneamento para exploração de materiais de construção

Segundo Zuquette & Gandolfi (2004), o objetivo principal da produção de uma carta derivada com potencial em materiais geológicos para construção civil e afins, comumente utilizada para identificação de agregados, fornece informações sobre as potencialidades e problemas ambientais de determinadas áreas, assim como, qualidades e características específicas dos agregados, sejam eles graúdos, miúdos ou particulados.

A carta em questão, é um elemento final de um processo de mapeamento geotécnico, onde, etapas que antecedem o produto final, são caracterizadas pela captação de um grupo de informações, necessárias para determinação dos materiais apropriados para o objetivo ou que validem a utilização desses materiais (ZUQUETTE, 1987).

Durante a elaboração da carta derivada, alguns trabalhos devem ser realizados para que possibilite a delimitação na região de áreas com potencialidades para determinados materiais, dentre eles podemos citar: levantamento de campo para observação dos locais com exploração ou não, análise de afloramentos, execução de ensaios simples a partir de amostragem de materiais inconsolidados ou rochosos, execução de ensaios índices, entre outros (ZUQUETTE, 1987).

A delimitação de áreas quanto ao potencial de materiais que apresentam boas possibilidades de uso assim como, os locais favoráveis a exploração, deve-se considerar um grupo de atributos básicos que permita a identificação do tipo de material em questão (Quadro 4) (ZUQUETTE, 1987; ZUQUETTE; GANDOLFI, 2004).

Quadro 4 – Atributos para elaboração de carta de zoneamento para materiais.

COMPONENTE	ATRIBUTO TIPO		
	Agregados	Ornamentais	Areias
Substrato rochoso	Litologia	Litologia	-
	Mineralogia	Mineralogia	Mineralogia

Quadro 4 – Atributos para elaboração de carta de zoneamento para materiais.

COMPONENTE	ATRIBUTO TIPO		
	Agregados	Ornamentais	Areias
Substrato rochoso	Densidade	Densidade	Densidade
	Porosidade	Porosidade	-
	Alterabilidade	Alterabilidade	-
Material inconsolidado	Adsorção de azul de metileno	Adsorção de azul de metileno	Adsorção de azul de metileno
	-	-	Textura
	-	-	Mineralogia
	-	-	Matéria Orgânica
	-	-	-

Fonte: Adaptado de ZUQUETTE (1993) *apud* ZUQUETTE; GANDOLFI (2004)

2.5 Agregados aplicados na construção civil e pavimentação

De acordo com a NBR 9935 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT, 1987), agregados consiste em um produto granular pétreo, sem determinação de volume e forma, em grande maioria, quimicamente inerte, alcançado por fragmentação natural ou artificial, possuindo dimensões e propriedades ideais para aplicação em obras de engenharia.

Dentro do universo das obras de engenharia civil, materiais como pedras britadas, cascalho, argila, areia, entre outros, são considerados material do tipo agregado, podendo ser, naturais, encontrados de forma particular na natureza, ou, artificiais, produzidos por algum processo industrial, como é o caso das argilas expansivas e das pedras britadas (REZENDE, 2017).

Este tipo de material são derivados dos diversos tipos de rochas encontradas na natureza, como são os casos dos arenitos e siltitos, que são originários de rochas

sedimentares, dos quartzitos, calcários e gnaisses, formados a partir de rochas metamórficas, como também, os resultantes das rochas ígneas, por exemplo, os granitos, sienitos, basaltos, entre outros (REZENDE, 2017).

A aplicação dos minerais na construção civil e pavimentação ocorre nos diversos tipos de obras, variando de acordo com as propriedades do agregado. Sua principal utilização é na produção de concretos e argamassas, com diversas utilidades dentro da engenharia de construção, tendo como cargo chefe, a composição de elementos estruturais de concreto armado (BATISTA, 2010). Os materiais médios e finos, possuem grande uso em misturas, com a finalidade de preenchimento ou gerar rigidez, podendo ser unidos por cimento ou betume para formarem concreto hidráulico (construção civil) ou asfáltico (pavimentação de rodovias) (SALVADOR; ALMEIDA, 2006 *apud* REZENDE, 2017).

Os agregados pela sua larga escala de utilização, são considerados como insumos básicos em diversas construções, por exemplo, em edificações, estradas, instalações urbanas, fundações, piso, acabamentos, entre outros (REZENDE, 2017). Os principais usos desses materiais são apresentados pelo Quadro 5.

Quadro 5 – Principais utilizações dos Agregados.

Agregado	Utilização
Areia Artificial e Areia Natural	Assentamento de bloquetes, tubulações em geral, tanques, embolso, podendo entrar na composição de concreto e asfalto.
Pedrisco	Confecção de pavimentação asfáltica, lajotas, bloquetes, intertravados, lajes, jateamento de túneis e acabamentos em geral.
Brita 1	Intensivamente na fabricação de concreto, com inúmeras aplicações, como na construção de pontes, edificações e grandes lajes
Brita 2	Concreto de maior resistência

Quadro 5 – Principais utilizações dos Agregados.

Agregado	Utilização
Brita 3	Pedra de lastro (Ferrovias)
Brita 4	Drenos sépticos e fossas (obras de Drenagem)
Rachão, pedra de mão ou pedra marroada	Fabricação de gabiões, muros de contenção e bases
Brita graduada	Base e sub-base (pavimentação), pisos, pátios, galpões e estradas

Fonte: Adaptado de KULAIF (2001)

Estas utilizações estão associadas a forma, o tamanho e a granulometria. Entretanto, os agregados também apresentam destinação de uso baseados na litologia, mineralogia e geologia (tipo rochoso), como características básicas dos materiais para a determinada aplicação, como apresentado nos Quadro 6 e Quadro 7, adaptado dos autores Pena (c2019) e *Metso Minerals* (2005), respectivamente.

Quadro 6 – Materiais utilizados na construção civil, baseados na litologia, mineralogia e geologia (tipo rochoso).

USO	LITOLOGIA	MINERALOGIA	TIPO ROCHOSO (Geologia)
Construção Civil – Vasos, Cerâmica, Porcelanatos	Argila	Ilita, Feldspato, Quartzo, Caulinita	Sedimentar
Construção Civil – Pisos e Revestimentos	Ardósia	Mica, Clorita	Metamórfica (Argila)
Construção Civil – Ornamentação	Mármore	Calcita, Dolomita	Metamórfica (Calcário)
Construção Civil – Construções e Formação De Blocos	Granito	Quartzo, Feldspato, Mica	Ígnea plutônica
Indústria de Transformação, Construção Civil	Areia – Inconsolidada	-	Sedimentar Aluvionar
Indústria de Transformação, Construção Civil	Areia – Consolidada	Arenitos, Quartzitos	Ígnea / Metamórfica
Construção Civil – Acabamento, Estrutura e Revestimento	Basalto	-	Ígnea vulcânica
Construção Civil – Fabricação de Produtos Artificiais	Pedregulhos	-	Ígnea (Fluvial)
Construção Civil	Pedra Britada	-	-

Fonte: Adaptado de PENA (c2019)

Quadro 7 – Materiais utilizados na pavimentação, baseados na litologia, mineralogia e geologia (tipo rochoso)

USO	LITOLOGIA	MINERALOGIA	TIPO ROCHOSO (Geologia)
Pavimentação	Andesito	Diorito	Ígnea vulcânica
Pavimentação – Asfalto	Basalto	Quartzo, Augita, Magnetita	Ígnea vulcânica
Pavimentação	Conglomerado	-	-
Pavimentação	Diorito	Plagioclásio, Hornblenda, Biotita	Ígnea plutônica
Pavimentação	Gabro	Plagioclásio Cálcico, Piroxênio	Ígnea plutônica
Pavimentação	Gnaiss	Gnaiss	Metamórfica
Pavimentação	Granito	Quartzo, Feldspato	Ígnea plutônica
Pavimentação	Calcário	Carbonato de Cálcio (Calcário)	Sedimentar
Pavimentação	Quartzito	Quartzo	Metamórfica e/ou Sedimentar
Pavimentação	Riolito	-	Ígnea vulcânica
Pavimentação	Sienito	Feldspato, Plagioclásios, Hornblenda, Biotita	Ígnea plutônica
Pavimentação	Traquito	Sienito	Ígnea vulcânica

Fonte: Adaptado de *METSO MINERALS* (2005)

Dentro das perspectivas de utilização do material agregado em estradas (pavimentação), Diniz (2017), promove através do Quadro 8, critérios de avaliação do material no que concerne a adequabilidade do uso em obras de engenharia, com o intuito de identificar locais com potencial de material agregado, preservando a qualidade do meio ambiente com a diminuição dos riscos a vida e as propriedades, causados por fatores geológicos.

Quadro 8 – Critérios de avaliação para adequabilidade a usos em obras de estradas.

USO	ATRIBUTO	CLASSES			
		ADEQUADO	COM RESTRIÇÕES	NÃO RECOMENDADO	INADEQUADO
Traçado	Declividade	<5%	5 – 10 %	10 – 30%	>30%
Aterros (local)	Declividade	0-10%	10-20%	20-30%	>30%
	Geomorfologia	Platô/planície	Colina/morro	Morro/montanha	Montanha/Serra

Quadro 8 – Critérios de avaliação para adequabilidade a usos em obras de estradas.

USO	ATRIBUTO	CLASSES			
		ADEQUADO	COM RESTRIÇÕES	NÃO RECOMENDADO	INADEQUADO
Material de empréstimo	Textura	Areia siltosa	Areia argilosa	Silte arenoso	Argila

Fonte: Adaptado de SOUZA; DINIZ *apud* DINIZ (2017)

3. METODOLOGIA

Esta pesquisa consiste em propor subsídios e alternativas para um planejamento territorial ao uso de áreas com potencial de extração de agregados dentro da Região Metropolitana do Agreste, localizada no estado de Alagoas. Para melhor compreensão e explanação, as etapas gerais de desenvolvimento do trabalho são citadas no fluxograma, em acordo com a Figura 13, em seguida, detalhamentos da área de estudo e dos materiais e métodos utilizados para o desenvolvimento deste trabalho.

Figura 13 – Fluxograma geral das etapas gerais da pesquisa.



3.1 Área de estudo

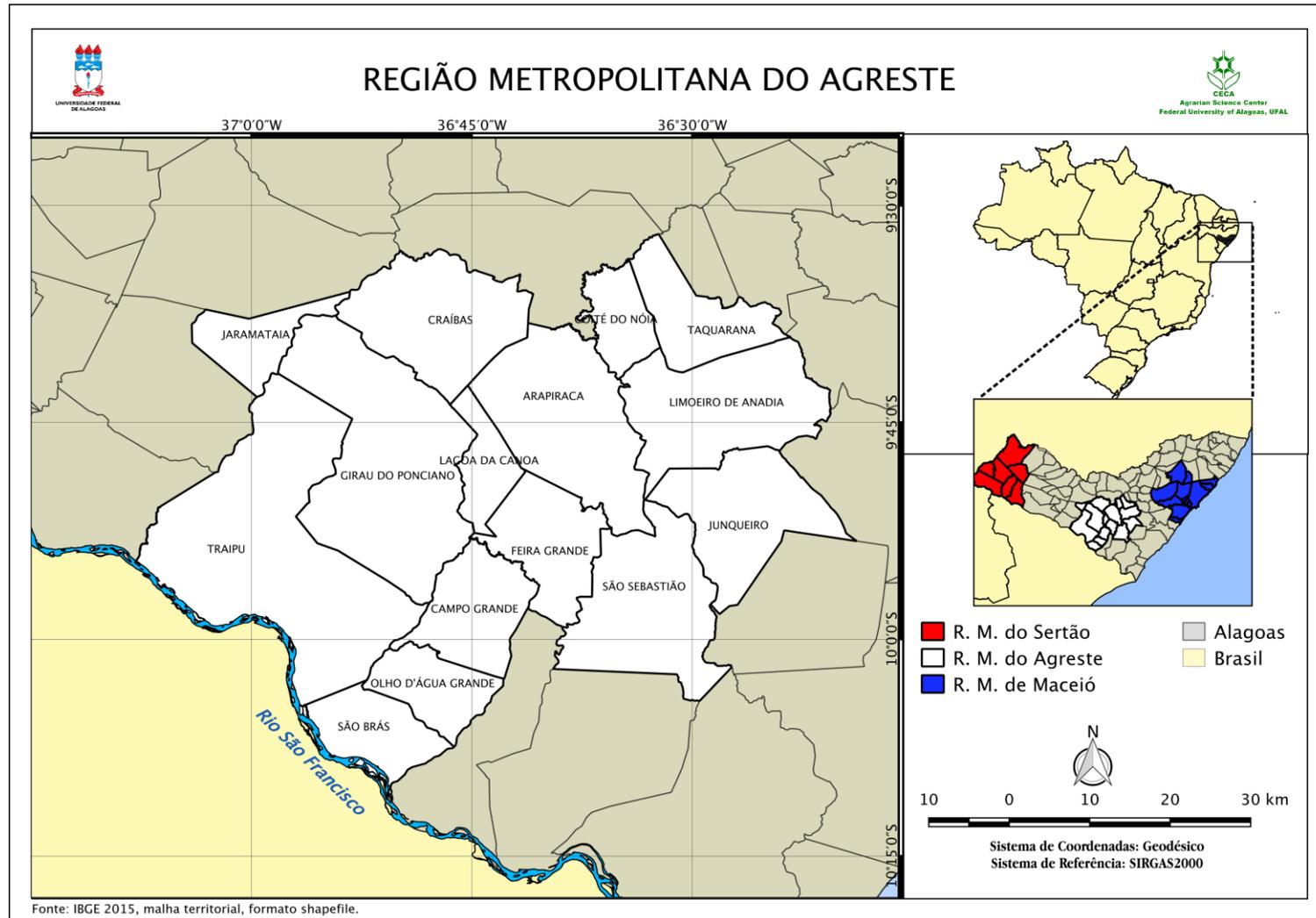
Quanto aos aspectos gerais da área de estudo, a Região Metropolitana do Agreste – RMA (Figura 14), criada a partir da Lei Complementar de nº 27, de 30 de novembro de 2009, constituída pelo agrupamento dos municípios Arapiraca, Campo Grande, Coité do Noiá, Craíbas, Freira Grande, Girau do Ponciano, Igací, Junqueiro,

Lagoa da Canoa, Limoeiro de Anadia, Olho D'Água Grande, São Sebastião, Taquarana, Traipú, Palmeira dos Índios, Estrela de Alagoas, Belém, Tanque D'Arca, São Braz e Jaramataia, para integrar a organização, o planejamento e a execução de funções públicas de interesse comum.

A RMA, é uma região que conta com cerca de 507.935 habitantes, sendo 15,29% da população alagoana, produzindo um PIB (2015) de aproximadamente 6 milhões de reais, tendo como principal polo industrial e comercial, o município de Arapiraca.

Localizada entre os paralelos 09° 53' 12,9" e 09° 54' 47,55" de latitude sul e meridianos 36° 18' 47,23" e 37° 8' 0,31" de longitude oeste, abrangendo uma área de cerca de 4 mil km², localizada entre o Sertão e a Zona da Mata alagoana, tendo como principais rodovias de acesso a AL-220 e a BR-101 SUL. Trata-se de uma região semiárida, sendo bioma predominante a caatinga. Em algumas áreas, existem pequenas regiões úmidas e brejos, onde se desenvolvem atividades agrícolas.

Figura 14 – Mapa de localização da Região Metropolitana do Agreste



3.2 Levantamento de dados

A etapa de levantamento de dados consistiu na construção de um inventário de informações disponíveis sobre a área de estudo, a fim de caracterizar a região e reunir os elementos que servirão de bases informativas. A coleta foi efetuada através de consultas em artigos científicos, relatórios técnicos, bases cartográficas, imagens de satélite, mapas topográficos e geológicos, entre outros.

O levantamento de dados cartográficos do Estado de Alagoas e da RMA, foi realizada através de acervos *online* disponibilizados pelos órgãos Federais/Estaduais que se relacionam com esta temática. Após isso, os dados vetoriais e matriciais coletados existentes sobre as temáticas da mineração foram compilados e adicionados a um Sistema de Informação Geográfica – SIG.

3.3 Produção dos mapas de base

Seguindo o pressuposto da metodologia de Zuquette e Gandolfi (2004), onde o produto final desta pesquisa é classificado no nível hierárquico III, como carta derivada e interpretativa, alguns aspectos sofreram modificações para o presente estudo, devido à ausência de fontes de informações, desta forma foram reavaliadas e adaptadas segundo os objetivos da pesquisa e a exigência da utilização de *software* de SIG.

Os ajustes foram realizados na 3^o etapa do trabalho, especificamente, na definição dos mapas de base, onde, dentre as solicitações de informações pela proposta metodológica, foram coletadas informações sobre: Geologia, Litologia, Geomorfologia, Textura, Porosidade, Intemperismo físico e químico, Declividade, Hipsometria, Uso e cobertura do solo, Mapa de Sombras, Fluxo de Drenagem e Sub-bacias. Estas informações foram extraídas de dados coletados da CPRM – Serviço Geológico do Brasil, informações produzidas com o *Quantum GIS* – QGIS a partir do MDE (modelo digital de elevação) do mapa índice TOPODATA – INPE, que associados em ambiente SIG, a malha territorial de Alagoas e seus municípios, obtidos no portal Alagoas Dados e Informações da SEPLAG-AL (Secretária de Estado

do Planejamento, Gestão e Patrimônio), foram construídos os seguintes mapas de base para RM do Agreste: Mapa de Geologia, Mapa de Litologia, Mapa de Geomorfologia, Mapa de Texturas (Solo), Mapa de Porosidade (Solo), Mapa de Intemperismo físico e químico (Solo), Mapa de Declividades, Mapa Hipsométrico, Mapa de Sombras, Mapa de Fluxo de Drenagem e Sub-bacia, Mapa de Uso e Cobertura e o Mapa de Unidades de Conservação.

3.4 Zoneamento da RMA

A partir da construção dos mapas de base, o zoneamento minerário proposto, foi realizado através de uma associação metodológica. No que tange os agregados para pavimentação, foi relacionado as propostas de Metso Minerals (2005) – considera informações litológicas e geológicas; e a de Souza – Diniz (1992) apud Diniz, Noris (2012) – relaciona declividade, geomorfologia e textura (solo), com o intuito de gerar mapa de agregados para Traçado, Aterro e Material de Empréstimo. Já, a definição dos agregados para Construção Civil, foi levado em consideração a proposta de Pena (c2019) – relaciona informações litológicas e geológicas.

A integração espacial das informações se deu como consequência da utilização de técnicas de geoprocessamento com o *software QuantumGIS 2.14*, que consistiu em realizar uma álgebra de mapas com os produtos de base, fundamentada em procedimentos analíticos, objetivando identificar áreas homogêneas que apresentem potencial mineral de agregados a serem aplicados na pavimentação rodoviária (traçado, aterro e material de empréstimo) e na construção civil. Por fim, foi construída uma tabela indicativa dos tipos de materiais encontrados no zoneamento, indicando suas aplicações nas temáticas envolvidas nesta pesquisa.

3.5 Levantamento de campo e validação do zoneamento

Diante do cenário proposto pelos resultados do zoneamento da região metropolitana do Agreste, foram selecionados quatro locais para serem realizados os levantamentos de campo, objetivando convalidar os dados produzidos anteriormente.

Esses locais foram dispostos em dois municípios da R.M.A, onde, os mesmos abrangeram dois tipos de material agregado, a base de quartzito e gnaisse. Os locais ficaram definidos como (Figura 15 e Figura 16):

- **ÁREA 1 – GNAISSE (SS):** localizada no município de São Sebastião - AL, cerca de 130 km do CECA/UFAL, compreende aproximadamente uma área de 6,5ha (65.000 m²), disposta entre as coordenadas UTM (zona 24S, meridiano central: -39°) E: 766725,00 m; N: 8902413,00 m / E: 766918,00 m; N: 8902129,00 m;
- **ÁREA 2 – QUARTZITO (SS):** localizada no município de São Sebastião - AL, cerca de 130 km do CECA/UFAL, compreende aproximadamente uma área de 5,5ha (55.000 m²), disposta entre as coordenadas UTM (zona 24S, meridiano central: -39°) E: 767555,01 m; N: 8902395.38 m / E: 767792.41 m; N: 8902173.24 m;
- **ÁREA 1 – GNAISSE (FG):** localizada no município de Feira Grande - AL, cerca de 140 km do CECA/UFAL, compreende aproximadamente uma área de 5ha (50.000 m²), disposta entre as coordenadas UTM (zona 24S, meridiano central: -39°) E: 755006,83 m; N: 8903752,82 m / E:755185,05 m; N: 8903476.39 m;
- **ÁREA 2 – QUARTZITO (FG):** localizada no município de Feira Grande - AL, cerca de 140 km do CECA/UFAL, compreende aproximadamente uma área de 6ha (60.000 m²), disposta entre as coordenadas UTM (zona 24S, meridiano central: -39°) E: 756045.10 m; N: 8905293.01 m / E: 756178,28 m; N: 8904997,83 m.

Figura 15 – Localização das áreas 1 e 2 em São Sebastião-AL.

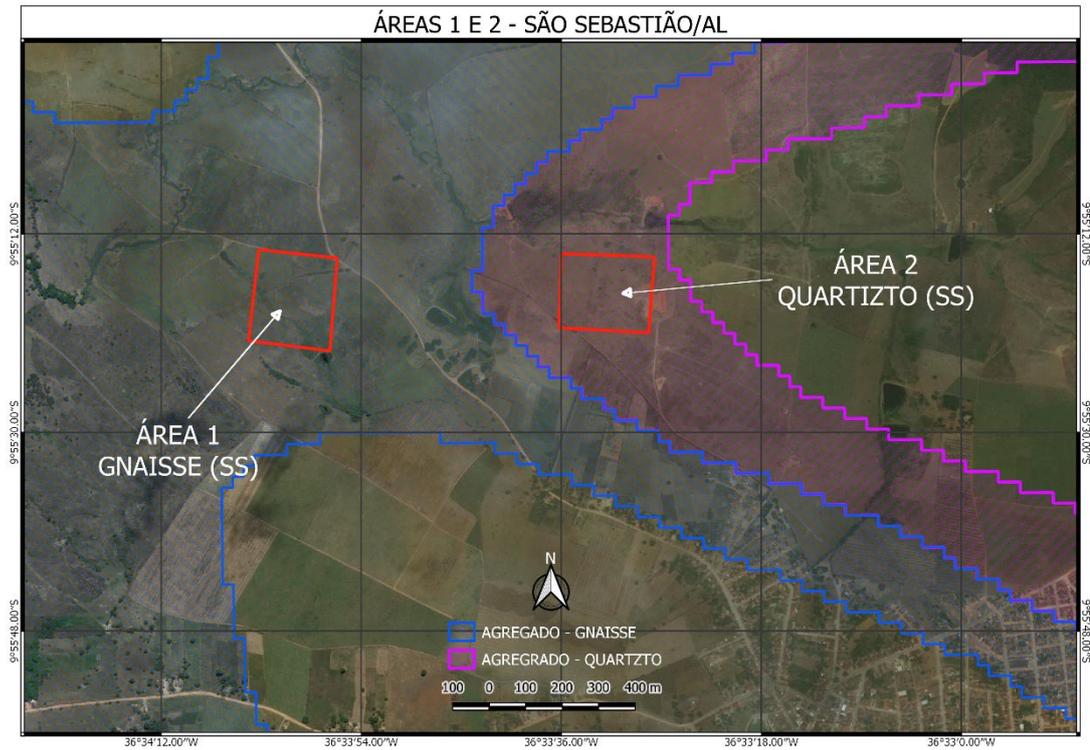
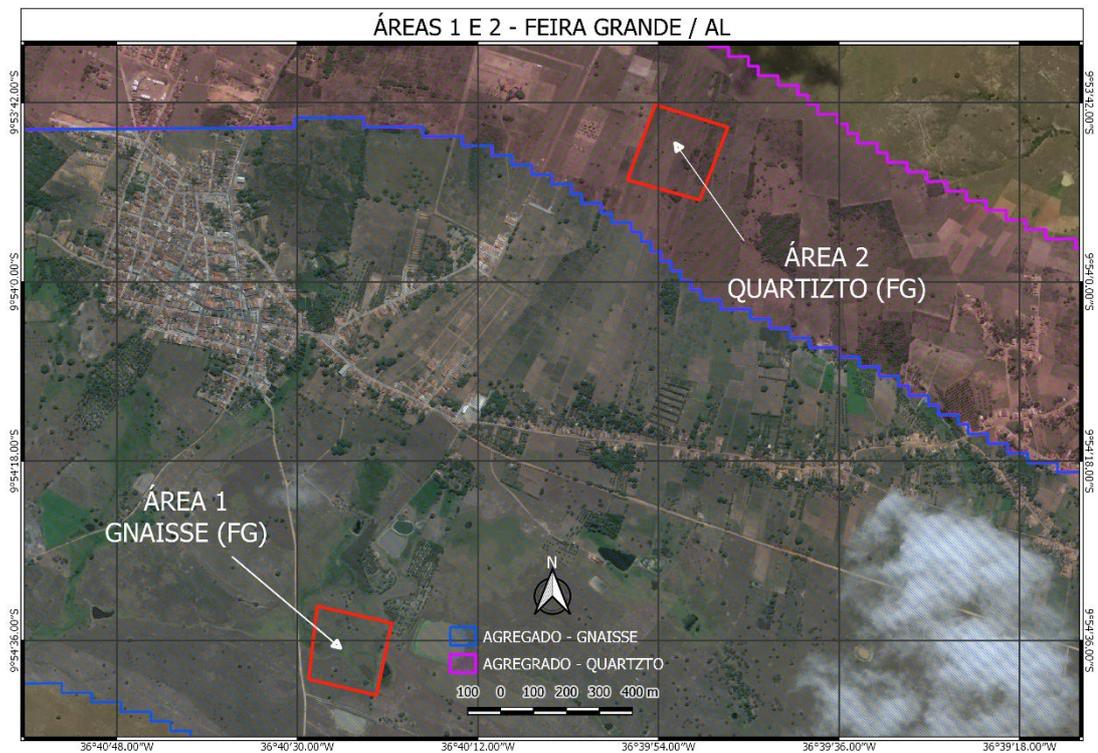


Figura 16 – Localização das áreas 1 e 2 em Feira Grande-AL.



A partir da definição das áreas em escritório, foram executados 4 levantamentos aerofotogramétricos com uso de RPA, mais especificamente, um *Drone Phantom 4 PRO*. O planejamento dos voos, foram desenvolvidos a partir do uso do aplicativo *Drone Deploy*, no qual definia a área a ser imageada, assim como, a altura do voo, resolução espacial (tamanho do *pixel*) e o tempo necessário para o levantamento. Para realização do levantamento aéreo, foi definido uma altura de voo padrão para todas as áreas, de 100 m (cem metros), com uma resolução espacial de 3cm (três centímetros). A partir do levantamento, foram coletados e inseridos os seguintes números de imagens e pontos de controle, respectivamente:

- ÁREA 1 – GNAISSE (SS): 57 imagens e 8 pontos de controle;
- ÁREA 2 – QUARTIZTO (SS): 45 imagens e 6 pontos de controle;
- ÁREA 1 – GNAISSE (FG): 48 imagens e 5 pontos de controle;
- ÁREA 2 – QUARTIZTO (FG): 54 imagens e 5 pontos de controle.

Como produto resultante, foi possível gerar a partir da utilização do *software AgiSoft Photoscan*, MDE's e *orthomosaicos* georreferenciados para as quatro áreas em estudo. Para o georreferenciamento dos mosaicos, foi utilizado os pontos de controle implantados com GNSS RTK, a serem identificados no mosaico, como mostra a Figura 17, para a composição do processo de georreferenciamento em relação ao sistema de referência adotado na pesquisa (Sirgas 2000 – UTM, zona 24 s).

Figura 17 – Implantação dos pontos de controle em campo (esquerda) e identificação dos pontos de controle no mosaico (direita)



4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Mapeamento de minerais de agregado da região metropolitana do Agreste

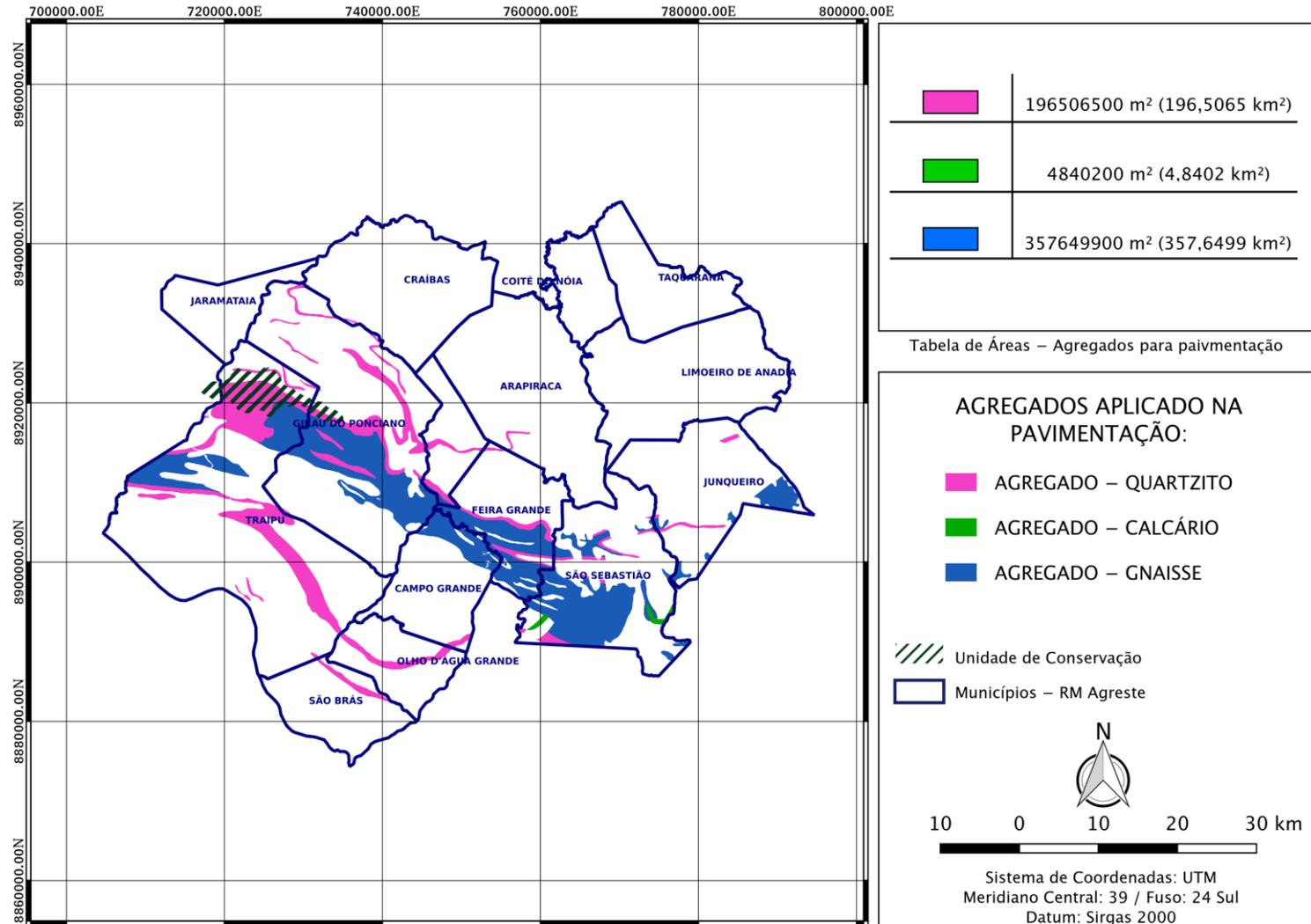
Após as atividades baseadas na metodologia utilizada neste trabalho, adaptadas para RM do Agreste e a realização do processamento com os mapas de base, foi possível zonar áreas com potencial mineral de agregados apenas para serem aplicados na pavimentação. De acordo com os atributos descritos por Pena (c2019), utilizados para composição analítica do processo de álgebra de mapas, as áreas analisadas não apresentaram características suficientes para disponibilizar materiais ideais a serem aplicados na Construção Civil.

Entretanto, a combinação entre os mapas litológico e geológico, baseado nos atributos propostos por *Metso Minerals* (2005), dispostos no Quadro 7, dentre as propriedades dispostas para a região, os agregados que apresentaram potencial a serem aplicados na pavimentação (Figura 15), derivam essencialmente de Quartzito, Calcário e Gnaiss, dispostos em áreas por quase todos os municípios da região com predominância em uma faixa que percorre do norte de Traipu, passa pelo centro de Girau do Ponciano e Feira Grande, até o sul de São Sebastião. A Tabela 1 apresenta as áreas referente a cada tipo de agregado.

Tabela 1 – Tabela de áreas dos agregados destinados a Pavimentação

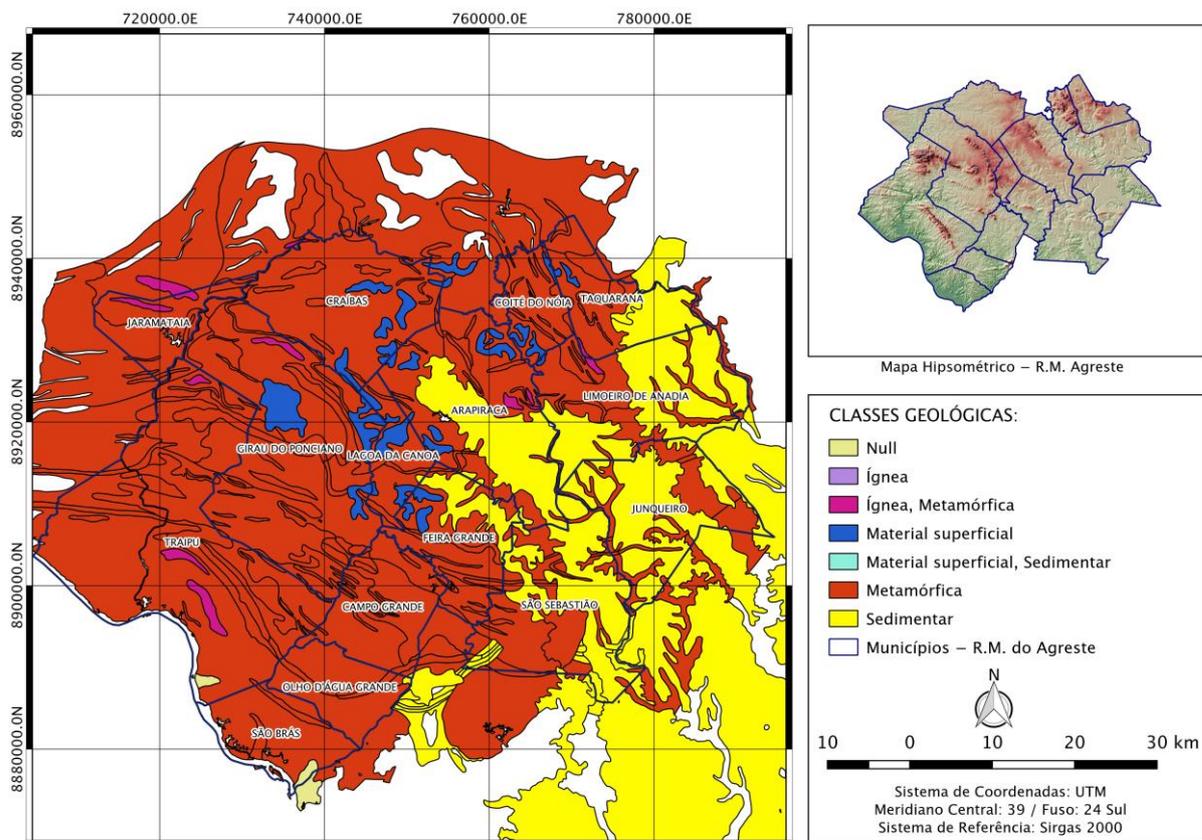
TABELA DE ÁREAS – AGREGADOS PARA PAVIMENTAÇÃO	
AGREGADO – QUARTZITO	196.506.500 m ² (196,5065 km ² / 19.650,650 ha)
AGREGADO – CALCÁRIO	4.840.200 m ² (4,8402 km ² / 484,020 ha)
AGREGADO – GNAISSE	357.649.900 m ² (357,6499 km ² / 35.764,990 ha)

Figura 18 – Mapa de agregados aplicados a pavimentação, R.M. do Agreste.



Como é possível analisar na Tabela 1, com referência na Figura 15, os agregados a base de Gnaisse apresentam a maior área com potencial de extração, representando cerca de 64% (357,6499 km² / 35.764,990 há) da totalidade de áreas mapeadas. Como a região metropolitana do Agreste, predomina-se o fator geológico de domínio metamórfico (Figura 16), agregados a base de Calcário (Sedimentar), por sua vez, apresentam a menor área dentre os materiais mapeados, com apenas 0,008%, representando uma área de cerca de 4,8 km².

Figura 19 – Mapa Geológico da R.M. do Agreste.

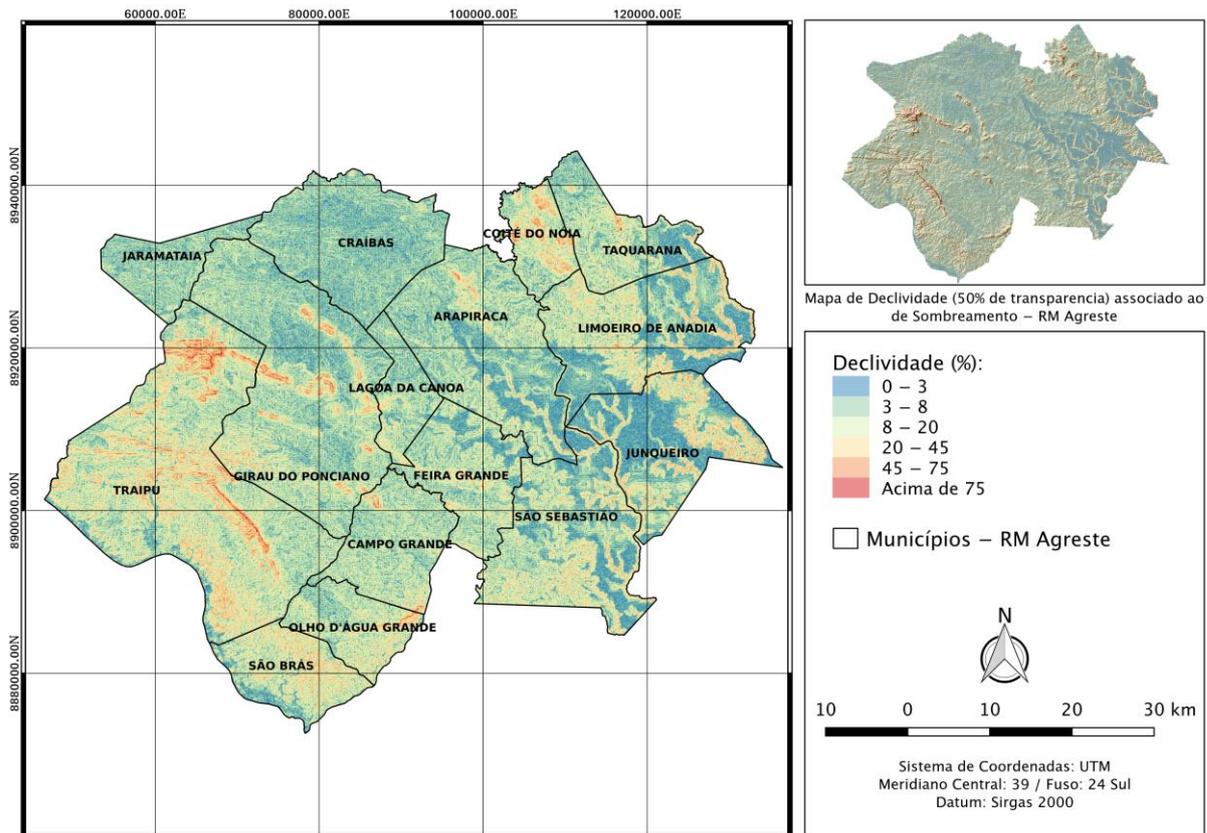


Fonte: Adaptado de CPRM (2015)

Após o zoneamento inicial da região, foi realizado uma nova álgebra de mapas, associando as áreas resultantes da Figura 15, aos atributos propostos por Souza; Diniz *apud* Diniz (2017) dispostos no Quadro 8, onde o autor relaciona os agregados a informações de declividade (Figura 17), geomorfologia (Figura 18) e textura do solo (Figura 19). A partir dessa relação, baseado nos atributos do Quadro 8, foi possível classificar os agregados em três classes de destinação de materiais dentro da

pavimentação, sendo eles: Traçado, Aterro e Material de Empréstimo. Dentro destas classes, elas eram subdivididas em adequado, adequado com restrição, não recomendado e inadequado. Assim, para interesse dos objetivos deste trabalho, só se fez necessário utilizar os atributos de adequado e adequando com restrição das três classes propostas, para composição analítica da álgebra de mapas.

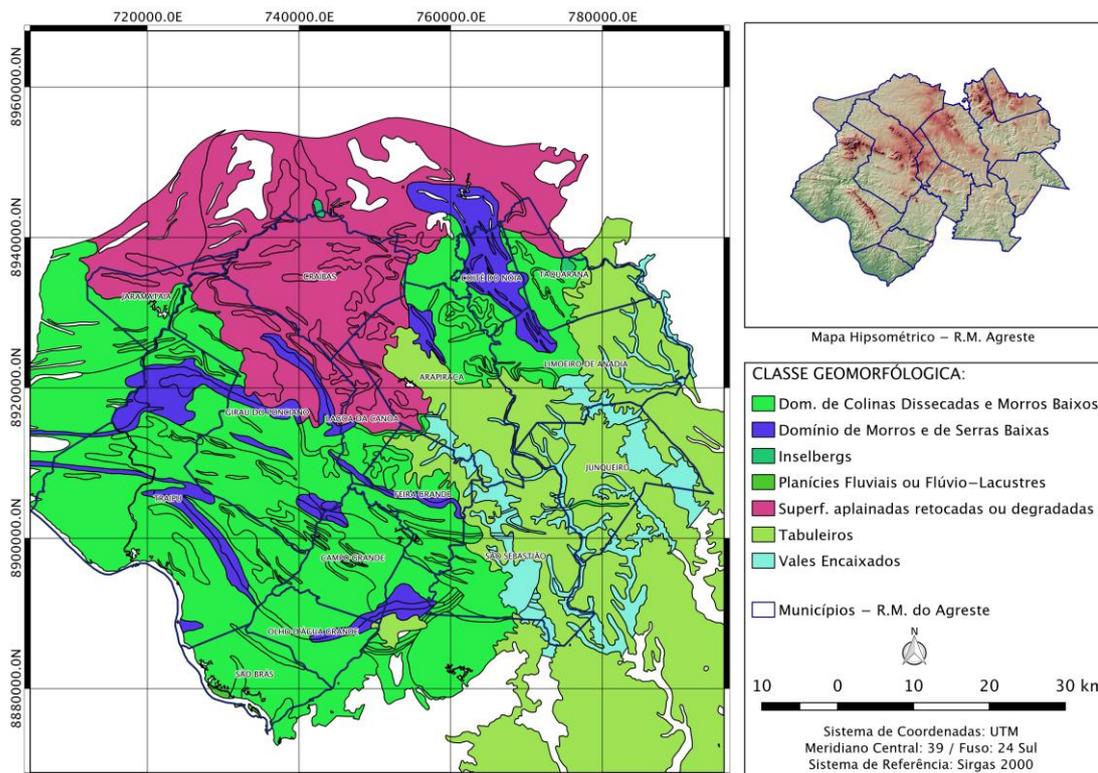
Figura 20 – Mapa de declividade da R.M. do Agreste.



Fonte: Adaptado de CPRM (2015)

Os critérios de avaliação da declividade da região proposto por Souza; Diniz *apud* Diniz (2017), relativizam a declividade como atributo que determina a qualidade do material ao seu uso no Traçado, variando entre as classes: adequado (<5%), adequado com restrição (5% a 10%), não adequado (10% a 30%) e inadequado (>30%).

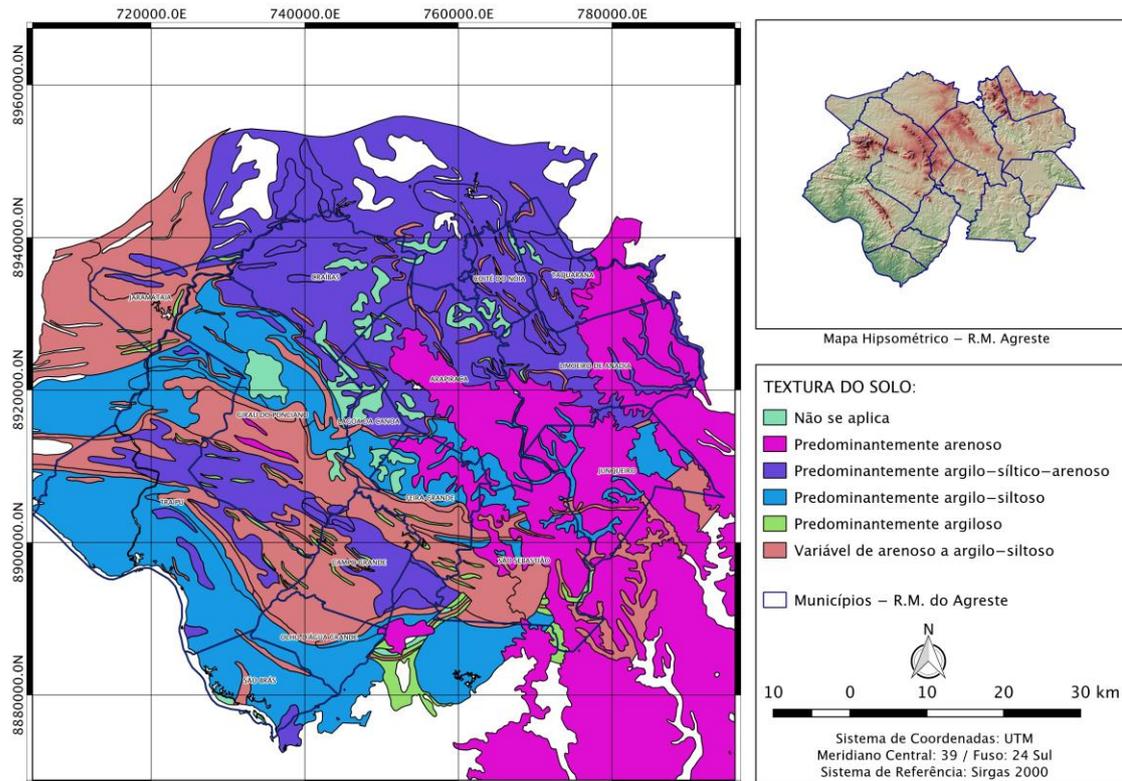
Figura 21 – Mapa Geomorfológico da R.M. do Agreste.



Fonte: Adaptado de CPRM (2015)

Os critérios geomorfológicos juntamente com os de declividade, estão associados a determinação da qualidade do material destinado a Aterro (Quadro 8), classificados em: adequado (declividade de 0 – 10% com geomorfologia Platô/Planície), adequado com restrição (declividade de 10 – 20% com geomorfologia Colina/Morro), não recomendado (declividade de 20 – 30% com geomorfologia Morro/Montanha) e inadequado (declividade superior a 30% com geomorfologia de Montanha/Serra).

Figura 22 – Mapa de textura do solo da R.M. do Agreste.



Fonte: Adaptado, CPRM (2015)

Os critérios de avaliação dispostos no Quadro 8, baseados na textura do solo da região, determina a qualidade do material a ser destinado a Material de Empréstimo pelas classes: adequado (areia siltosa), adequado com restrição (areia argilosa), não recomendado (silte arenoso) e inadequado (argila).

Dentre as classes relacionadas por Souza; Diniz *apud* Diniz (2017) descritas no Quadro 8, os agregados mapeados, apresentaram apenas características a serem destinados a traçado e aterro, onde estão relacionados com a geomorfologia e a declividade da região, enquanto que a classe de material de empréstimo, que estava correlacionada com os atributos de textura do solo, não obteve sucesso por não apresentarem características de areia siltosa ou areia argilosa. Os materiais zoneados na Região Metropolitana do Agreste, encontram-se essencialmente na zona rural, podendo ser, ou não, localizados em áreas privadas, sendo excluídos os materiais regionalizados dentro de área intituladas como áreas de preservação ambiental.

Assim, a partir do zoneamento realizado na região, além do mapa de agregados aplicados em traçado e o mapa de agregados aplicados em aterro, ambos para o cenário de pavimentação rodoviária, foi construída uma tabela quantitativa dos materiais, resumindo todos os dados produzidos de maneira tabular apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 – Tabela de materiais da R.M do Agreste com potencial de extração, destinados a pavimentação.

TABELA DE MATERIAIS, DA R.M DO AGRESTE, APLICADOS A PAVIMENTAÇÃO				
MATERIAL	ÁREA	TIPO	USO	ÁREA
GNAISSE	357.649.900 m² (357,6499 km ² / 35.764,990 ha)	AGREGADO	TRAÇADO	262.620.000 m ² (73,42%)
			ATERRO	56.476.000 m ² (15,49%)
QUARTZITO	196.506.500 m² (196,5065 km ² / 19.650,650 ha)	AGREGADO	TRAÇADO	91.012.000 m ² (46,31%)
			ATERRO	126.810.000 m ² (64,53%)
CALCÁRIO	4.840.200 m² (4,8402 km ² / 484,020 ha)	AGREGADO	-	-
			-	-

Para material destinado a traçado (Figura 20), foi mapeado áreas nas duas subdivisões, adequado e adequado com restrição, com áreas aproximadamente de 156 km² (44,11% da área total) e 197,6 km² (55,87% da área total) respectivamente, tendo como material base, quartzito e gnaisse. Para a destinação como material de aterro (Figura 21), apenas na perspectiva de adequado com restrição foi possível ser mapeado, com área de cerca de 70 km² (% da área total), também composto por quartzito e gnaisse.

Figura 23 – Mapa de agregados destinados a Traçado (Pavimentação).

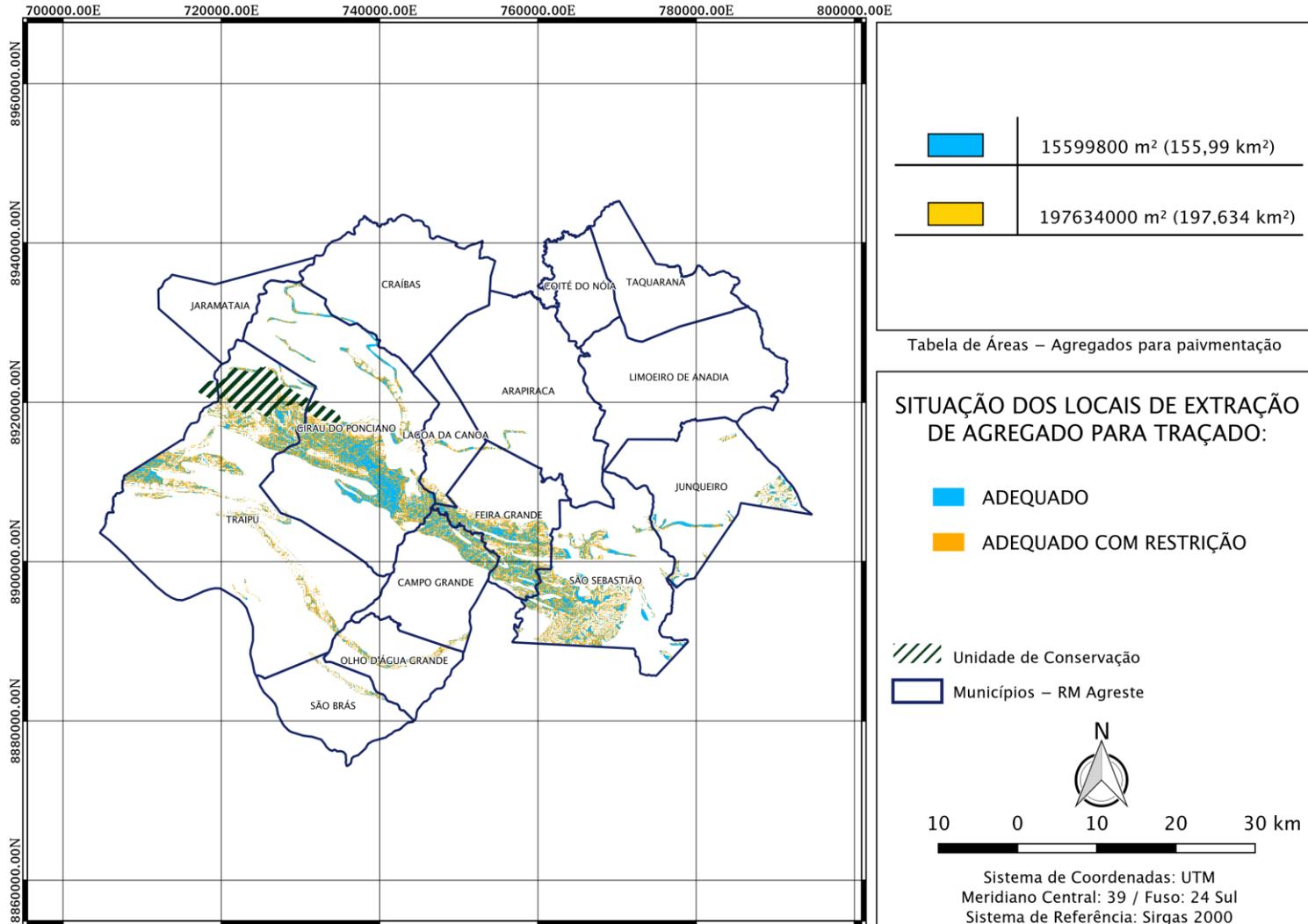
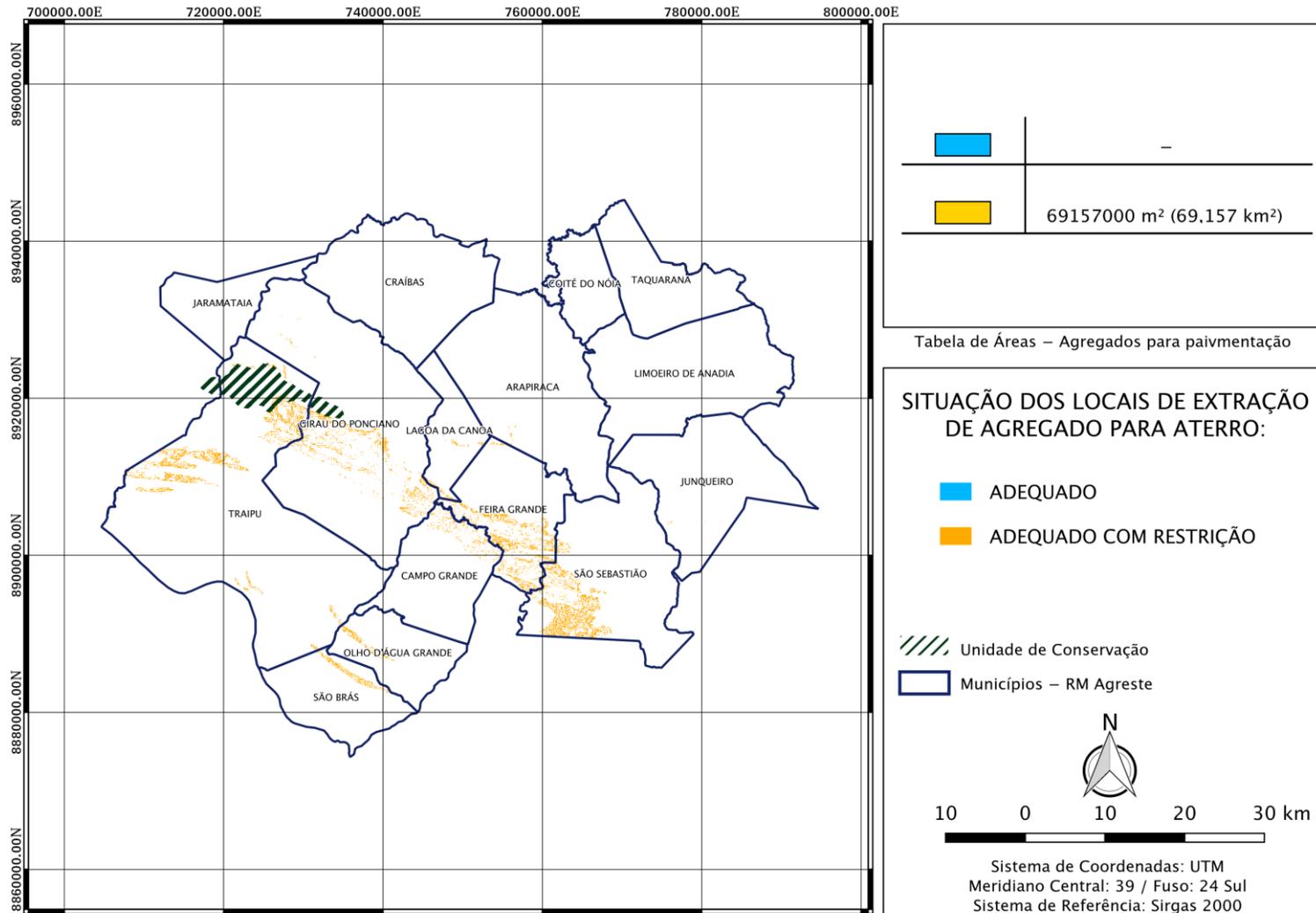


Figura 24 – Mapa de agregados destinado a Aterro (Pavimentação).



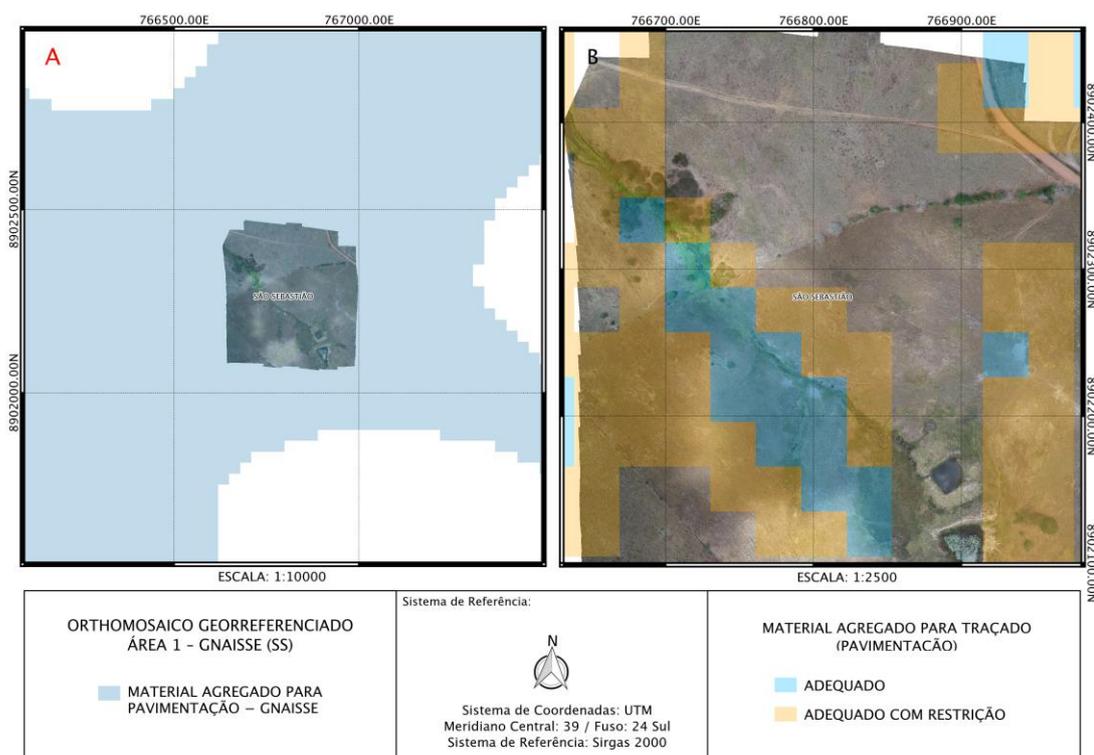
4.2 Levantamento de campo

Com os produtos obtidos do levantamento aerofotogramétrico, foram analisados os aspectos geomorfológicos, hipsométricos e de uso e cobertura do solo das regiões, em referência aos dados obtidos pelos mapas de base. Assim como, a demonstração e destinação dos materiais presentes nas áreas.

4.2.1 Área 1 – gnaisse (SS)

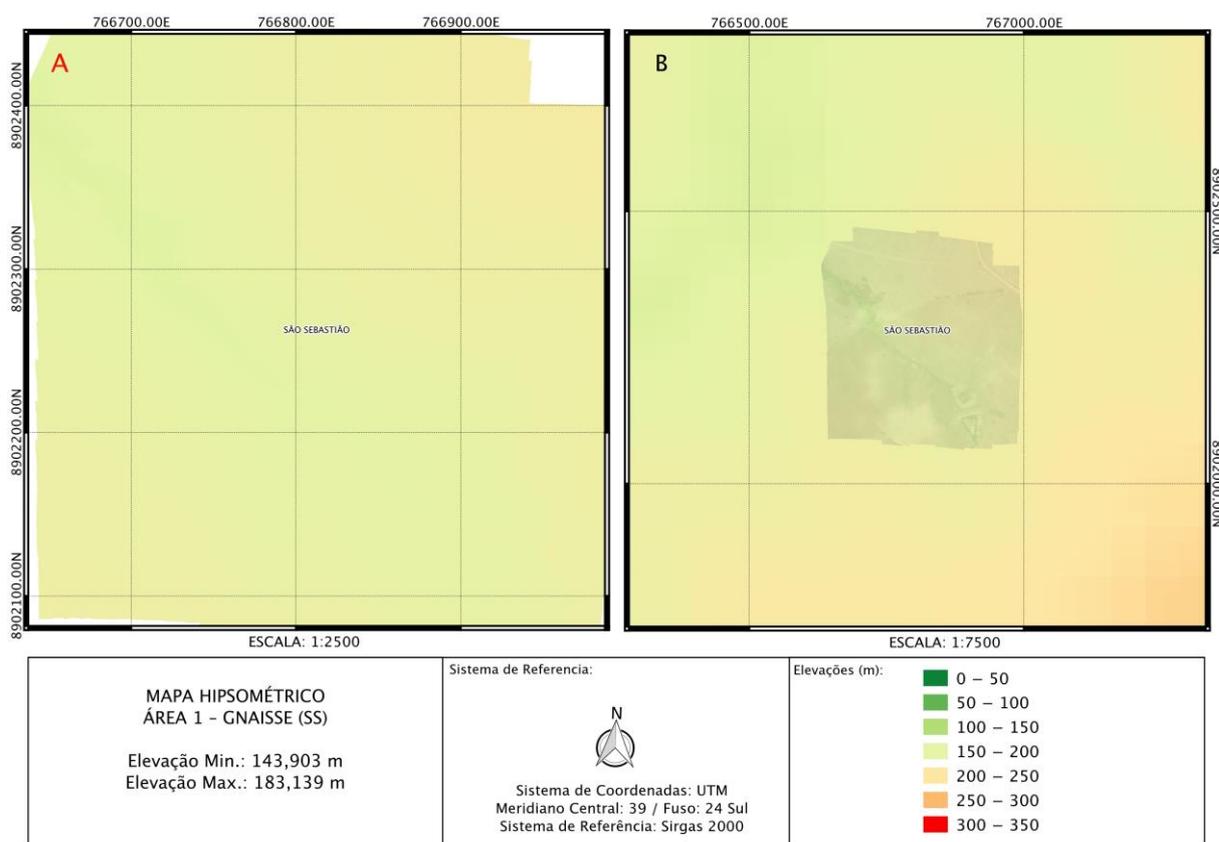
A área 1 localizada no município de São Sebastião-AL, está inserida dentro de uma região zoneada com potencial de materiais agregados a base de gnaisse (Figura 25 (a)), com passível aplicação na pavimentação rodoviária no âmbito de traçado, disponibilizando materiais com características adequadas e adequadas com restrição (Figura 25 (b)).

Figura 25 – (a) Orthomosaico georreferenciado da área 1 – gnaisse (ss) localizado na área zoneada de material agregado; (b) Tipo de material agregado para Traçado zoneado na área 1 – gnaisse (ss).



Analisando o aspecto hipsométrico da área, onde as elevações são classificadas por escala de coloração, o MDE obtido pelo processamento das imagens do RPA, apresenta alta semelhança ao mapa hipsométrico da Região Metropolitana do Agreste, conforme é visto na Figura 26. Suas elevações, ficaram entre as faixas de 100 – 150 m e 150 – 200 m, com elevação mínima de 143,903 m e elevação máxima de 183,139 m.

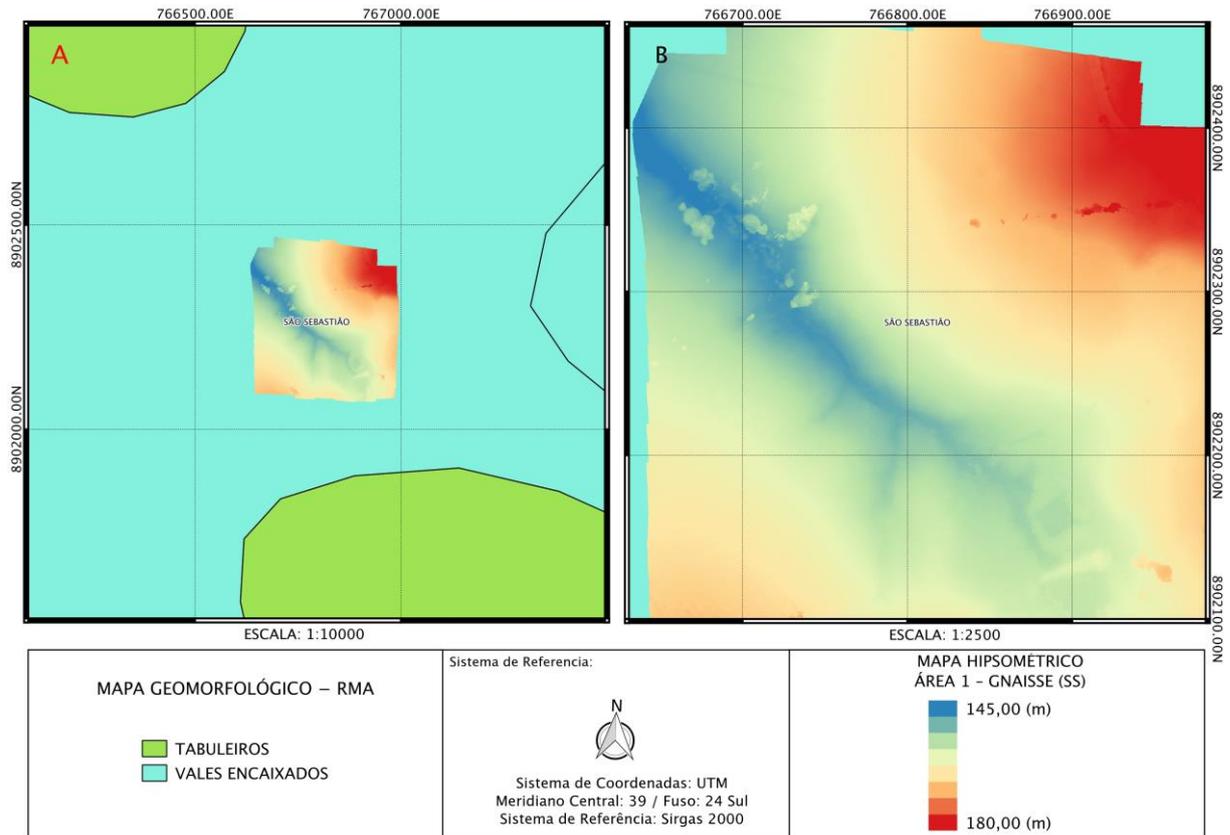
Figura 26 – (a) Mapa hipsométrico da área 1 – gnaisse (ss); (b) Mapa hipsométrico da RMA, com a localização da área 1 – gnaisse (ss).



No âmbito do aspecto geomorfológico, a área em questão está inserida em uma região que apresenta características de Vales Encaixados, isto quer dizer, que o cenário do terreno é baseado em um possível aprofundamento do talvegue, possibilitando a ocorrência de margens estreitas e vertentes com média a fortes declives. Deste modo, é possível verificar na Figura 27 (b), que o mapa hipsométrico local apresenta variações de altitudes condizentes com as características do cenário geomorfológico em que a área está inserida, sendo perceptível pela faixa de coloração

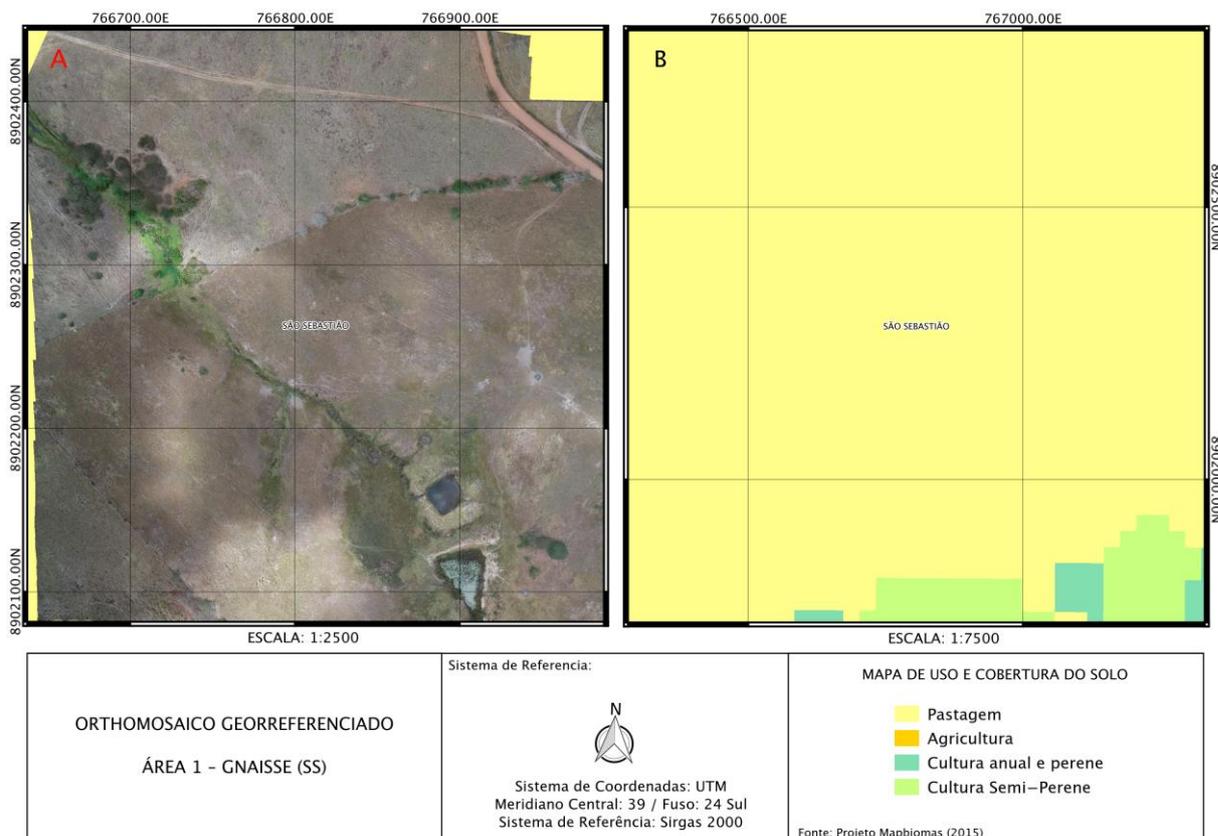
azul, que se inicia no canto superior esquerdo até a região central da área, representando a porção mais baixa do vale.

Figura 27 – (a) Área 1 – Gnaisse (SS) localizado no cenário geomorfológico da RMA; (b) Mapa hipsométrico local.



Seguindo as orientações da proposta metodológica, o processo de zoneamento minerário é realizado em regiões que não sejam inseridas em áreas de preservação e/ou em áreas urbanas, reduzindo assim, danos ao meio ambiente e a dinâmica territorial. Diante disto, é possível verificar na Figura 28, que a área 1 – gnaisse (ss) representa basicamente um local voltado para o pasto, apresentando alta semelhança aos dados presentes no mapa de uso e cobertura do solo da RMA.

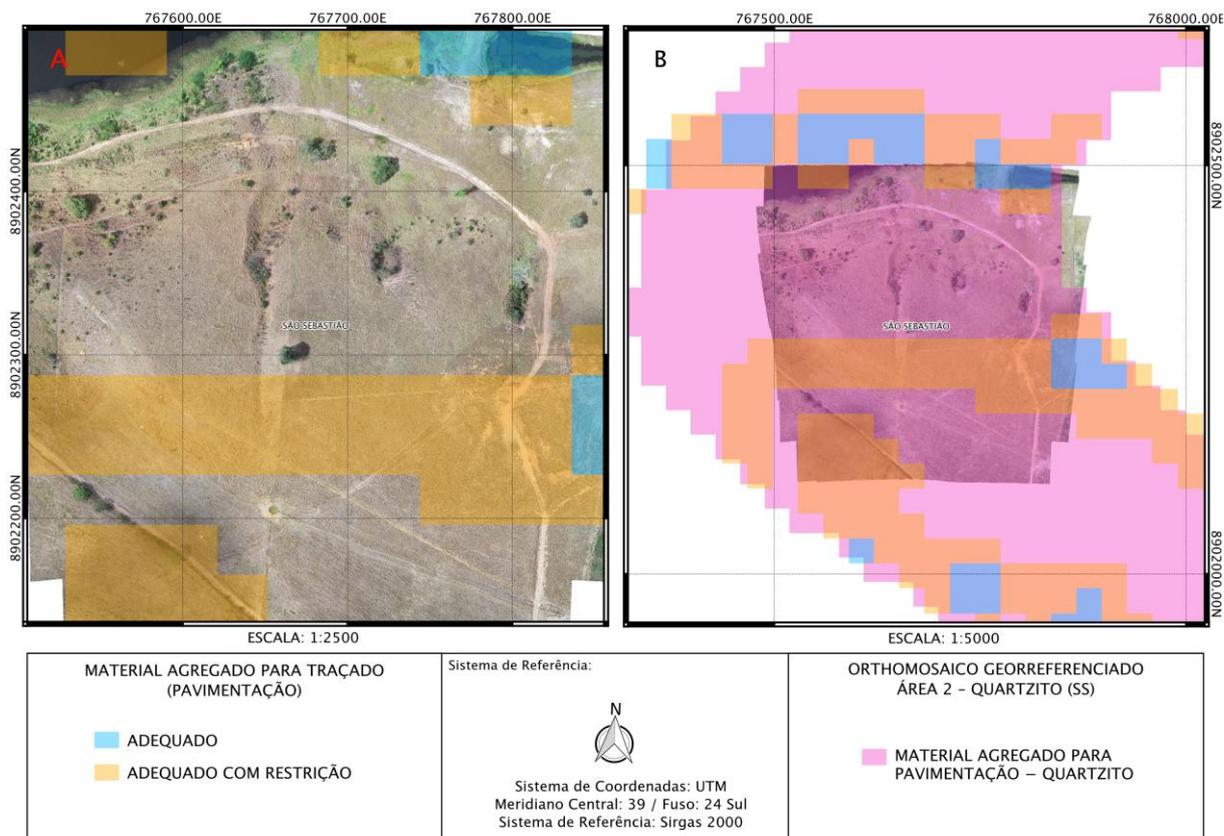
Figura 28 – (a) Orthomosaico georreferenciado da Área 1 – Gnaisse (SS); (b) Mapa de uso e cobertura do solo da RMA.



4.2.2 Área 2 – quartzito (SS)

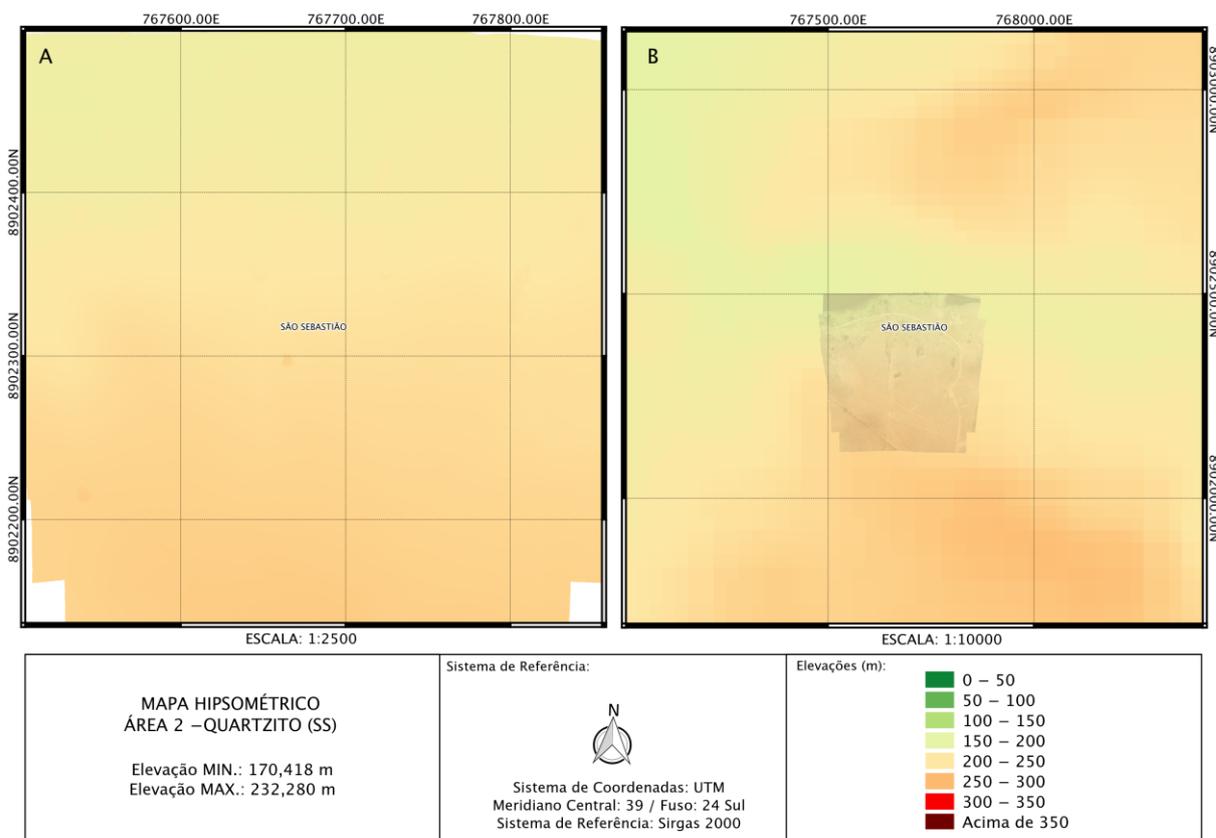
A área 2 localizada no município de São Sebastião-AL, está contida em uma região zoneada com potencial de extração de material agregado a base de quartzito (Figura 29 (b)), com susceptível utilização na pavimentação rodoviária, apresentando áreas que disponibilizam materiais adequados e adequados com restrição, para serem designados a finalidade de uso no traçado (Figura 29 (a)).

Figura 29 – (a) Tipo de material agregado para Traçado disponível na área 2 – quartzito (ss); (b) Orthomosaico georreferenciado da área 2 – quartzito (ss) localizado na área zoneada de material agregado.



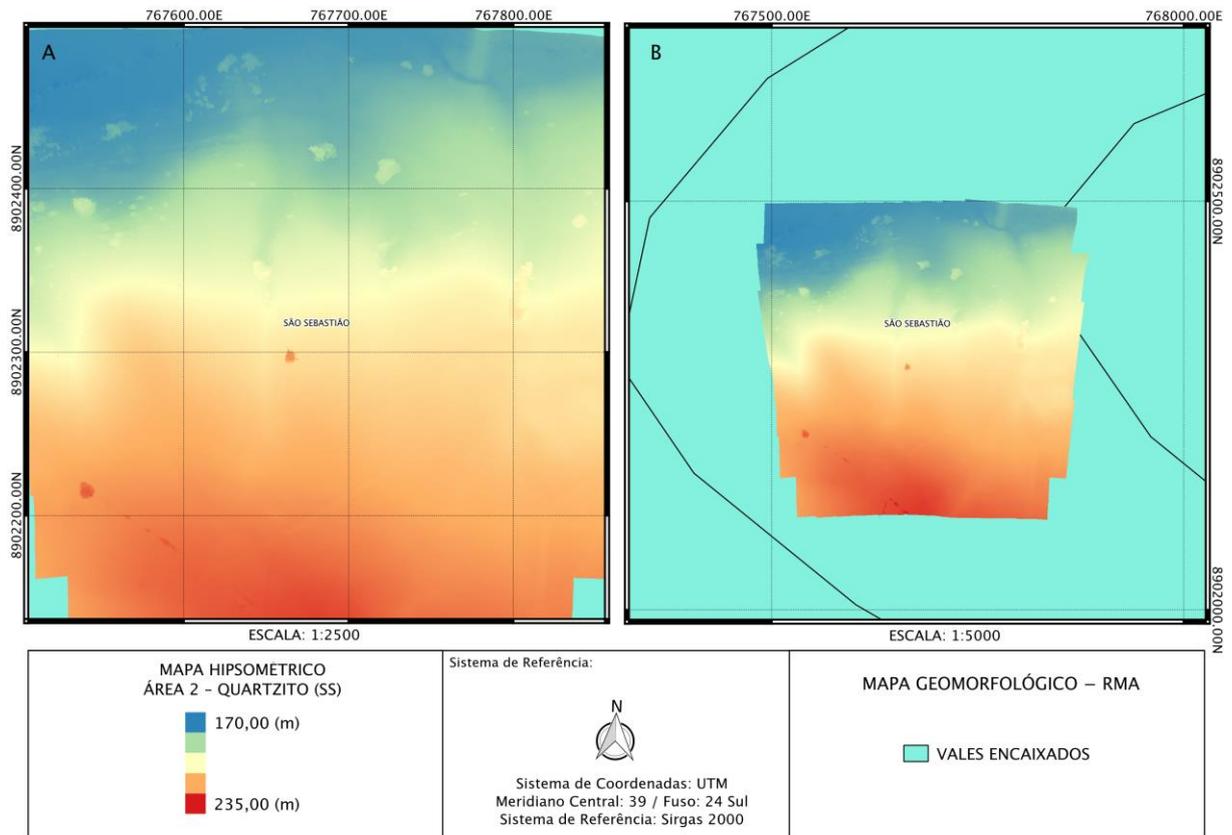
Correlacionando a hipsometria da área 2 – quartzito (ss) com a da Região Metropolitana do Agreste, as elevações apresentadas em mesma classificação temática de cores pela Figura 30, o MDE produzido a partir do levantamento com RPA, exhibe informações de extrema coerência com o mapa hipsométrico da RMA produzido na etapa de mapas de base. As elevações presentes na área, estão classificadas nas faixas entre 150 – 200 m e 200 – 250 m, com elevação mínima de 170,418 m e elevação máxima de 232,280 m.

Figura 30 – (a) Mapa hipsométrico da área 2 – quartzito (ss); (b) Mapa hipsométrico da RMA, com a localização da área 2 – quartzito (ss).



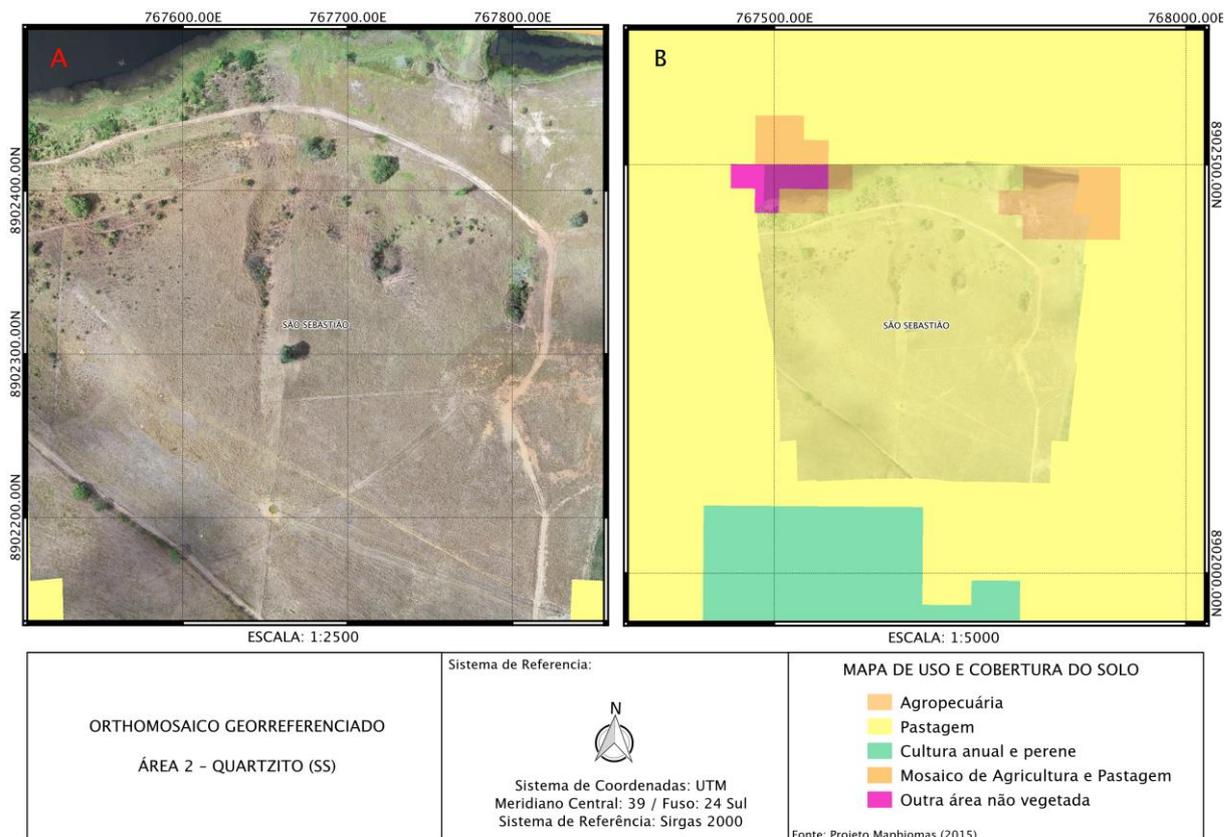
Analisando o aspecto geomorfológico, a área 2 – quartzito (SS) pertence a uma região que apresenta características de Vales Encaixados. Neste ponto, o mapa (a) da Figura 31 que representa um mapa hipsométrico local da área, retrata apenas uma vertente do vale, com sua porção mais baixa na parte superior do mapa, onde, em conjunto com o mapa (b) da Figura 30, percebe-se a continuidade do vale, com a transição entre a coloração verde (parte mais baixa) até a cor de tonalidade laranja (parte mais alta).

Figura 31 – (a) Mapa hipsométrico local; (b) Área 2 – Gnaise (SS) localizado no cenário geomorfológico da RMA.



Observando as características de uso e ocupação do solo, a área 2 apresentou basicamente uma região voltada para o pasto, com a presença de corpos d'água na porção superior. Em correlação ao mapa de uso e cobertura do solo da RMA, os dados apresentaram alta semelhança, com exceção da porção superior, onde nos locais que apresentam corpos d'água, o mapa da RMA traz uma classificação temática de "Outra área não vegetada" e "Mosaico de Agricultura e Pastagem", por demais, todo restante da área, é classificada como "Pastagem" (Figura 32).

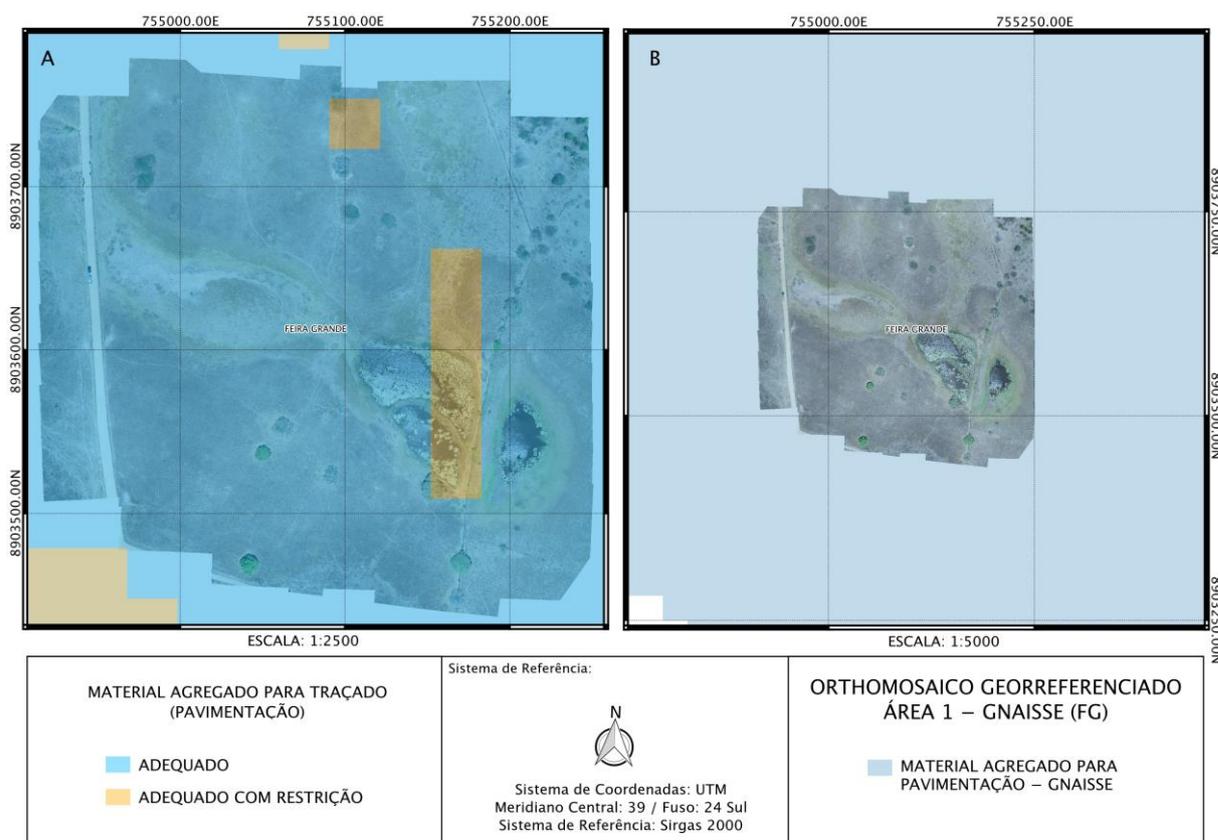
Figura 32 – (a) Orthomosaico georreferenciado da área 2 – quartzito (SS); (b) Mapa de uso e cobertura do solo da RMA.



4.2.3 Área 1 – gnaisse (FG)

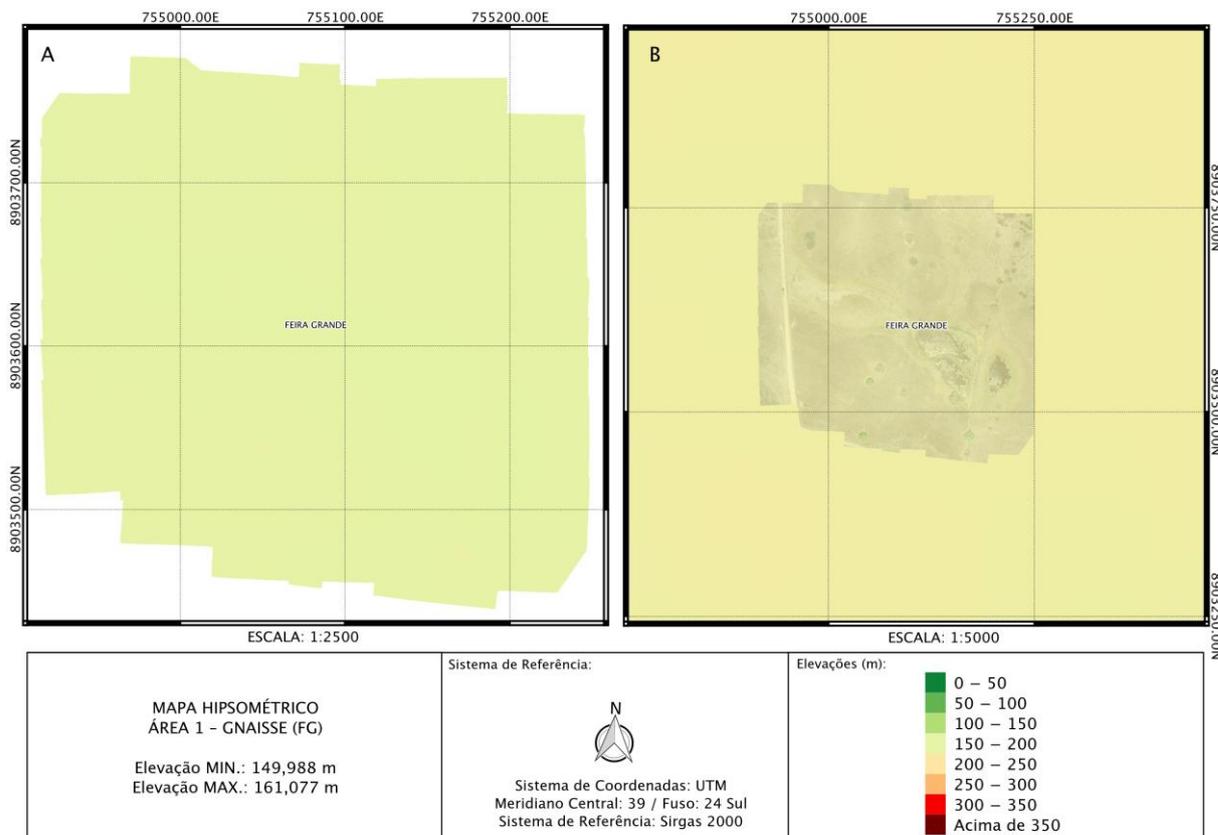
A área 1 está localizada no município de Feira Grande-AL, inserida em uma região zoneada com potencial de extração de material agregado a base de gnaisse (Figura 33 (b)), com aplicação voltada para pavimentação rodoviária, disponibilizando em quase sua totalidade, materiais com características adequadas a serem destinados ao uso no traçado (Figura 33 (a)).

Figura 33 – (a) Tipo de material agregado para traçado disponível na área 1 – gnaisse (FG); (b) Orthomosaico georreferenciado da área 1 – gnaisse (FG) localizado na área zoneada de material agregado.



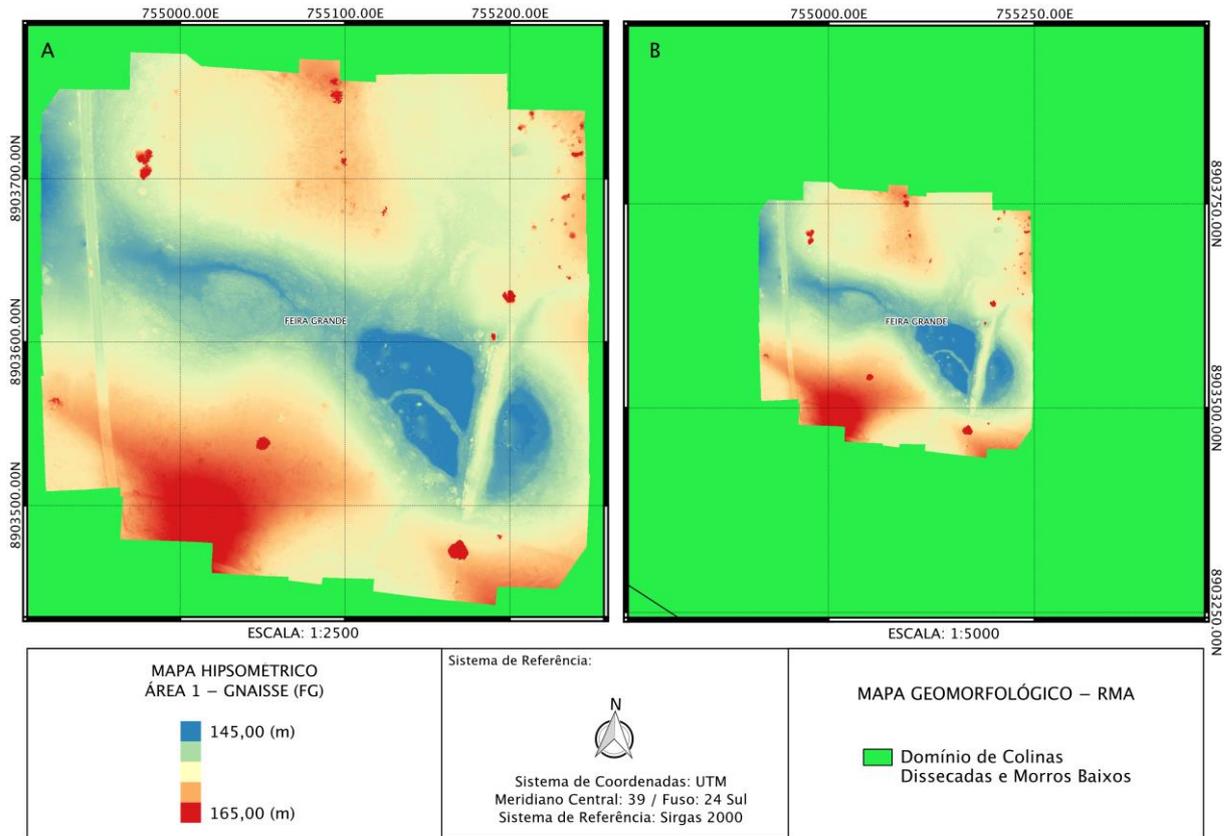
Conferindo a hipsometria da área 1 – gnaisse (FG) com a da Região Metropolitana do Agreste, as elevações obtidas a partir dos dados de RPA, exibidas na Figura 34 com a mesma classificação temática do mapa hipsométrico da RMA, resultam em dados coerentes. Devido a resolução espacial e precisão altimétrica dos dados de RPA serem superiores aos dados do mapa hipsométrico da região metropolitana, as elevações do mapa (a) (RPA), foram classificadas nas faixas 100 – 150 m e 150 – 200 m, enquanto que no mapa (b), foram classificadas apenas na faixa 150 – 200 m. Está pequena dissemelhança foi ocasionada devido à diferença de 0,012 m entre a elevação mínima da área 1 – gnaisse (FG) e a faixa que classifica as elevações do mapa hipsométrico da RMA.

Figura 34 – (a) Mapa hipsométrico da área 1 – gnaisse (FG); (b) Mapa hipsométrico da RMA, com a localização da área 1 – gnaisse (FG).



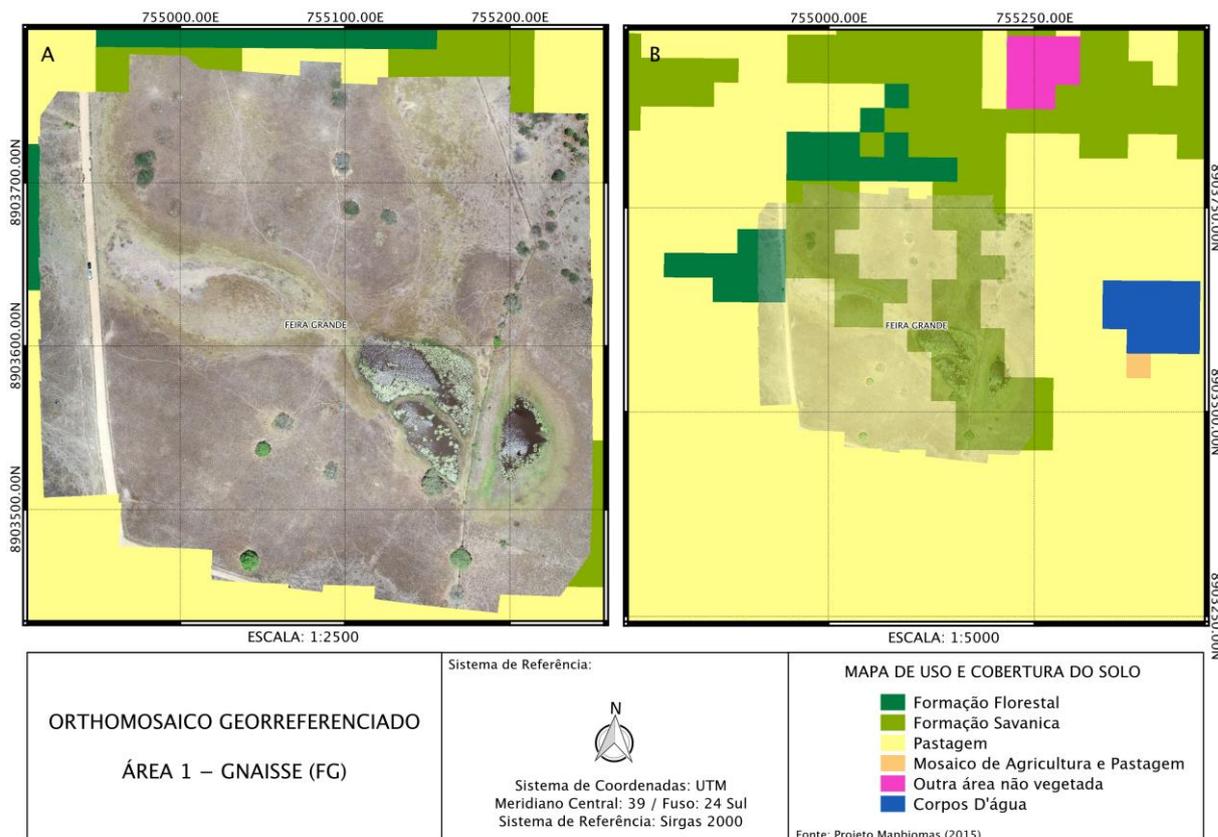
No que tange ao aspecto geomorfológico, a área em questão está inserida dentro de uma região que apresenta características de colinas dissecadas e morros baixos, isto quer dizer, o cenário do terreno é baseado na presença de morros ou colinas de baixa elevação do terreno com declive suave, podendo apresentar processos erosivos nas porções elevadas. Deste modo, é possível verificar na Figura 35 (a), que o mapa hipsométrico apresenta locais com variações de altitudes (morros ou colinas) condizentes com as características do cenário geomorfológico em que a área está inserida. A área 1 – gnaisse (FG) apresentou morros/colinas com diferença de elevação máxima de 20 m.

Figura 35 – (a) Mapa hipsométrico local; (b) Área 1 – Gnaisse (FG) localizado no cenário geomorfológico da RMA.



Analisando o mapa de uso e cobertura do solo da RMA da Figura 36 (B), a área 1 – gnaiss (FG) localiza-se em uma região que apresenta características dominantes de “Pastagem” e “Formação Savânica”, com uma pequena porção de “Formação Florestal”. Reconhecendo a região através do orthomosaico georreferenciado (Figura 36 (a)), os dados apresentados no mapa (b) da Figura 36, retratam alta semelhança com a área, com exceção da “Formação Florestal”, que, através da imagem não é possível identificar feições que condizem com esta classificação.

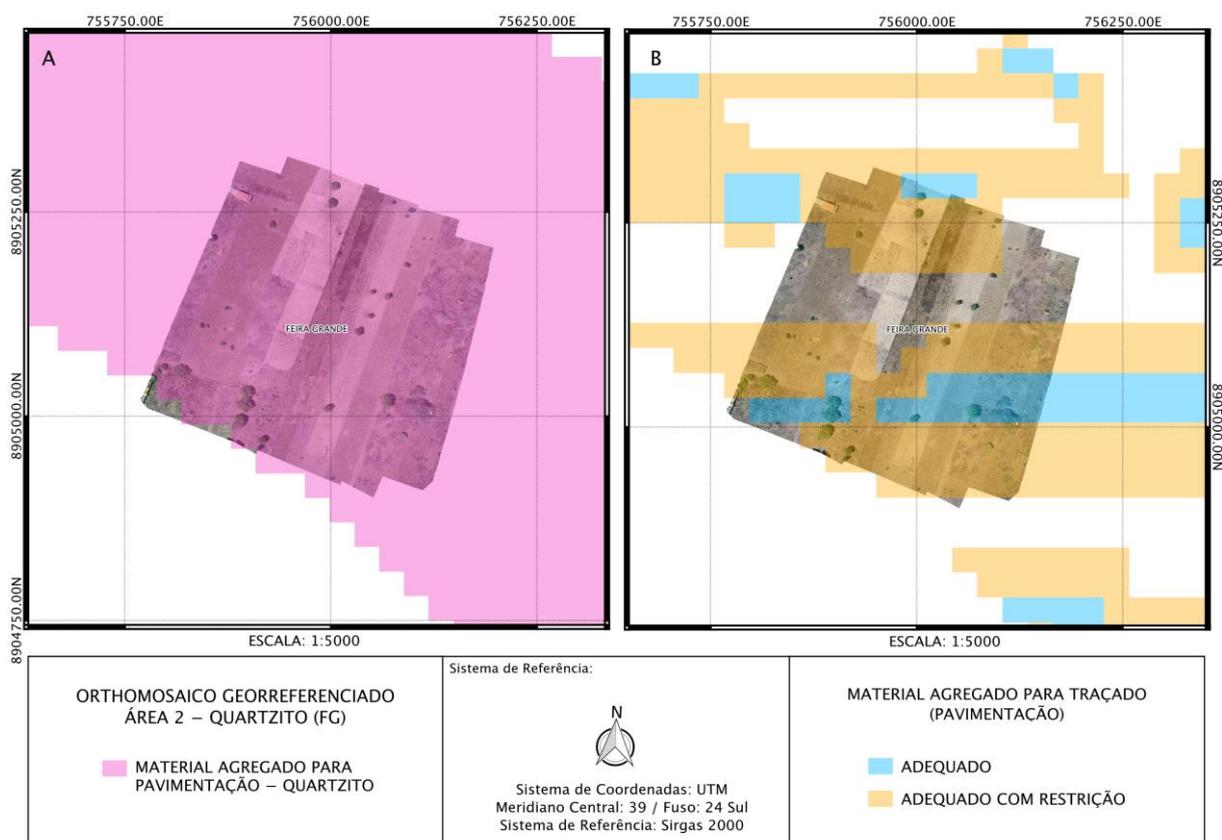
Figura 36 – (a) Orthomosaico georreferenciado da área 1 – gnaisse (FG); (b) Mapa de uso e cobertura do solo da RMA.



4.2.4 Área 2 – quartzito (FG)

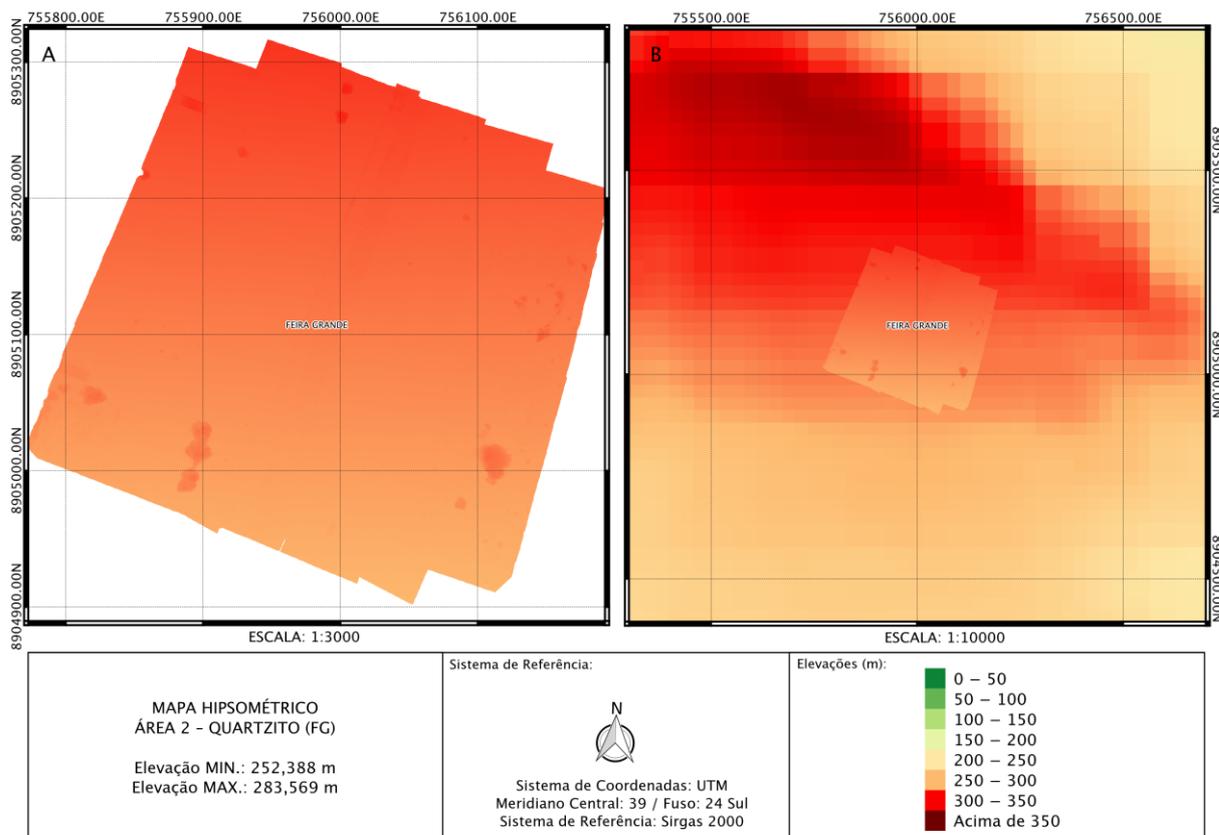
A área 2 localizada no município de Feira Grande - AL, pertencente a uma região zoneada com potencial de extração de material agregado a base de quartzito (Figura 37 (a)), com aplicação ideal na pavimentação rodoviária, disponibilizando materiais com características adequadas e adequadas com restrição, com finalidade de uso no traçado (Figura 37 (b)).

Figura 37 – (a) Orthomosaico georreferenciado da área 1 – gnaise (FG) localizado na área zoneada de material agregado; (b) Tipo de material agregado para Traçado disponível na área 1 – gnaise (FG)



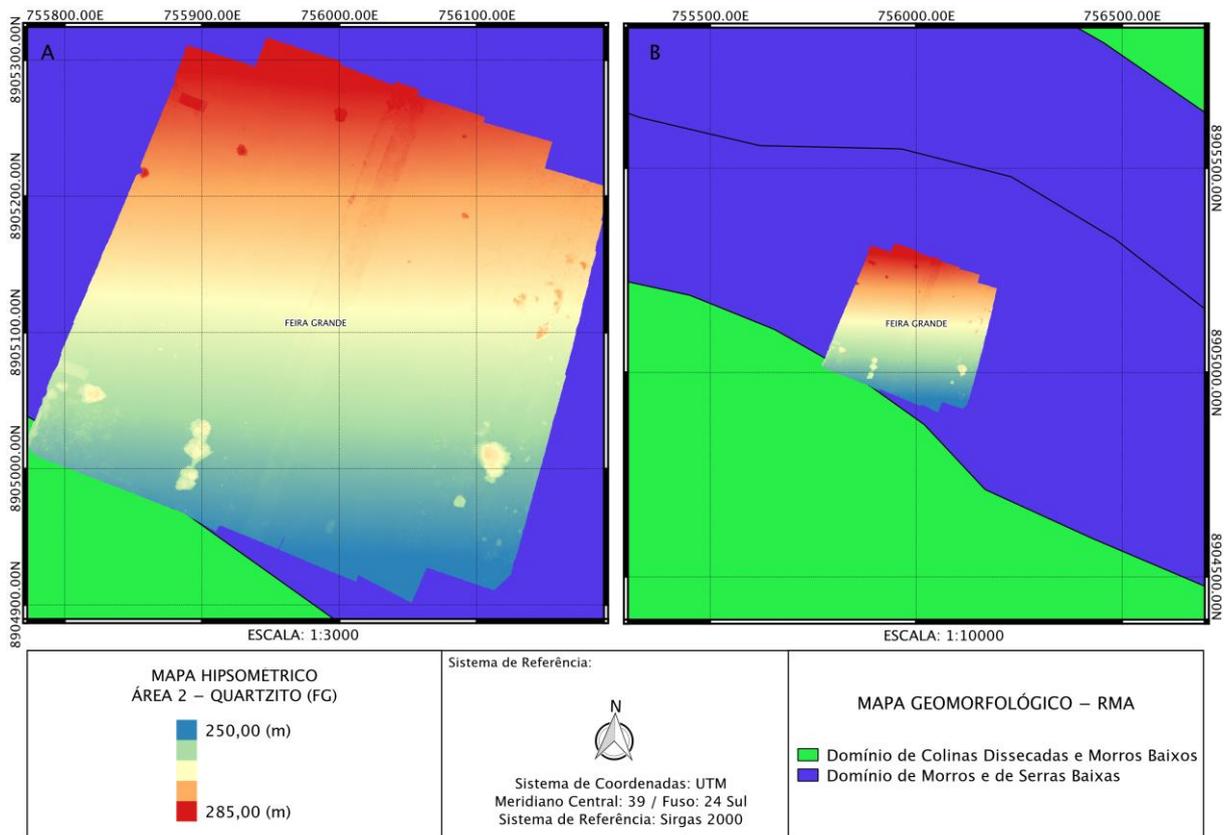
Examinando a hipsometria da área 2 em relação ao mapa hipsométrico da RMA, verifica-se que a resolução espacial presente no produto obtido pelo levantamento com RPA (Figura 38 (a)), afetou diretamente na faixa de classificação das elevações presentes na área, mas, isso não reflete incompatibilidade dos dados, e sim, dados mais refinados, que por consequência, pequenas frações de valores viriam a alterar a faixa de classificação temática. O mapa hipsométrico da RMA, possui uma resolução espacial de 30 m, oriundos do geoprocessamento com dados do sistema SRTM, obtidos pelo Mapa Índice – *TOPODATA*, o que torna os dados altimétricos mais espaçados, em contrapartida, os dados provenientes do RPA, possui resolução espacial de 5 cm (0,05 m), o que torna os dados mais refinados. Analisando os mapas em aspecto geral, ambos retratam uma porção da vertente de um morro, que se eleva na direção noroeste.

Figura 38 – (a) Mapa hipsométrico da área 2 – quartzito (FG); (b) Mapa hipsométrico da RMA, com a localização da área 2 – quartzito (FG).



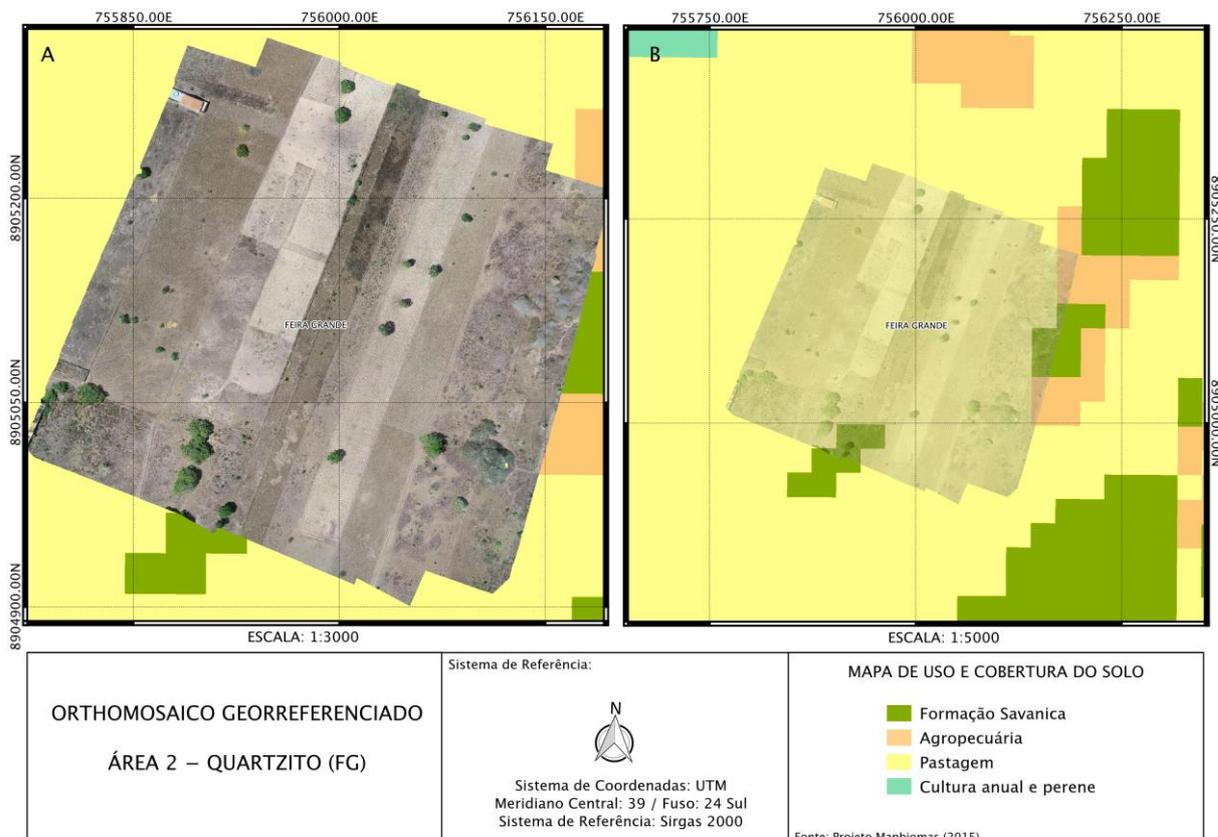
Assim como observado na Figura 38, a área 2 – quartzito (FG) localiza-se em uma região, segundo o mapa de geomorfologia da RMA (Figura 39 (b)), que apresenta um relevo com características de domínio de morros e de serras baixas, sendo possível reconhecer através do mapa hipsométrico da área (Figura 38 (a)) retratando uma porção da vertente com desnível aproximado de 30m, como também, no mapa (b) da Figura 38, que exibe um morro de uma maneira mais ampla, representado pela aparição da cor vermelha (300 – 350 m) e marrom (acima de 350 m).

Figura 39 – (a) Mapa hipsométrico local; (b) Área 2 – quartzito (FG) localizado no cenário geomorfológico da RMA.



Assim como a maior porção do município de Feira Grande-AL, a área 2 (Figura 40) foi classificada segundo o mapa de uso cobertura do solo da RMA, como local onde se desenvolve atividades voltadas para a pastagem, com alguns pontos em que apresentaram características de formação savânica, com particularidades que o define como parque cerrado.

Figura 40 – (a) Orthomosaico georreferenciado da área 2 – quartzito (FG); (b) Mapa de uso e cobertura do solo da RMA.



Observando o orthomosaico georreferenciado da área (Figura 40 (a)), a imagem retrata feições que estão em coerência e concordância com a classificação temática exibida pelo mapa de uso e cobertura do solo da Região Metropolitana do Agreste – AL. Assim como, os aspectos apresentados pela Figura 40, a área em destaque está de acordo com os princípios da proposta metodológica desta pesquisa, onde, deve-se apenas considerar áreas ausentes de unidades urbanas e de preservação ambiental.

5. CONCLUSÃO

Este trabalho apresentou aspectos que possibilitou compreender a eficiência da cartografia geotécnica associada a técnicas de geoprocessamento em ambiente SIG, correlacionando informações geoespaciais com informações tabulares. Para isto, utilizou-se da metodologia de Zuquette e Gandolfi (2004) associada a atributos escritos por *Metso Minerals* (2005), Pena (c2019) e Souza; Diniz *apud* DINIZ (2017), a fim de mapear áreas com potencial de exploração de agregados na região metropolitana do Agreste – AL. A finalidade do mapeamento dessas áreas na região em estudo mostrou-se viável apenas para materiais aplicados na pavimentação, uma vez que, a quantidade de informações para compor a pesquisa foi restrita, o que impediu reunir atributos suficientes para selecionar áreas destinadas à exploração de materiais aplicados na construção civil. Dessa forma, foram zoneadas áreas de potencial de agregados para pavimentação em duas aplicações distintas, sendo estas traçado e aterro.

Os dados reunidos inicialmente na pesquisa permitiram elaborar parte dos mapas de base sugeridos na metodologia de Zuquette e Gandolfi (2004), visto que, não foi possível executar sondagens *in loco* para determinação dos atributos em campo. No entanto, utilizou-se as informações disponibilizadas nas fontes de pesquisa, com a proposta de seleção de áreas para tais aplicações por autores da literatura, acompanhado de informações obtidas com o levantamento de campo, que possibilitou a validação dos atributos geomorfológicos, hipsométricos e de uso e cobertura do solo das áreas. Vale ressaltar, que a utilização das técnicas de geoprocessamento, foram imprescindíveis para a extração de informações a partir de um dado bruto, a exemplo dos mapas de declividade, hipsometria, sub-bacias, fluxo de drenagem entre outros, a partir do modelo digital de elevação (MDE).

Como resultado final da pesquisa, foram obtidos mapas de potencial de materiais aplicados na pavimentação, tais como o mapa de agregados aplicados em traçado e o mapa de agregados aplicados em aterro. Foi possível observar que os agregados do tipo gnaiss e quartzito mostraram-se em maior relevância tanto na região, quanto na destinação. A confirmação dessas informações, pode ser observada

no mapa geológico em que são identificadas rochas metamórficas dentro dessas regiões onde localizam-se a gnaiss e quartzito.

Outro aspecto importante, é a potencialidade de rochas sedimentares presentes nesta região. Porém, ao analisar os atributos definidos para confirmar a aplicação/destinação na pavimentação, observou-se a incompatibilidade dos dados relacionados aos atributos considerados, resultando em apenas 4,8 km² de rocha calcária com aspectos compatíveis às propostas sugeridas na literatura.

Neste sentido, apesar da carência de informações mais detalhadas e caracterizações in loco dos materiais naturais presentes nas regiões, foi possível trabalhar com os dados disponíveis do ano de 2015 aplicando técnicas de geoprocessamento, juntamente com os dados do levantamento aerofotogramétrico.

Ainda que seja uma proposta pioneira de zoneamento minerário aplicado especificamente para pavimentação e construção civil, pode-se considerar um avanço em pesquisas com grande contribuição ao desenvolvimento do Estado de Alagoas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALAGOAS, **Lei Complementar nº 27**, de 30 de nov. de 2009.

ARCHELA, R. S.; THÉRY, H. **Orientação metodológica para construção e leitura de mapas temáticos**. Número 3º, Confins, 2008. Disponível em: http://www.uel.br/cce/geo/didatico/omar/pesquisa_geografia_fisica/Construcao_Leituras_radeMapas.pdf. Acesso em: Novembro de 2019.

Banco de Dados Geomorfométricos do Brasil – **TOPODATA**. 2011. Disponível em: <http://www.dsr.inpe.br/topodata/index.php>. Acesso em out. de 2018.

BATISTA, Clístenes Teixeira. **A mineração de agregados na região metropolitana de Fortaleza: Impactos ambientais e conflitos de uso e ocupação do solo, 2010. 147p**. Dissertação (Mestrado em Geologia) – Universidade Federal do Ceará, 2010.

BRASIL. **Constituição (1988)**. Constituição da República Federativa do Brasil. Brasília, DF: Senado Federal: Centro Gráfico, 1988.

BRASIL. **Código de Mineração (1967)**. Decreto-lei nº 227, de 28 de Fevereiro de 1967.

BRASIL. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). **Topodata: banco de dados geomorfométricos do Brasil**. Variáveis geomorfométricas locais. São José dos Campos, 2008.

CÂMARA, G.; DAVIS, C. e MONTEIRO, A. M. V. Conceitos básicos em ciências da Geoinformação. In.: CÂMARA, G.; MONTEIRO, A. M. V (Ed.). **Fundamentos de Geoprocessamento**. São José dos Campos: INPE, 1999. Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/introd/cap2-conceitos.pdf>. Acesso em: Outubro de 2019.

CÂMARA, G.; DAVIS, C. e MONTEIRO, A. M. V. Arquitetura de Sistemas de Informação Geográfica. In.: CÂMARA, G.; QUEIROZ, G. R. (Ed.). **Fundamentos de Geoprocessamento**. São José dos Campos: INPE, 1999. Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/introd/cap3-arquitetura.pdf>. Acesso em: Outubro de 2019.

CÂMARA, G.; DAVIS, C. e MONTEIRO, A. M. V. (Ed.). **Introdução à Ciência da Geoinformação**. São José dos Campos: INPE, 2001. Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/livros.html>. Acesso em: Outubro de 2019.

CÂMARA, G.; CASANOVA, M. A.; HEMERLY, A. S.; MAGALHÃES, G. C.; MEDEIROS, C. M. B. **Anatomia de Sistemas de Informação Geográfica**. Rio de Janeiro: INPE, 1996. Disponível em: http://197.249.65.74:8080/biblioteca/bitstream/123456789/1180/1/livro_1.pdf. Acesso em: Outubro de 2019

CÂMARA, G. e MEDEIROS, J. S. Modelagem de Dados em Geoprocessamento. In: CÂMARA, G. e MEDEIROS, J. S. (Ed.). **Geoprocessamento para Projetos Ambientais**. 2ª Edição. São José dos Campos: INPE, 1998. Disponível em: http://www.dpi.inpe.br/gilberto/tutoriais/gis_ambiente/2modelo.pdf. Acesso em Outubro de 2019.

Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais - Serviço Geológico Do Brasil (CPRM). **Mapa Geodiversidade do Estado de Alagoas**. [Internet] 2015. Disponível em: <http://rigeo.cprm.gov.br/jspui/handle/doc/13677> Acesso em setembro de 2018.

CORDEIRO, J. P.; BARBOSA, C. C. F.; CÂMARA, G.; Operações de Análise Geográfica. (Ed.). **Análise Espacial de Dados Geográficos**. Cap 8. p. 2-20: Álgebra de Campos e Objetos. 2007. Disponível em: http://www.faed.udesc.br/arquivos/id_submenu/1414/cap8_algebra.pdf. Acesso em: Novembro de 2019.

DA SILVA, D. C. et al. **Qualidade de ortomosaicos de imagens de *vant* processados com os softwares *aps*, *pix4d* e *photoscan***. V Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, Recife – PE. 2014.

DINIZ, Noris Costa. **Cartografia geotécnica por classificação de unidades de terreno e avaliação de suscetibilidade e aptidão**. Revista Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental. São Paulo, SP. Volume 2. 29 - 77p, Maio de 2012.

EMBRAPA TERRITORIAL. **Satélites de Monitoramento**. Campinas, 2018. Disponível em: <https://www.embrapa.br/satelites-de-monitoramento>. Acesso em: Novembro de 2019

FERRERAS, R. M.; **¿Qué es el álgebra de mapas?**. Geoinnova.[online]. Jan, 2016. Disponível em: https://geoinnova.org/blog-territorio/que-es-el-algebra-de-mapas/?fb_comment_id=735292399904001_763679733731934. Acesso em: Novembro de 2019

FERREIRA, N. C. **Apostila de Sistema de Informações Geográficas**. Goiânia: Centro Federal de Educação Tecnológica de Goiás – Sistemas de Informações Geográficas, 2006

FRANCISCO, C. N. **Conceitos de Geoprocessamento: Sistemas de Informações Geográficas**. Niterói: SIGCidades – UFF, 2014.

FRANCO, Gustavo B.; MARQUES, Eduardo A. G., CALIJURI, M. Lucia, GOMES, Ronaldo L. **Cartografia Geotécnica: Estágio atual do conhecimento**. Caminhos de Geografia, Uberlândia, MG. v. 11, n. 35, p. 158 – 172, set., 2010.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Bases Cartográficas e Referenciais**. 2015. Disponível em: <https://mapas.ibge.gov.br/bases-e-referenciais/bases-cartograficas/malhas-digitais>. Acesso em Ago. de 2018

INPE. **SPRING - sistema de processamento de informações georeferenciadas.** c2006. Disponível em: http://www.dpi.inpe.br/spring/portugues/tutorial/introducao_geo.html. Acesso em: Novembro de 2019.

KULAIF, Y. **Análise dos mercados de matérias minerais: estudo de caso da indústria de pedras britadas do Estado de São Paulo.** 2001. 144 p. Tese (Doutorado). Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo da USP. São Paulo, 2001.

LA SERNA, H. A. de; REZENDE, M. M; Agregados para a Construção Civil. In: **Economia mineral do Brasil.** Brasília, DF: DNPM, 2009.

LIMA, E. M. de; THOMAZ, T. A. M.; SEVERO, T. C. **Mapeamento aerofotogramétrico digital utilizando fotografias de médio formato. 2010.** Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Cartográfica) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Instituto de Geociência, 2010.

METSO MINERALS. **Manual de Britagem: 6. ed.** Sorocaba, SP: Metso Minerals, 2005.

NOVAENG. **Sistemas de Informações Geográficas (SIG).** Disponível em: <http://novaeng.com.br/servicedilos.html>. Acesso em: Outubro de 2019.

PROJETO MAPBIOMAS – **Coleção 4 da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso de Solo do Brasil.** São Paulo, 2015. Disponível em: <http://plataforma.mapbiomas.org/map#coverage>. Acesso em: Abril de 2019.

ORTH, D. **Topografia aplicada – Leitura e interpretação de fotografias aéreas.** Universidade Federal de Santa Catarina. 2009. Disponível em: <https://slideplayer.com.br/slide/4933847/>. Acesso em: Janeiro 2020.

PENA, Rodolfo F. A. **Uso econômico das rochas, Geografia Física.** c2019. Disponível em: <https://mundoeducacao.bol.uol.com.br/geografia/uso-economico-das-rochas.htm>. Acesso em: Abril de 2019.

PERIN, G. *et al.* **Análise de Acurácia de Georrefereciamento de Mosaicos de Imagens Obtidas por RPA.** Encontro Anual de Tecnologia da Informação – EATI, Rio Grande do Sul. Ano 6 n. 1. p. 193-199. Nov/2016.

REZENDE, Márcio Marques. **Análise e subsídio ao ordenamento territorial da mineração de agregados para a construção civil na região integrada de desenvolvimento do distrito federal e interno.** 2017. Tese (Doutorado em Geociências Aplicadas) – Universidade de Brasília, 2017.

ROCHA, C. H. B. **Geoprocessamento: tecnologia transdisciplinar.** Juiz de Fora. Ed. do Autor, 2000.

ROSA, R. Análise espacial em Geografia. **Revista da ANPEGE**, v. 7, n. 1, número especial, p. 275-289, out. 2011

ROSA, R. **Introdução ao Geoprocessamento.** Instituto de Geografia – UFU. Minas Gerais. Junho, 2013. Disponível em: http://professor.ufabc.edu.br/~flavia.feitosa/cursos/geo2016/AULA5-ELEMENTOSMAPA/Apostila_Geop_rrosa.pdf. Acesso em Outubro de 2019.

SCOLFORO, J. R. *et al.* **Zoneamento ecológico-econômico do Estado de Minas Gerais: Zoneamento e cenários exploratórios.** Edição 1, Capítulo 1. Minas Gerais: Universidade Federal de Lavra. p. 7-20, 2008.

SILVA, D. C. da. **Considerações práticas em Fotogrametria a curta distância aplicada ao levantamento de um tanque e a questão da precisão e exatidão.**

1995. Dissertação (Mestrado em Ciências Geodésicas) – Universidade Federal do Paraná, 1995.

SOARES, A. F. **Sistema de informações geográficas – SIG / SPRING para modelagem e espacialização de dados de fertilidade do solo.** Campinas: Embrapa Informática Agropecuária, 2001.

SOBREIRA, F. G.; DE SOUZA, L. A. Cartografia Geotécnica aplicada ao planejamento urbano. **Revista Brasileira de Geologia da Engenharia e Ambiental.** São Paulo, SP, v. 2, n. 2, p. 79-97, 2012. ISSN 2317-370X

SOUZA, Henrique Lacet Silva. **Ortofotocartas e dados de *laser scanner* na avaliação espaço-temporal de áreas de risco em Recife-PE, entre os anos de 1974 e 2013, 2016. 165 p.** Dissertação (Mestrado em Ciências Geodésicas e Tecnologia da Geoinformação) – Centro de Tecnologia e Geociências, Universidade Federal de Pernambuco, 2016.

TANNO, Luiz Carlos; SINTONI, Ayrton. **Mineração & município: bases para planejamento e gestão dos recursos minerais.** São Paulo: Instituto de Pesquisa Tecnológicas, 2003

TEMBA, Plínio. **Fundamentos da Fotogrametria – Departamento de Cartografia.** Minas Gerais: Universidade Federal de Minas Gerais, 2000. Disponível em: <http://www.csr.ufmg.br/geoprocessamento/publicacoes/fotogrametria.pdf>. Acessado em: Novembro de 2019.

TOMMASELLI, A. M. G.; SILVA, J. F. C da; HASEGAWA, J. K.; GALO, M.; DAL POZ, A. P.. **Fotogrametria: aplicações a curta distância.** In; MENEGUETE Jr, M.; ALVES, N. (Organizadores), FCT 40 anos, Perfil Científico Educacional, Presidente Prudente – SP, p. 147-159, 1999.

VALENTE, A. L. S. **Integração de dados por meio de geoprocessamento, para elaboração de mapas geotécnicos, análise do meio físico e suas interações com a mancha urbana: o caso de Porto Alegre (RS)**. Ministério da Educação e do Desporto, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 1999.

XAVIER-DA-SILVA, J. **O que é Geoprocessamento?**. Revista do CREA-RJ N° 79, p.42-44, 2009.

ZAIDAN, R.T.. **Geoprocessamento Conceitos e Definições**. Revista de Geografia – PPGeo - UFJF. Juiz de Fora, v.7, n.2, (Jul-Dez) p.195-201, 2017.

ZUQUETTE, Lazaro Valentin. **Análise crítica da cartografia geotécnica e proposta metodológica para condições brasileiras**. 1987. Tese (Doutorado em Engenharia Civil – Geotecnia) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1987.

ZUQUETTE, Lazaro. V.; GANDOLFI, Nilson. **Cartografia Geotécnica**. São Paulo: Oficina de Textos, 2004