



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO
FACULDADE DE ARQUITETURA, ENGENHARIA E TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM RECURSOS HÍDRICOS

IDENTIFICAÇÃO E MAPEAMENTO DE UNIDADES
GEOAMBIENTAIS: uma contribuição ao planejamento territorial periurbano e à
conservação dos recursos hídricos de Cuiabá, Mato Grosso.

ROSAMARIA ROSAN DIAS FIGUEREDO

Orientadora: **Profa. Dra. Daniela Maimoni de Figueiredo**

Co-orientador: **Prof. Dr. Auberto José Barros Siqueira**

CUIABÁ, 2018



UNIVERSIDADE FEDERAL DO MATO GROSSO
FACULDADE DE ARQUITETURA, ENGENHARIA E TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM RECURSOS HÍDRICOS

IDENTIFICAÇÃO E MAPEAMENTO DE UNIDADES
GEOAMBIENTAIS: uma contribuição ao planejamento territorial periurbano e à
conservação dos recursos hídricos de Cuiabá, Mato Grosso.

ROSAMARIA ROSAN DIAS FIGUEREDO

Dissertação apresentada à
Coordenação do Programa de Pós-
Graduação em Recursos Hídricos da
Universidade Federal de Mato Grosso
para obtenção do Título de Mestre em
Recursos Hídricos.

CUIABÁ, 2018



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO
PRÓ-REITORIA DE ENSINO DE PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM RECURSOS HÍDRICOS
Avenida Fernando Corrêa da Costa, 2367 - - Boa Esperança - Cep: 78050900 - CUIABÁ/MT
Tel : (65) 3615-8764 - Email : nearh@ufmt.br

FOLHA DE APROVAÇÃO

TÍTULO : "IDENTIFICAÇÃO E MAPEAMENTO DE UNIDADES GEOAMBIENTAIS: Uma contribuição ao planejamento territorial periurbano e à conservação dos recursos hídricos de Cuiabá"

AUTOR : Mestranda Rosamaria Rosan Dias Figueiredo

Dissertação defendida e aprovada em 29/03/2018.

Composição da Banca Examinadora:

Presidente Banca / Orientador	Doutor(a)	Daniela Maimoni de Figueiredo
Instituição :	UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO	
Coorientador	Doutor(a)	Auberto José Barros Siqueira
Instituição :	UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO	
Examinador Interno	Doutor(a)	Fernando Ximenes de Tavares Salomão
Instituição :	UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO	
Examinador Externo	Doutor(a)	Fernanda Vieira Xavier
Instituição :	UNEMAT	
Examinador Suplente	Doutor(a)	Peter Zeillhofer
Instituição :	UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO	

Daniela Maimoni de Figueiredo

Auberto José Barros Siqueira

Fernando Ximenes de Tavares Salomão

Fernanda Vieira Xavier

CUIABÁ, 28/03/2018.

Dados Internacionais de Catalogação na Fonte.

F475i Figueredo, Rosamaria Rosan Dias.
IDENTIFICAÇÃO E MAPEAMENTO DE UNIDADES
GEOAMBIENTAIS : uma contribuição ao planejamento territorial
periurbano e à conservação dos recursos hídricos de Cuiabá, Mato
Grosso. / Rosamaria Rosan Dias Figueredo. -- 2018
69 f. : il. color. ; 30 cm.

Orientadora: Daniela Maimoni de Figueiredo.
Co-orientador: Auberto José Barros Siqueira.
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Mato Grosso,
Instituto de Ciências Exatas e da Terra, Programa de Pós-Graduação
em Recursos Hídricos, Cuiabá, 2018.
Inclui bibliografia.

1. compartimentos morfopedológicos. 2. modelo numérico do

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Permitida a reprodução parcial ou total, desde que citada a fonte.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus inicialmente pela força e orientação para concluir mais esta etapa, busquei nEle a sabedoria para solucionar os imprevistos que surgiram durante o percurso. Assim, foi possível encontrar as pessoas certas, no momento certo para executar o trabalho mais apropriado.

À toda minha família pelo apoio, por estarem sempre presente, pelo carinho e paciência na “fase mestrado”, principalmente no final.

À minha amiga Annika, por ser a primeira a me incentivar a entrar no mestrado (sem ter a opção do não), e foi a melhor opção a seguir.

À Profa. Dra. Daniela Maimoni, por sua total disponibilidade, pela clareza e objetividade impecável na condução deste trabalho.

Ao Prof. Dr. Auberto Siqueira, pela confiança e dedicação ao compartilhar seu conhecimento para construção das ideias da pesquisa, além de ser um grande incentivador na superação dos meus limites. Foi tudo sensacional!

À Letícia Paredes, que acompanhou e deu total apoio em campo e pessoal.

Ao Rafael Alencar, que apoiou na primeira fase em campo.

À Bárbara Tasca e Henrique Mendonça que ajudaram com a base dados e imagens de alta resolução.

Aos meus amigos da Pós-graduação, pois foram iniciadas amizades maravilhosas.

À minha amiga Valéria Schmidt, que sempre esteve pronta para me ajudar com sua precisão e agilidade na formatação do trabalho (Mesmo tarde da noite!).

Às amigas Ludmila Moraes, Mariarosa Fernandes, Mariana Borealis, Bárbara Nanda, Raísa Vendas, Dani Ganzer, Brena Verginassi, Luana Castelo, Vanessa Gomes. Aos amigos, Luciano Basílio, Vinicius Pedrosa, Hugo, Luan, Antônio Leôncio, os quais me ajudaram de forma direta e indiretamente.

À CAPES, pela bolsa de mestrado concedida neste período.

Ao Ministério Público do Estado de Mato Grosso com o Projeto Água para o Futuro, que deu total apoio e financiou este trabalho.

Muito obrigada a todos.

“Para a Terra o ser humano é completamente dispensável, mas para o ser humano a Terra é insubstituível” (Teilhard de Chardin, 1950).

RESUMO

FIGUEREDO, Rosamaria R. D., Universidade Federal de Mato Grosso. março de 2018. **IDENTIFICAÇÃO E MAPEAMENTO DE UNIDADES GEOAMBIENTAIS:** uma contribuição ao planejamento territorial periurbano e à conservação dos recursos hídricos de Cuiabá. Orientadora: Profa. Dra. Daniela Maimoni de Figueiredo. Co-orientador: Prof. Dr. Auberto José Barros Siqueira.

A identificação dos componentes da paisagem em escala de detalhe é de fundamental importância para um planejamento territorial que busca o uso sustentável e a ocupação adequada de áreas susceptíveis à ocupação. O mapeamento morfopedológico de detalhe com escala compatível de 1:25.000, permitiu a caracterização de cinco unidades geoambientais na região periurbana de Cuiabá-MT: Cristas (R1), Superfícies Tabulares (R2), Rampas (E1), Vale (E2) e Várzeas (D1). As unidades foram definidas por meio da análise do Modelo Numérico de Elevação TOPODATA, integrada com análise de imagens de sensoriamento remoto em ambiente SIG e levantamento em campo. Os compartimentos morfopedológicos que deram a sustentação conceitual às unidades geoambientais foram definidos de forma integrada com dados cartográficos, geomorfológicos e geológicos preexistentes. Esses indicam características de cada setor para sua vocação natural de recursos hídricos, como também, a capacidade da área para aumento de densidade urbana. Neste caso, defende-se a necessidade de controle ambiental rígido, pois esta área está à montante dos rios que drenam a cidade de Cuiabá. É indicado manter o baixo nível de ocupação, recuperação de áreas já degradadas e preservação de setores ainda inalterados.

Palavras-chave: compartimentos morfopedológicos, modelo numérico do terreno, unidades geoambientais.

ABSTRACT

FIGUEREDO, Rosamaria R. D., Universidade Federal de Mato Grosso. March, 2018. IDENTIFICATION AND MAPPING OF GEOENVIRONMENTAL UNITS: a contribution to the periurban territorial planning and to the conservation of the water resources of Cuiabá. Adviser: Profa. Dra. Daniela Maimoni de Figueiredo. Co-adviser: Prof. Dr. Auberto José Barros Siqueira.

In the search for the sustainable use of the lands that are susceptible to urban occupation it is of the outmost importance to identify landscapes components on detailed scale due their critical role for territorial planning. Based on morpho-pedological mapping in a scale compatible with 1:25,000, it was possible to identify five geoenvironmental units: Hills (R1), Tabular Surfaces (R2), Straight Ramps (E1), Valleys (E2) and Swamps (D1). The units were defined by analyzing the Digital Elevation Model TOPODATA, integrated with optical remote sensing images and field surveyor. The morpho-pedological compartments that provided the conceptual model for the geoenvironmental units were also integrated with previous cartographic, geomorphological and geological data. These characteristics indicated the “natural vocation” for each unity, which was mainly defined in terms of their contribution for conserving natural resources and support for urban settlement projects. This study recommends the rigid environmental control of the studied area as it is upstream to the major watershed that drain the urban area of the Cuiaba City. It is also recommended to keep the density of occupation as low as possible, to recover the degraded areas and to preserve the identified sites that are still unaltered by human occupation.

LISTA DE ABREVIATURAS

APP - Áreas de Preservação Permanente
ASI – Agência Espacial Italiana
BAP - Bacia do Alto Paraguai
CMC - Colinas, Morrotes e Morros alinhados em Crista
CPRM – Serviços Geológicos do Brasil
DGM - Digital Ground Model
DHM - Digital Height Models
DLR - Agências Espaciais Alemã
DTEM - Digital Terrain Elevation Model
EMA - Estações Meteorológicas Automáticas.
EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA
IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia Estatística
INMET- Instituto Nacional de Meteorologia
INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
MDA - Modelo Digital de Altura
MDE - Modelo Digital de Elevação
MDET - Modelo Digital de Elevação do Terreno
MDS - Modelo Digital do Solo
METAMAT - Companhia Matogrossense de Mineração
MIT - Institut of Technology
MNT - Modelo Numérico do Terreno
NASA - Agência Espacial Americana
SICME - Secretaria da Indústria, Comércio, Minas e Energia do Estado do Mato Grosso
SIG - Sistemas de Informações Geográficas
SIG Cuiabá - Sistema de Informação Geoambiental de Cuiabá, Várzea Grande e Entorno
SRTM - Shuttle Radar Topography Mission
SUP-DISS - Superfícies aplainadas dissecadas em colinas e morrotes
VANT - Veículo Aéreo Não Tripulado

LISTAS DE TABELAS

Tabela 1 - Principais ocorrências das quatro fases de deformação das Orogêneses Brasilianas.	23 <u>24</u>
Tabela 2 - Estratigrafia das oito subunidades do Grupo Cuiabá.	24 <u>25</u>
Tabela 3 - Estratigrafia das Formação Rio Coxipó e Miguel Sutil dos Grupo Cuiabá.	27 <u>Erro! Indicador não definido.</u>

LISTAS DE FIGURAS

Figura 1 - Folhas elaboradas pelo Projeto RADAMBRASIL no Estado do Mato Grosso.....	8
Figura 2 - Área de abrangência do levantamento do Projeto SIG Cuiabá.	10
Figura 3 – Diagrama da classificação taxonômica do relevo de Ross (1992)..	11
Figura 4 – Compartimentação realizada pelo SIG Cuiabá.	12
Figura 5 - Exemplo da Folha TOPODATA, em destaque a ZN15_57 que estão inseridas as cidades de Cuiabá e Várzea Grande.....	17
Figura 6 – Representação do efeito dos objetos sobre o solo causando distorção de altura no MDE e MNT.....	17
Figura 7 – Mapa de localização da área de estudo com a delimitação das bacias a jusante que drenam a área urbana de Cuiabá.....	19
Figura 8 - Gráfico de precipitação do ano de 2017 da estação automática de Cuiabá.....	20
Figura 9 - Fluxograma do estudo realizado.....	29
Figura 10 - Vista superior do traçado de voo.	33
Figura 11 – Chave de classificação para descrição das unidades geoambientais.	34
Figura 12 – Imagem TOPODATA antes da correção (A) e após a correção de entalhamento de canais no Whitebox (B).....	36
Figura 13 - Imagem sombreada do MNT após aplicação do algoritmo de entalhamento de canais.....	37
Figura 14 - Filtro do desvio em relação a altitude média realçando as unidades geoambientais identificadas neste trabalho.	38
Figura 15 – Delimitação das unidades geoambientais na imagem RapidEye (Composição colorida R4G5B3).	39
Figura 16 – Comparação entre mapa de unidades geoambientais do SIG Cuiabá com as unidades identificadas neste trabalho.....	40
Figura 17 - Imagem gerada em gabinete por processamento (A). Imagem gerada após campo com devidas correções por observações in loco (B).....	41
Figura 18 - Chave da hierarquização dos domínios geomórficos, base das unidades geoambientais.....	43

Figura 19 - Uso e ocupação do solo.	45
Figura 20 - Mapa da Unidades Geoambientais	46
Figura 21 - Perfil esquemático do Morrote Assimétrico Alinhado	47

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO.....	1
2.	OBJETIVO	4
3.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	5
3.1.	GEOAMBIENTES SOB O CONTEXTO MORFOPEDOLÓGICO.....	5
3.2.	PROJETO RADAM E RADAMBRASIL	7
3.3.	SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEOAMBIENTAL DE CUIABÁ, VÁRZEA GRANDE E ENTORNO - SIG CUIABÁ.....	9
3.4.	MODELO de elevação de topografia por radar (Shuttle Radar Topographic Mission SRTM).....	13
3.5.	MODELOS DIGITAIS DE ELEVAÇÃO (MDE) E CARACTERÍSTICAS DO TOPODATA.....	14
3.5.1	Terminologia	14
3.5.2	Modelo de elevação TOPODATA	16
3.5.3	Conversão MDE para MNT	17
4	CARACTERÍSTICAS GERAIS DA ÁREA.....	18
4.1	CLIMA	19
4.1	HIDROGRAFIA	20
4.2	VEGETAÇÃO	21
4.3	GEOLOGIA	22
4.3.1	Contexto Geológico Regional	22
4.4	HIDROGEOLOGIA	26
4.5	GEOMORFOLOGIA.....	26
5	MATERIAL E MÉTODOS.....	28
5.1	BASE DE DADOS	30
5.1.1	Pré-processamento MDE	30
5.1.2	Processamento do MNT	31
5.1.3	RapidEye	32
5.1.4	Veículo Aéreo Não Tripulado – VANT	33
5.2	LEVANTAMENTO EM CAMPO	34
5.2.1	Classificação da Paisagem	34
5.2.2	Etapas em Campo.....	35

5.3	IDENTIFICAÇÃO DAS UNIDADES GEOAMBIENTAIS NO MODELO NUMÉRICO DO TERRENO OBTIDO DOS DADOS TOPODATA	36
5.3.1	Visualização das unidades geoambientais na imagem RapidEye.	38
5.3.2	Identificação e caracterização das unidades geoambientais.....	39
5.3.3	Validação das unidades geoambientais em campo.	41
5.4	CLASSIFICAÇÃO E HIERARQUIZAÇÃO DAS UNIDADES GEOAMBIENTAIS	42
6	RESULTADOS	43
6.1	SÍNTESE DAS PROPRIEDADES NATURAIS DAS UNIDADES GEOAMBIENTAIS: ASPECTOS DO MEIO FÍSICO E FITOFISIONÔMICOS....	45
6.3.1	Morrotes Assimétricos Alinhados.....	46
6.3.2	Superfícies Tabulares.....	49
6.3.3	Rampas.....	51
6.3.4	Várzeas.....	53
6.3.5	Vale	55
6.2	POTENCIALIDADES, LIMITAÇÕES E RECOMENDAÇÕES DE USO DAS UNIDADES GEOAMBIENTAIS.....	56
6.3	IMAGENS VANT	63
	CONSIDERAÇÕES FINAIS	66
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	68
	Apêndice A: Ficha para descrição em campo.	73

1. INTRODUÇÃO

A natureza integrada com a sociedade, aborda o contexto de geossistema, nele, os recursos naturais acompanham uma unidade específica do espaço físico, compreendidas pela superfície, subsolo e espaço aéreo, que são formados pela água, solo, ar, minerais, toda a fauna e flora, influenciados também pela temperatura, precipitação e a topografia, todos de forma integrada (SOTCHAVA, 1962).

Visando a conservação desses recursos naturais frente à demanda de novas áreas para expansão territorial periurbana, é necessário fazer o planejamento para o uso sustentável e ocupação das regiões susceptíveis, sendo uma maneira para realizar este trabalho é o estudo dos compartimentos morfopedológicos

Castro e Salomão (2000) identificam os compartimentos morfopedológicos com base na análise integrada da paisagem, que envolve o conhecimento dos elementos do meio físico e da cobertura vegetal, direta ou indiretamente relacionados aos atributos do solo, características litológicas e estruturais do substrato geológico, formas e feições do relevo e tipologia, porte e densidade da cobertura vegetal. Compreendem áreas homogêneas de unidades geomorfológicas relacionadas a processos morfogenéticos e pedogenéticos (TRICART, 1977).

Referente à ocupação territorial, vale destacar que 4,6 milhões de km², o que corresponde a 53,8% do território nacional, pertencem aos sistemas fraturados ou cristalinos que compreendem as Províncias Hidrogeológicas dos Escudos Setentrional, Central, Oriental e Meridional, responsáveis por assegurarem a perenização dos rios (MMM, 2003). Diante disso, um fator preocupante é que 80% da urbanização brasileira se concentram nestes terrenos cristalinos, onde há o comprometimento da qualidade e disponibilidade hídrica do aquífero por ocupação inadequada nas áreas de recarga (CPRM, 2002). Logo, o risco potencial de contaminação e poluição dos recursos hídricos afeta diretamente a segurança hídrica de grande parte da população brasileira.

Cuiabá, capital de Mato Grosso, que cresceu em ritmo acelerado e com pouco planejamento a partir da década de 1970, possui na área urbana uma extensa e rica rede de drenagem formada por pequenos córregos que são afluentes diretos ou indiretos do rio Cuiabá, um importante contribuinte do Pantanal Mato-grossense. A bacia formada por este rio oferece diversos serviços ambientais, relacionados aos usos da água, destacando-se o abastecimento público de mais de 80% da população da bacia, que é de

800.000 habitantes. Além disso, ocorrem outros usos da água, como abastecimento rural, balneabilidade, aquicultura, pesca, irrigação, geração de energia elétrica e diluição de efluentes, incluindo os tributários como o rio Coxipó e subacias dos córregos Ribeirão da Ponte, Ribeirão do Lipa, Mané Pinto, Gambá, Barbado e São Gonçalo (SILVA et al., 2008).

Na região da Baixada Cuiabana, onde se situa a referida área urbana, segundo Migliorini (1999), as características hidrogeológicas são evidenciadas pelas rochas do Grupo Cuiabá, com uma camada de solo pouco espesso, com o sistema de aquífero do tipo livre, heterogêneo e anisotrópico com variações laterais e de profundidade. As unidades litoestratigráficas, conforme este autor, apresentam fissuras e fraturas, nas quais facilitam a penetração de águas meteóricas, favorável à recarga, como também para a percolação de líquidos contaminantes, como por exemplo o chorume, proveniente da decomposição de resíduos sólidos urbanos.

Quanto às condições sanitárias de Cuiabá, Santos (2005) mostra que o aterro sanitário de Cuiabá, dispõe os resíduos sólidos de maneira inadequada às normas da engenharia e, em consequência dos processos de decomposição (químicos, físicos e biológicos) que dão origem ao chorume, líquido com potencial poluidor várias vezes maior que o esgoto doméstico e causa a degradação da vegetação e a poluição do solo. Estudos realizados por Shiraiwa et al. (2002) na mesma área, indicam que as contaminações por metais pesados vêm colocando em risco o meio ambiente.

Este aterro sanitário localiza-se nas microbacias do Ribeirão do Lipa, Córrego Doutor e o Córrego Três Barras, afluentes do rio Cuiabá, cujo aterro, ocupa uma região irregular em Áreas de Preservação Permanente (APPs) ao longo destes córregos, nascentes e várzeas. Nestas ocupações, há retirada da vegetação e impermeabilização do solo, proporcionando alto *run off*, ou seja, gerando um aumento do escoamento superficial em forma de enxurrada ou pelas redes de águas pluviais, o que dificulta a infiltração e causa o declínio da água subterrânea. Além disso, o recurso hídrico superficial está enfrentando o mesmo problema por inadequação da ocupação, devido aos lançamentos de esgotos *in natura*. Nas microbacias vizinhas, a ocupação urbana ainda é incipiente, mas com forte tendência à expansão.

Por esse motivo, procurar desenvolver instrumentos de gestão ambiental aplicáveis a esse território é de grande interesse para sustentabilidade da cidade. Como se sabe, um aspecto crítico na gestão ambiental é a existência de cartografia temática na forma de unidades geoambientais pois, em suma, elas representam uma síntese dos

atributos paisagísticos (componentes bióticos, abióticos) e culturais (uso e ocupação), acompanhado de um balanço entre limitações, potencialidades e riscos (fragilidades), definidos em função das atividades antrópicas atuantes e/ou planejadas. Com efeito, esses produtos cartográficos vêm sendo utilizados para subsidiar o ordenamento territorial urbano, pois fornecem fundamentos para a normatização de uso e conservação por meio de instrumentos municipais, como planos diretores e códigos de postura.

Todavia, é necessário que essa cartografia esteja em escala adequada e que possa ser executada em tempo hábil, para garantir a prevenção da integridade dos recursos naturais do espaço ameaçado. Desse modo, o presente trabalho procurou desenvolver um método de cartografia geoambiental com o propósito de contribuir com elaboração de uma técnica de mapeamento que pudesse satisfazer essas duas condições. Para esse fim foi escolhida uma área piloto situada na zona de expansão nordeste do perímetro urbano de Cuiabá, na qual encontram-se nascentes das principais bacias hidrográficas que drenam o espaço urbano e onde já se notam efeitos negativos da expansão, incluindo a poluição de mananciais por disposição de resíduos sólidos, extração de materiais de construção, mineração de ouro e degradação de nascentes. Considerando o exposto, o presente trabalho, que tem financiamento e apoio do Ministério Público do Estado de Mato Grosso, do Instituto Ação Verde e da Universidade Federal de Mato Grosso, como parte do Projeto Água para o Futuro, pretende fornecer subsídios para que os recursos hídricos da área urbana de Cuiabá sejam recuperados e/ou conservados, visando garantir água em quantidade e em qualidade às atuais e futuras gerações, através do estudo integrado entre as características naturais e antrópicas de um compartimento morfopedológico na área periurbana de Cuiabá.

2. OBJETIVO

Identificar, cartografar e caracterizar subunidades geoambientais na zona periurbana de Cuiabá, por meio de uma metodologia por geoprocessamento e levantamento em campo de rápida aplicação, com vistas a contribuir com a gestão ambiental dessa área, tendo como ênfase a conservação dos recursos hídricos.

2.1. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar novas subunidades geoambientais que integram as variáveis do meio físico; as características da cobertura superficial; características dos solos; características do substrato do meio biótico e do meio antrópico em escala compatível a 1:25:000;
- Elaborar um roteiro metodológico para processamento do Modelo Numérico do Terreno (MNT) para viabilizar sua aplicação na identificação de subunidades geoambientais;
- Identificar os parâmetros morfométricos por análise do MNT;

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Esta revisão busca a formalização teórica da morfopedologia a fim de demonstrar a importância desta base quando se trata da caracterização do meio ambiente, bem como, orientações metodológicas já aplicadas que concedem o devido apoio a execução deste estudo.

3.1. GEOAMBIENTES SOB O CONTEXTO MORFOPEDOLÓGICO.

A geomorfopedologia compreende processos pretéritos, atuais e de ininterrupta evolução, com isso, estabelecendo funções cada vez mais específicas em áreas de diferentes frentes na ciência em suas abordagens, em que as mesmas estão vinculadas pelos processos que as condicionam.

Em escala planetária estende-se pelos continentes e oceanos; em escala continental, estende-se pelas cadeias de montanhas, planaltos, depressões e planícies; e em escala local trata-se das escarpas, morros, colinas, terraços e pequenas planícies (FLORENZANO, 2008).

Diante dessa dinâmica de processos naturais e antrópicos há inúmeros trabalhos que mostram a evolução dos estudos das Ciências da Terra. Começando pela geomorfologia, estudos vinculados à geologia e geografia tiveram início em meados do século XVIII, sendo os objetivos da época os sistemas de produção baseados no utilitarismo (FLORENZANO, 2008). A citada autora destaca as principais contribuições como: A. Surell e seu clássico esquema de erosão torrencial; a morfologia glacial de Jean Louis Agassiz; W. Jukes sendo o pioneiro nos conceitos dos traçados dos rios; a capacidade de aplainamentos das águas correntes por Andrew Ramsay e Grove Karl Gilbert; John Wesley Powell e Clarence E. Duntton com os cálculos de arraste e deposição dos sedimentos (apud ABREU, 1982; CASSET, 1994, 2007).

O Ciclo Geográfico entra como conceito no final do século XVIII com Davis (1899), apoiados pelos estudos de Gilbert (1877) e Powell (1875), em que defende que as forças endógenas são as responsáveis pelos soerguimentos das superfícies aplainadas juntamente com a ação do tempo, sendo estes os processos que modelam o relevo. Para explicar o ciclo, as superfícies são soerguidas em evento catastrófico rápido e a rede de drenagem se adapta ao modelado dando início ao entalhamento do talvegue, a água

corrente dá início à erosão, o que provoca a dissecação e o rebaixamento do relevo, processo de formação do peneplano, assim sucessivamente. Este conceito foi fundamentado pela escola anglo-americana até a Segunda Guerra Mundial, por imposição de geomorfologia alemã e desenvolvimento da cartografia.

Já o modelo defendido pela escola alemã, teve início por Albrecht Penck (1894 e continuou pelo autor Walther Penck 1924, 1953, apud Abreu, 1982). Em que eles integram os aspectos da superfície terrestre detalhando seu processo, despontam conceitos sobre depósitos correlativos, bem como, a incorporação da Climatologia e a Biogeografia. Aqui eles divergem de Davis (1899) e defendem que a emersão e a denudação ocorrem ao mesmo tempo. Nesta mesma escola, Siegfried Passarge (1932) chega com o conceito de paisagem que se compõem de relevo, vegetação, solo, etc. (Passarge, 1932 e Tricart, 1981 apud FLORENZANO, 2008).

Com o uso da computação, iniciam-se novas abordagens que dão ênfase à teoria dos sistemas e fluxos nas décadas de 1940 e 1960. Horton (1932, 1945 e Gregory e Walling (1973) são os pioneiros nos estudos das bacias de drenagens. O conceito do Equilíbrio Dinâmico de Hack (1960) define o relevo como sistema aberto, ou seja, o relevo é influenciado pelo clima e estrutura geológica, de acordo com a resistência do embasamento litológico.

Geólogos americanos participaram no desenvolvimento da Teoria Geológica da Tectônica das Placas, nos anos de 1960, na qual, colaboraram para a compreensão das formas dos relevos a partir dos movimentos das placas tectônicas.

Martonne (1964) conduziu os estudos na linha estrutural influenciado por Davis e Tricart, 1977; Troll, 1932 apud FLORENZANO (2008), responsável por dar início ao conceito de ecodinâmica, sustentado pelo estudo da morfogênese/pedogênese, ambos apoiados por estudos de Troll (1932), que deu a abordagem integrada de paisagem ecológica, pioneiro na utilização de fotografias aéreas para o mapeamento das unidades. Martonne e Tricart acima citados, foram os responsáveis pelo desenvolvimento da geomorfologia no Brasil, sendo que estes autores seguem a escola francesa com influência anglo-americana.

Mas foi Ab'Saber (1969) influenciado pela escola germânica que mais colaborou frente às teorias geomorfológicas fundamentando três níveis de comportamento: 1) Compartimentação topográfica regional e caracterização morfológica (destaca a morfologia a partir de diferentes níveis topográficos); 2) Estrutura superficial da paisagem (a partir de depósitos correlativos relacionados à

condições climáticas, para assim, caracterizar a morfogênese); 3) Processos morfoclimáticos e pedogênicos atuais, fisiologia da paisagem (referente aos processos atuais, inserindo o homem como agente modificador). E neste contexto de compartimentação do relevo, Ross (1992) classifica seis níveis taxonômicos, baseando-se na morfologia.

Salomão et al. (1981) discorrem sobre a interação entre o substrato geológico, relevo e solos como ferramentas para caracterizar áreas favoráveis à irrigação. Mas em 1994 o referido autor, seguindo estudos de Tricart e Kilian (1979), propõe caracterizar compartimentos homogêneos considerando as influências do embasamento geológico no relevo e solo.

Com isso, Castro e Salomão (2000), definem a base conceitual para compartimentos morfopedológicos por agentes externos como: físico, biótico e abiótico possíveis de serem caracterizados e delimitados concomitantes à terrenos do embasamento litológico e pedológico, agentes internos, nos quais demarcam evolução no tempo e no espaço. (FARIA, 2013).

A necessidade de conhecimento do processo de evolução e delimitação do meio físico da paisagem, se torna significativo, pois proporciona os diagnósticos das condições ambientais para uma gestão ao planejamento territorial urbano de maneira adequada à sua necessidade e evolução.

3.2. PROJETO RADAM E RADAMBRASIL

O Projeto RADAM, iniciado de fato no ano de 1970, no âmbito do Ministério de Minas e Energia, foi criado com a finalidade de implementar um Programa de Sensoriamento Remoto por Satélite e realizar o levantamento integrado dos recursos naturais em uma área restrita a 1.500.000 Km² ao longo da rodovia Transamazônica, posteriormente ampliada até abranger a totalidade da Amazônia Legal (TORRICO, 2008).

Devido ao sucesso pela qualidade do trabalho executado, após a conclusão, ampliaram sua área a todo o território nacional, mudaram a localidade do centro de operações de Belém – PA, na região norte, para Salvador – BA, na região nordeste. E assim, o projeto foi renomeado para PROJETO RADAMBRASIL (TORRICO, 2008).

No ano de 1980, o projeto mostra-se em fase de conclusão tanto por alcançar bons resultados nos levantamentos em todas as áreas dos recursos naturais renováveis, como também, por instabilidades, ora funcional, ora organizacional.

O fim das atividades realizadas com grande êxito pelo PROJETO RADAM - RADAMBRASIL encerraram-se no ano de 1985, sendo todo o acervo técnico transferido para o IBGE.

Durante os 20 anos de pesquisas feitas pelo PROJETO RADAMBRASIL, no ano de 1973 foi lançado o primeiro mapa geomorfológico correspondente ao volume nº 1. O trabalho foi realizado na região Amazônica, com uma cartografia inédita devida as condições da região, e a partir deste desafio, principalmente em relação ao levantamento cartográfico, foi desenvolvido uma sistematização para execução deste trabalho na escala de 1:1.000.000. Modificações e aperfeiçoamentos foram desenvolvidos no decorrer a cada Folha publicada no território Nacional (Figura 1) (RADAMBRASIL, 1982).

Figura 1 - Folhas elaboradas pelo Projeto RADAMBRASIL no Estado do Mato Grosso.

60°00'	58°30'	57°00'	55°30'	54°00'
12°00'	RIO IQUÊ SD. 21 - V - A	RIO DO SANGUE SD 21 - V - B	CIDADE SORRISO SD 21 - X - A	VERA SD. 21 - X - B
13°00'	PADRONAL SD 21 - V - C	UTIARITI SD. 21 - V - D	RIO CLARO SD 21 - X - C	VILA SANTA RITA SD. 21 - X - D
14°00'	CABECEIRAS DO JURUENA SD 21 - Y - A	TANGARÁ DA SERRA SD. 21 - Y - B	NORTELÂNDIA SD. 21 - Z - A	PARANATINGA SD. 21 - Z - B
15°00'	PONTES E LACERDA SD. 21 - Y - C	MIRASSOL D'OESTE SD 21 - Y - D	CUIABÁ SD 21 - Z - C	DOM AQUINO SD 21 - Z - D
16°00'	60°00'	58°30'	57°00'	55°30'

Fonte: RADAMBRASIL, volume 26, SD 21 Cuiabá.

Em Mato Grosso, o levantamento dos recursos naturais é denominado Folha SD. 21 Cuiabá, correspondente ao volume nº 26. Para a elaboração dos mapeamentos e relatórios. Especificamente para geomorfologia, na escala de 1:1.000.000, seguia-se um roteiro com uma estrutura básica em comum a todas as Folhas, segundo o RADAMBRASIL (1982), eram obtidas as informações como:

- Evolução dos Conhecimentos Geomorfológicos;
- Unidades Geomorfológicas;
- Evolução do Relevo; e
- Aplicações da Pesquisa Geomorfológica.

Em Cuiabá, Ross e Santos (1982) descreveram a subunidade relacionada a este trabalho como Depressão Cuiabana. Esta área entende-se por uma região rebaixada localizada entre os Planaltos do Guimarães e a Província Serrana. Apresentam topografias em formas rampeadas inclinadas de norte para sul. A altimetria está entre 200 metros ao sul e 450 metros no alto vale dos Rios Cuiabá e Manso. Apresenta dissecação composta predominantemente por formas tabulares e, secundariamente, por formas aguçadas a oeste e convexa (no vale do Rio Manso).

Os relevos estão embasados por litologias do Grupo Cuiabá, constituídos por metagrauvacas, metarcóseos, filitos, filitos ardorianos, quartzitos, conglomerados e tilitos que estão recobertos por material argilo-arenoso com ocorrência de horizonte concrecionário. A vegetação predominante é a Savana Aberta e Savana Parque subordinadamente. Nos fundos de vale ocorrem as Matas de Galerias de pequena expressão areal. Ocorre de forma ampla um pavimento detrítico que é um tipo de solo Litólico. A drenagem em uma abrangência geral está submetida à um forte controle estrutural (ROSS; SANTOS, 1982).

3.3. SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEOAMBIENTAL DE CUIABÁ, VÁRZEA GRANDE E ENTORNO - SIG CUIABÁ

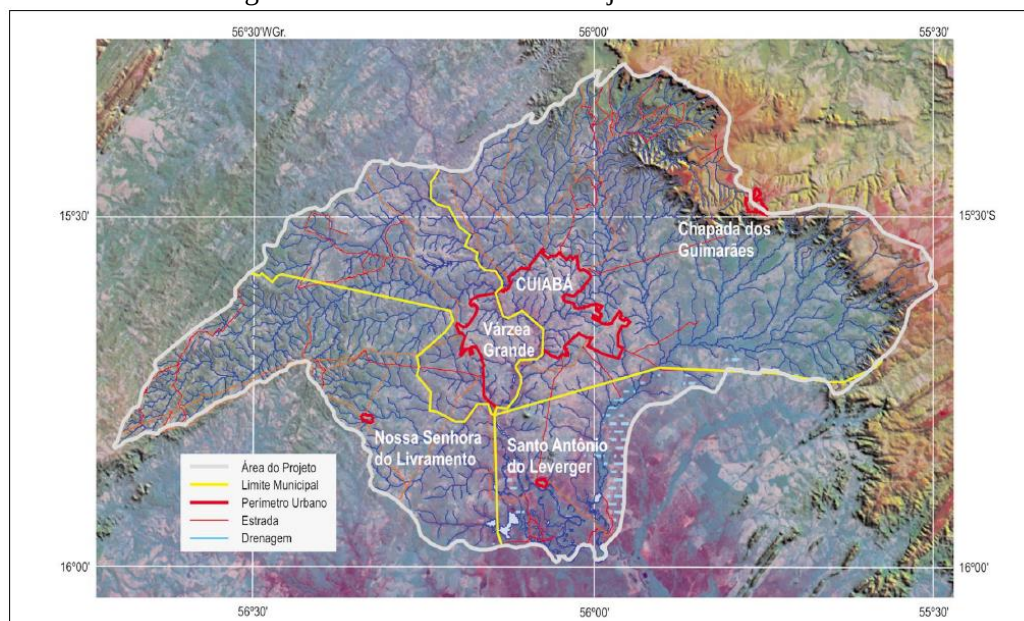
O Projeto “Sistema de Informação Geoambiental de Cuiabá, Várzea Grande e Entorno” (SIG Cuiabá), teve início em maio de 2004, por meio de convênio firmado entre o Serviço Geológico do Brasil (CPRM) e a Secretaria de Indústria, Comércio, Minas e Energia do Estado de Mato Grosso (SICME), contando ainda com a colaboração local da Companhia Matogrossense de Mineração (METAMAT); da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), (CNPS e Amazônia Ocidental) e participação de professores do Departamento de Geologia da Universidade Federal do Mato Grosso (UFMT) (SIG CUIABÁ, 2006).

A finalidade deste projeto foi de elaborar de forma sintetizada, diagnósticos relacionados ao meio físico. Levantamentos de dados de geologia, geomorfologia,

recursos hídricos, solos, aptidão agrícola, formações superficiais, geoquímica, uso atual do solo e cobertura vegetal/unidades de conservação, material para construção civil/insumos agrícolas e outros bens minerais, nos quais integram o Mapa Geoambiental elaborado na escala 1:100.000. Estas informações técnicas são de fundamental importância para assegurar um melhor planejamento do núcleo urbano e seu entorno, e assim, ter um desenvolvimento adequado ao meio físico da região com devida atenção às áreas ambientais frágeis, potencialidades minerais, aquíferas agrícolas e belezas cênicas. (SIG CUIABÁ, 2006).

A área abrange totalmente os municípios de Cuiabá e Várzea Grande e parte dos municípios de Santo Antônio de Leverger, Nossa Senhora do Livramento e Chapada dos Guimarães, o que corresponde a 5.230km², como mostra a (Figura 2).

Figura 2 - Área de abrangência do levantamento do Projeto SIG Cuiabá.



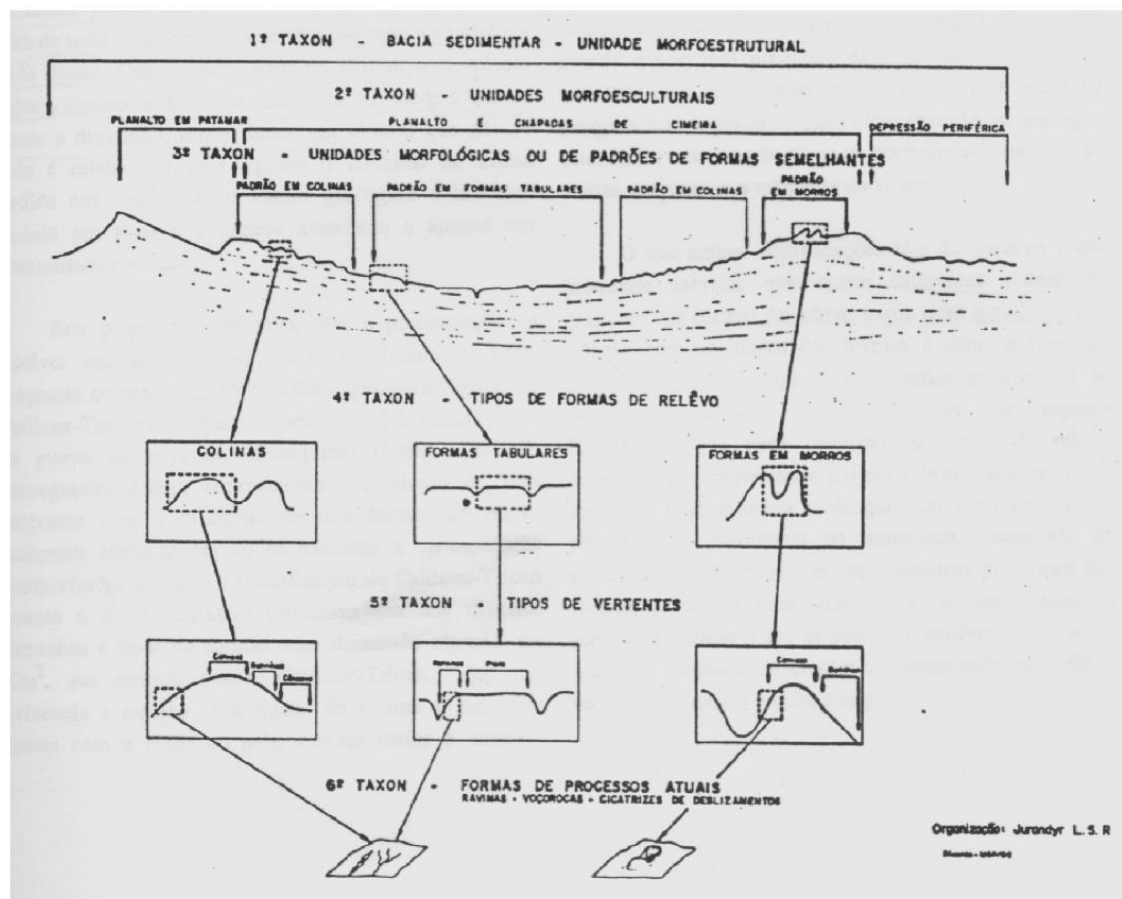
Fonte: Sistema de Informação Geoambiental de Cuiabá, Várzea Grande e Entorno - SIG Cuiabá.

O mapeamento geomorfológico neste trabalho seguiu conceitos de sistema de relevo executado no RADAMBRASIL (1982), segundo Ponçano et al. (1979), aprimorada por Ross (1992) (Figura 3), como também, o Zoneamento Sócio-Econômico-Ecológico do Estado de Mato Grosso (2000). Foram adotados procedimentos como:

- Análise de dados do meio físico;
- Interpretação de carta planimétricas;
- Fotografias aéreas;

- Imagens de satélites;
- Modelo digital do terreno
- Levantamento em campo para delimitar as compartimentações com precisão.

Figura 3 – Diagrama da classificação taxonômica do relevo de Ross (1992).



Fonte: Ross, (1992).

1º Táxon: São caracterizados por grandes estruturas. Define unidade morfoestrutural do relevo, como exemplo, a bacia sedimentar.

2º Táxon: São correspondentes às unidades morfoesculturais, desenvolvido pela ação climática no período geológico na morfoestrutural.

3º Táxon: São correspondentes às unidades semelhantes do relevo em função do índice de dissecação do mesmo, na sua forma de topos, vertentes e vales.

4º Táxon: Corresponde às formas de relevos desenvolvidos tanto por processos agradacionais como denudacionais. O primeiro processo, geram as planícies e terraços fluviais, lacustres e marinhos. O segundo, corresponde aos processos de geração de rampas, colinas, morrotes, morros e montanhas.

5° Táxon: Corresponde às formas de relevo como as encostas ou vertentes e pode apresentar morfologia côncava, convexa, retilínea e plana.

6° Táxon: Corresponde aos processos geomorfológicos, como erosões, colapso, movimento de massa, subsidência, inundação e assoreamento (SIG CUIABÁ, 2006).

O levantamento executado pelo projeto SIG Cuiabá (2006), resultou em um enquadramento dos compartimentos morfopedológicos conforme (Figura 4).

Figura 4 – Compartimentação realizada pelo SIG Cuiabá.

Domínios Morfoestruturais	Regiões Geomorfológicas	Unidades Morfológicas	Formas de Relevo	
Bacia Sedimentar do Paraná	Planalto dos Guimarães	Planalto Conservado	Chapadas	
			Colinas Amplas	
			Patamar	
		Planalto Dissecado	Morros e Morrotes Alongados	
			Colinas Médias e Amplas	
			Relevos de Transição	Escarpa Erosiva
				Rampas Coluvionadas
				Morros com Cristas e Encostas
Ravinadas				
Faixa de Dobramentos Paraguai-Araguaia	Depressão Cuiabana	Depressão Dissecada	Morros e Morrotes Alinhados	
			Morrotes Colinas Médias	
			Rampas Pediplanadas	
		Depressão Pediplanada		
		Planície Fluvial	Planície Fluvial e Terraços Altos	
Bacia do Sedimentar Pantanal	Pantanal Mato-grossense	Planícies Fluviais	Planície Fluvial e Terraços Baixos	
			Planície Aluvionar Meandriforme	
			Leque Fluvial	

Fonte: (SIG CUIABÁ, 2006).

O Mapa Geoambiental em escala de 1:100.000 (SIG CUIABÁ, 2006) identificou duas unidades geoambientais na área de estudo denominadas: Superfícies Aplainadas Dissecadas em Colinas e Morrotes (SUP-DISS) e a Unidade Colinas, Morrotes e Morros alinhados em crista (CMC).

A primeira, abrange os relevos dissecados em colinas médias com baixa amplitude de relevo, e morros e morrotes alinhados por forte condicionamento estrutural. Apresenta terrenos com declividades suave a moderada e alta capacidade de

carga, sendo apta, com restrições para urbanização e obras viárias, devido aos solos rasos, pedregosos e o relevo ondulado. Estes terrenos tornam-se restritos para obras enterradas e disposição de resíduos sólidos. Apresenta potencial de uso apenas para pastagens naturais devido à baixa capacidade de carga. A suscetibilidade à erosão laminar e linear (sulcos e ravinas) é moderada a alta, e apresenta baixa disponibilidade hídrica superficial, exceto áreas que circundam os rios Cuiabá e Coxipó, em vista da expressiva ocorrência de bacias de drenagem com canais principais intermitentes e canais de primeira ordem efêmeros. A variabilidade dos valores de vazões dos poços depende das zonas fraturadas abertas, sendo a maioria com média de 12m³/h, que representam vazões baixas. Numa faixa NE-SW, abrangendo as cidades de Várzea Grande e Cuiabá, ocorrem poços com alta vazão, embora, suas condições de armazenamento da unidade são inferiores. Definindo o potencial hidrogeológico como moderado (SIG CUIABÁ, 2006).

A segunda, é a unidade Colinas, Morrotes e Morros alinhados em crista (CMC). As cristas são acentuadas e condicionadas por um controle estrutural de direção NE-SW. A unidade é caracterizada por ocorrência de mananciais, logo, ocorre limitações para urbanização e obras viárias. Com potencial apenas para pastagens naturais devido à baixa capacidade de carga. Sendo assim, a fragilidade natural dos terrenos é significativa, destacando uma morfologia acidentada de declividades moderadas a acentuadas com alta suscetibilidade à erosão laminar e linear (sulcos), sendo moderada nas colinas. Predomínio de solos muito rasos e cascalhentos com baixíssima capacidade de retenção de água (SIG CUIABÁ, 2006).

3.4. MODELO DE ELEVAÇÃO DE TOPOGRAFIA POR RADAR (SHUTTLE RADAR TOPOGRAPHIC MISSION SRTM)

O ônibus espacial Endeavor foi lançado em 11 de fevereiro de 2000 com a missão de mapear a topografia do planeta terrestre em 11 dias, utilizando a tecnologia de radar. A missão do voo STS-99, denominada *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM), foi um projeto de cooperação internacional envolvendo a Agência Espacial Americana (NASA) e agências espaciais Alemã (DLR) e Italiana (ASI), com o objetivo de gerar a mais completa base de dados topográficos digital de alta resolução da Terra. Os dados de elevação topográfica foram obtidos pela técnica de interferometria de radar

de antena sintética, em uma escala quase global. Os dados SRTM disponíveis gratuitamente foram processados na forma de modelo digital de elevação (MDE) na banda C pela NASA/JPL (VAN ZYL, 2001; RABUS et al. 2003; FARR et al., 2005).

Após o processamento dos dados da missão o SRTM vem sendo disponibilizados desde fevereiro de 2000 para cerca de 80% da superfície terrestre. O MDE do SRTM-90, com resolução horizontal de 3" (cerca de 90m próximo ao equador) e resolução vertical de um metro, revela-se como o melhor e mais preciso dado topográfico disponível para muitas regiões (VAN ZYL, 2001).

3.5. MODELOS DIGITAIS DE ELEVAÇÃO (MDE) E CARACTERÍSTICAS DO TOPODATA

Neste capítulo, serão apresentados e discutidos os conceitos básicos dos MDE utilizados neste trabalho, com ênfase na terminologia. Em seguida, serão descritos o SIG Whitebox Geospatial Analysis Tools (Whitebox GAT 3.4) utilizado neste trabalho para o processamento dos dados do MDE. Finalmente, apresentam-se os conceitos fundamentais das unidades geoambientais, utilizados para o mapeamento da área de estudo.

3.5.1 Terminologia

Quando se trata de dados de elevação a nomenclatura pode ser confusa, uma vez que, há várias maneiras de definir o que se entende por elevação, sendo necessário, portanto, definições iniciais.

Em primeiro lugar convém distinguir entre os Modelos Digitais do Terreno (MDT) e os Modelos Digitais de Elevação (MDE), pois ambos são cruciais para este trabalho.

O conceito de MDT foi criado pelo professor Charles L. Miller do *Massachusetts Institut of Technology* (MIT) entre 1955 e 1960, que foi quem primeiro utilizou a computação (um IBM 650) para a representação digital do terreno, no caso, aplicado a projeto de rodovias (BARBOSA, 1999). Os MDT foram então definidos em termos matemáticos como “uma representação estatística de uma superfície do terreno por grande número de pontos selecionados com coordenadas x,y,z conhecidas no

campo” (MILLER; LAFLAMME, 1958). Desde então uma série de termos alternativos, foram sendo utilizados como: Modelo Digital de Altura (MDA) (*Digital Height Models-DHM*) e Modelo Digital do Solo (MDS) (*Digital Ground Model -DGM*), bem como Modelo Digital de Elevação do Terreno (MDET) (*Digital Terrain Elevation Model -DTEM*), os quais revelam a preferência adotada em diferentes países, mas que, na prática, são considerados sinônimos (LI, ZHU GOLD, 2004). Esses autores, ainda distinguem os diferentes significados, coerentemente atribuídos à noção de elevação:

1. Solo (*Ground*): Superfície sólida da terra; a base sólida ou fundação; superfície da terra.
2. Altura (*Height*): Medida da base até o topo; elevação acima do terreno ou acima de um dado nível, como a altura dos mares.
3. Elevação (*Elevation*): Altura acima de um dado nível, especialmente a altura dos mares; altura acima do horizonte, etc.
4. Terreno (*Terrain*): Espaço do terreno de um país delimitado em relação aos seus atributos naturais; extensão do terreno, região, território etc.

De modo que, a partir dessas definições, podemos distinguir diferenças entre MDS, MDA, MDE e MDT. Assim, MDS refere-se à modelagem com dados do solo propriamente dito, sem considerar a altura dos objetos que por ventura possam estar acima dele (a “superfície sólida da terra”). Já os termos “altura” e “elevação” enfatizam a medida do *datum* até o topo de um objeto, ou seja, esses termos, na prática, referem-se a altitude da superfície do terreno propriamente dita. Por outro lado, o significado de “terreno”, no MDT envolve noção mais complexa e abrangente. É que o termo pode incluir, além das noções de elevação e altura, outras variáveis, como por exemplo, aquelas derivadas dos campos geofísicos (magnetometria, radiação gama, gravimetria etc.). Ou seja, a noção de terreno, não está limitada somente à topografia. De fato, especialistas de diversos campos das geociências podem associar outras variáveis (como os mencionados campos geofísicos) aos dados topográficos para construir um MDT que atenda suas necessidades próprias. Em suma a noção de MDT incluem tantos dados topográficos com não topográficos.

De acordo com essas definições, adotou-se neste trabalho o conceito de MDT como a modelagem da superfície do terreno, sem considerar a altura dos objetos que estiverem acima dela (superfície “nua” do terreno). No caso particular do modelo adotado no trabalho (TOPODATA), os dados de elevação referem-se a altitudes

medidas em relação à superfície média dos mares, definidas em um dado elipsoide de referência (altitudes geodésicas).

Assim, Modelos Digitais de Elevação (MDE), são representações tridimensionais (3D), contínuas da superfície terrestre, ou seja, são imagens (rasters) nas quais cada pixel tem associado um valor que representa uma altitude definida num plano geodésico. Tais modelos são utilizados nos SIG para uma série ampla de aplicações que incluem modelagem hidrológica, modelagem de erosão e transporte de sedimentos, delimitação de unidades fisiográficas, estudos de solo e ecologia, estudos geomorfológicos e paisagísticos, várias aplicações em engenharia civil e militar, realce tridimensional de imagens de sensoriamento remoto, além de aplicações em modelagem climática. Os MDE também permitem caracterizar quantitativamente as superfícies da terra, em termos de gradiente de declividade, curvas de nível dentre outros derivativos (WILSON; GALLANT, 2000).

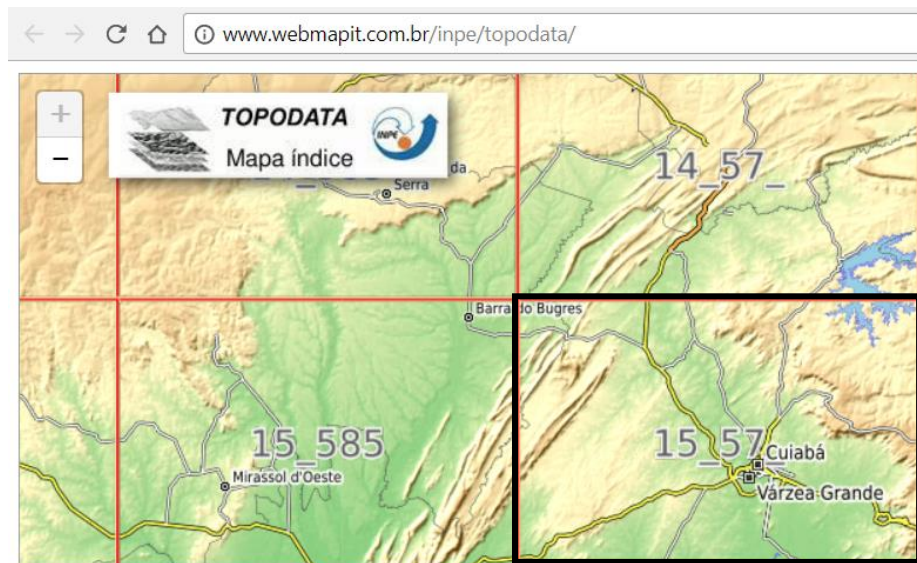
Embora no caso deste trabalho, tanto o MDE como o MDT modelam a mesma variável (altitude), há uma notável diferença entre eles. Conforme referido, no MDE as altitudes são medidas no topo dos objetos que recobrem o terreno, como o dossel da vegetação e as edificações. Já no MDT as altitudes são medidas na chamada superfície “nua” do solo, isto é, sem a interferência da variação de altura dos objetos acima dela.

3.5.2 Modelo de elevação TOPODATA

Em função da disponibilidade dos dados SRTM-90 desde 2003, houve uma popularização do uso de dados topográficos em geoprocessamento no Brasil. Em função desse interesse foi desenvolvido o TOPODATA, um projeto do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) com o objetivo de construção de uma base de dados nacional de elevação e parâmetros morfométricos calculados a partir dos dados originais SRTM-90. Esses dados foram melhorados para uma resolução espacial horizontal de 1”, ou 30 x 30m, por meio de interpolação utilizando o método de krigagem. Com a melhoria da resolução espacial, sem perda de acurácia, e a disponibilidade desses dados na internet, tem ocorrido uma evolução na utilização desses dados em estudos de meio físico (Figura 5) (VALERIANO, 2005; VALERIANO et al., 2009).

Com efeito, o MDE TOPODATA vem sendo efetivamente utilizado em várias e diversificadas aplicações no que se refere a estudos de planejamento urbano, objeto desta pesquisa.

Figura 5 - Exemplo da Folha TOPODATA, em destaque a ZN15_57 que estão inseridas as cidades de Cuiabá e Várzea Grande.

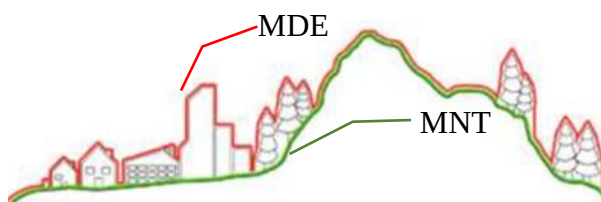


Fonte: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), disponível em: <http://www.webmapit.com.br/inpe/topodata/>.

3.5.3 Conversão MDE para MNT

Conforme mencionado, os MDE derivados do SRTM, modelam a superfície terrestre por meio de interferometria de radares de antena sintética a partir de plataforma orbital. Sendo assim, os dados de altitude não se referem ao nível do solo propriamente dito (“superfície nua do solo”), mas sofre influência da altura dos objetos que se encontram sobre essa superfície, como edificações e a cobertura vegetal (Figura 6).

Figura 6 – Representação do efeito dos objetos sobre o solo causando distorção de altura no MDE e MNT.



Fonte: Disponível em: <https://www.geoimage.com.au/DEMS/dems-overview>.

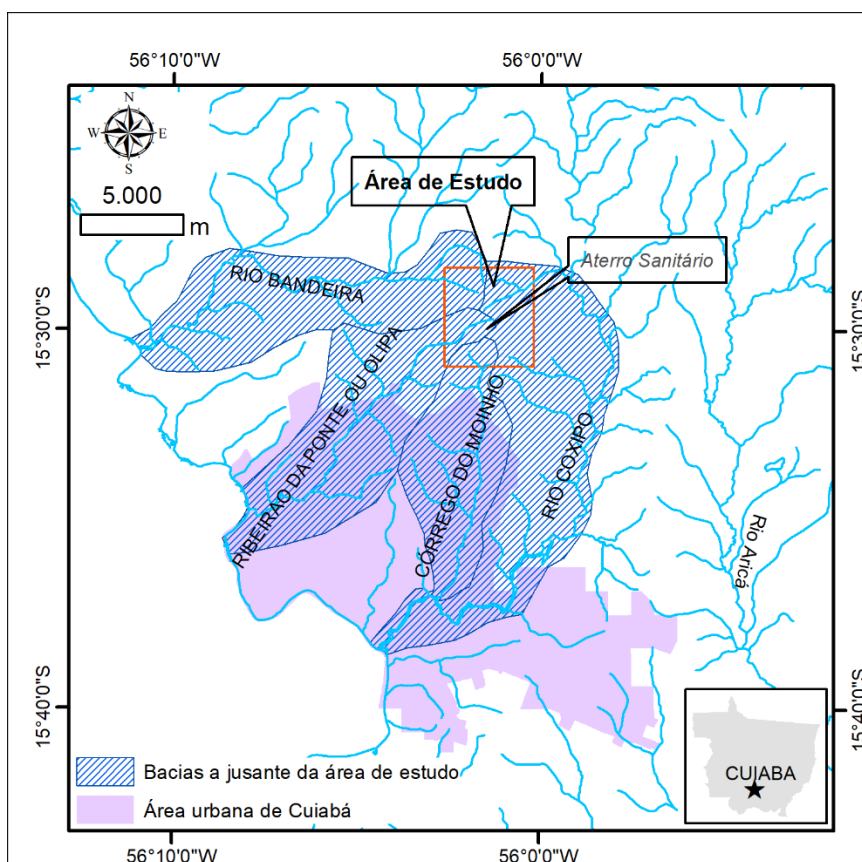
Desse modo, para melhorar a acurácia dos dados derivados do MDE (como, declividade, curva de nível, automatização da extração de rede hidrográfica e delimitação de bacias) torna-se necessário corrigir a influência da cobertura dos objetos que se encontram sobre o solo, e, assim, obter o Modelo Numérico do Terreno (ou Modelo Digital do Terreno), no qual se representa a superfície do solo propriamente dito.

4 CARACTERÍSTICAS GERAIS DA ÁREA

O município de Cuiabá, capital do estado do Mato Grosso, situa-se na região Centro-Oeste do Brasil. Sua extensão territorial é de 3.291,816 Km², com população aproximada de 585.367 habitantes (IBGE, 2016). As coordenadas geográficas correspondentes à localização da cidade são: latitude 15°35'56"S e longitude de 56°06'01"W, com altitudes que variam entre 146 a 250 metros, área relativa a área urbana e seu entorno.

A área estudada está localizada na região periurbana, porção nordeste da cidade de Cuiabá, apresenta extensão de aproximadamente dois mil hectares, situa-se a dois quilômetros do perímetro urbano. Até o momento apresenta baixa intensidade de ocupação, predominantemente na forma de pequenas propriedades rurais e/ou chácaras de lazer, com tendência de expansão de projetos residenciais, como condomínios horizontais e loteamentos que tendem a aumentar a densidade populacional. Trata-se de uma situação típica do contínuo processo de expansão urbana que vem se verificando desde a década de 1960 em Cuiabá. Dentro desse quadro, observa-se que na área de estudo ocorrem situações preocupantes quanto à conservação do meio ambiente, especialmente no que se refere aos recursos hídricos, uma vez que, nessas áreas se encontram nascentes de importantes sub-bacias hidrográficas (Ribeirão do Lipa, Córrego do Moinho, afluentes do Rio Coxipó e Rio Bandeira) que drenam a área urbana a jusante. Além disso, encontra-se instalado nesta área o aterro sanitário da cidade, cuja gestão vem agravando a situação da proteção dos mananciais tanto superficiais quanto subterrâneos (Figura 7). A importância ambiental e de ocupação desta área justificam sua escolha como piloto para o desenvolvimento do presente estudo.

Figura 7 – Mapa de localização da área de estudo com a delimitação das bacias a jusante que drenam a área urbana de Cuiabá.

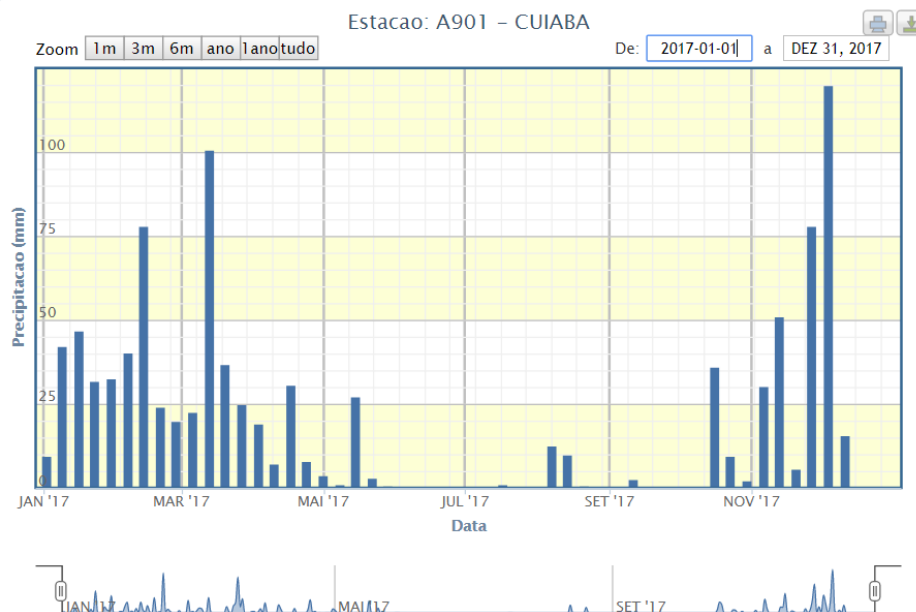


Fonte: Elaborado pela autora.

4.1 CLIMA

Segundo Köppen, o clima regional é do tipo Aw - Tropical Úmido-Semiúmido, com duas estações distintas bem definidas: seca nos meses de abril a outubro e chuvosa nos meses de novembro a março. Sendo assim, o período de maior precipitação é durante o verão, com média de 1500 mm/ano, o que está relacionado com a Zona de Convergência Intertropical, em que a umidade relativa do ar é de 90%. Já no período de estiagem, que está relacionado com o deslocamento da massa equatorial, a umidade relativa do ar é possível atingir 20% (MINSON, 2016). (Figura 8).

Figura 8 - Gráfico de precipitação do ano de 2017 da estação automática de Cuiabá.



Fonte: INMEP – Instituto Nacional de Meteorologia.

4.1 HIDROGRAFIA

O rio Cuiabá, pertence a uma subacia da Região Hidrográfica do Paraguai, conhecida localmente como Bacia do Alto Paraguai (BAP) e possui uma área de drenagem de cerca de 28.732 km² (SEMA, 2009). Esta bacia se divide em quatro unidades geomorfologicamente distintas que compreende o Planalto dos Guimarães, Baixada Cuiabana, Província Serrana e o Pantanal Mato-grossense. (FIGUEIREDO; SALOMÃO, 2009).

A Bacia Hidrográfica do Rio Cuiabá, está quase que completamente inserida no Estado do Mato Grosso, com exceção da sua foz, que faz divisa com o Estado de Mato Grosso do Sul, no Pantanal Mato-grossense. No município de Rosário Oeste -MT, dá-se origem aos cursos d'água sendo: os rios Cuiabá da Larga e Cuiabá do Bonito, que a partir da confluência entre si, é formado o Cuiabazinho, seguindo ao encontro do rio Manso, passa a ser chamado de Rio Cuiabá. (FIGUEIREDO; SALOMÃO, 2009; FEMA, 1995).

Na margem esquerda do rio Cuiabá, o Rio Coxipó, que é um dos seus principais tributários, está inserido na região denominada Baixada Cuiabana, que envolve os municípios de Cuiabá, Várzea Grande, Nossa Senhora do Livramento e Barão de Melgaço. Este rio nasce no Vale da Benção, no município de Chapada dos Guimarães, a 840 metros de altitude e percorre 78 km em perímetro urbano da sua

nascente até sua foz, a qual se encontra a uma altitude de 150 metros (SILVA, 2009). Esta é uma área de recarga de aquíferos de extrema importância ao sistema hídrico por ser o início da planície inundável, abundante em córregos.

4.2 VEGETAÇÃO

Segundo Barros e Cavaleiro (2009), no contexto biogeográfico da bacia do Cuiabá, verifica-se o Domínio Morfoclimático do Cerrado e o Domínio do Complexo do Pantanal, que juntamente com as propriedades do tipo de solo, de relevo, litologias e comportamento hídrico do ambiente, interferem e definem as compartimentações da cobertura vegetal adaptada ao sistema de cada Domínio.

No Domínio dos Cerrados, estes autores citam que a bacia abrange quatro tipos de Cerrados ou Savanas, sendo eles: Campos Limpos (Savana Gramíneo-Lenhosa); Campo Cerrado ou Campos de Murundus (Savana Parque); Cerrado Propriamente Dito (Savana Arborizada *sensu strictu*) e Cerradão (Savana Florestada).

Na área de estudo, denominada Baixada Cuiabana, porção média da bacia, o tipo de ocorrência é a Savana florestada (Cerradão), e tem como característica árvores de troncos grossos com alturas entre 5m e 18m. A composição florística é diversa, tanto com espécies do Cerrado como da Floresta Estacional, como também as espécies exclusivas desta formação com alturas entre 4m a 8m como: muricis (*Byrsonima sp.*), lixeira (*Curatella americana*), oiti (*Licania humilis*), paratudo (*Tabebuia aurea*), pau-santo (*Kielmeyera coriácea*); para estrato arbóreo de 8m a 15m encontra-se: jatobás (*Hymenaea stigonocarpa* e *H. coubaril*), sucupira-branca (*Pterodon pubescens*), sucupira-preta (*Bowdichia vigilioides*), pau-de-sobre (*Emmotum nitens*), carvoeiro (*Sclerolobium paniculatum*), capitão (*Terminalia argentea*), timbó (*Magonia pubescens*), pau-terras (*Qualea gradiflora*, *Q. parviflora*, e *Q. multiflora*), caroba (*Jacaranda cuspidifolia*), pau-de-arara (*Salvertia convallariaeodora*) (BARROS E CAVALHEIRO, 2009).

4.3 GEOLOGIA

4.3.1 Contexto Geológico Regional

O Conde Francis de Castelnau (1857), foi o primeiro a observar ardósias fortemente inclinadas no vale do Rio Miranda -MS, porém Evans (1894), foi o primeiro a registrar a existência de estruturas dobradas na Província Serrana e Baixada Cuiabana. Almeida (1964), reconheceu a unidade geotectônica como uma faixa de dobramentos marginal ao Cráton Amazônico, e propôs a designação Geossinclíneo Paraguai. Ainda Almeida (1965), definiu a faixa geossinclinal como uma propriedade tectônica brasileira, que se estende em direção ao Baixo Tocantins/Araguaia e utilizou pela primeira vez o termo Faixa de Dobramentos Paraguai-Araguaia. Reconheceu ainda três estágios tectono-estratigráficos: inferior, médio e superior, referentes às variações dos processos de sedimentação influenciados pela evolução miogeossinclinal.

Hasui et al, (1980), sugeriram a individualização de duas faixas móveis marginais ao Cráton Amazônico: a leste, a Faixa de Dobramentos Araguaia e a sudoeste a Faixa de Dobramentos Paraguai.

Três zonas estruturais adjacentes na Faixa Paraguai: Brasilides Metamórficas, Brasilides Não-metamórficas e as Coberturas Brasileiras foram identificadas por Almeida (1984) – com direção da polaridade ao Cráton Amazônico a NW. Alvarenga (1988) e Alvarenga e Trompette, (1992) renomeou como Zona Estrutural Interna, Zona Estrutural Externa e Coberturas Sedimentares de Plataforma respectivamente.

Alvarenga (1988, 1990), descreve a Faixa Paraguai como um cinturão de dobramentos polifásicos afetado pelo Ciclo Brasileiro e constituído por metassedimentos dobrados e metamorfizados, que em direção ao Cráton Amazônico passam progressivamente a coberturas sedimentares em parte contemporâneas e estruturalmente onduladas, falhadas, mas não metamorfizadas. Segundo Almeida (1984); Alvarenga 1990; Alvarenga e Trompette, (1993), são características gerais da Faixa Paraguai a forma de um grande arco convexo para o Cráton Amazônico, a intensa deformação linear, presença de falhas inversas e empurrões, dobramento isoclinal e recumbente, escassez de vulcanismo e presença de plutões graníticos em suas zonas internas.

As deformações na Faixa Paraguai descritas por Alvarenga e Trompette (1993), que compreendem D1, D2, D3 e D4 pertencem à Orogênese Brasileira. A

Orogênese principal é a fase D1, ao passo que D2, D3 e D4 representam episódios sucessivos da deformação. A fase D1 é responsável pela penetratividade da clivagem e do metamorfismo com imperceptíveis efeitos na borda do Cráton Amazônico, passando à fácies xisto verde na parte interna da faixa dobrada, o que indica o aumento do esforço compressivo. O desenvolvimento sin-tectônico de minerais micáceos nos planos de clivagem S1, formados em regime compressional, caracterizam um metamorfismo regional epizonal na Faixa, que está associado à deformação D1. Contrariamente à fase D1, as fases D2 e D3 não mostram uma clara evolução regional, já que estão fora da Faixa. A deformação D4, associa-se a amplas dobras de caráter regional, transversais às orientações estruturais de D1, D2 e D3. Esta orientação de D4 coincide com o eixo da sinclinal de Tucavaca, entre Puerto Suarez e San Juan de Lomero, na Bolívia. O fraturamento resultante dessa deformação D4 é sem dúvida tardi-tectônico, provavelmente resultante do resfriamento crustal, pois atinge as rochas graníticas tardi-orogênicas tipo Granito São Vicente (BATALHA; FIGUEREDO, 2013) (Tabela 1).

Tabela 1 - Principais ocorrências das quatro fases de deformação das Orogêneses Brasileiras.

Fase de Deformação	D1		D2	D3	D4	
Domínio Estrutural	Zona Externa	Zona Interna	Zona Interna	Zona Interna	Zona Externa	Zona Interna
Dobra	Dobras abertas simétricas a assimétricas.	Dobras abertas, assimétricas, fechadas, inversas ou isoclinal.	Ausência de dobras claramente associada	Dobras abertas e assimétricas.	Dobras de amplo comprimento de onda, visíveis na escala de mapa.	
Clivagem	Clivagem incipiente de caráter local.	Clivagem de Fluxo penetrativa.	Clivagem de crenulação penetrativa e localizada.	Clivagem de crenulação pouco marcada ou kinks localizada.	Ausência de clivagem, forte ocorrência de fraturamento de plano axial D4.	
Metamorfismo	Anquízonal de caráter local.	Cristalização sin-tectônica de filossilicatos.	Recristalização sin-tectônica de filossilicatos.	Recristalização sin-tectônica e incipiente.	Ausência de recristalização sin-tectônica de filossilicatos.	

Fonte: Alvarenga et al., 1990, modificado de Minson, (2016).

Contexto Geológico Estratigráfico

Luz et al. (1980) discorrem sobre dois tipos de ambientes deposicionais inseridos no Grupo Cuiabá, nas quais compreendem as subunidades 1, 2, 3, 5 e 6 que sugerem ambiente marinho, onde correntes de turbidez e fluxos de lamias foram originados pelas instabilidades tectônicas. Os depósitos de turbiditos apresentam

intercalações de rochas carbonáticas, o que caracteriza os períodos de quiescência tectônica. Demonstra também, que as fácies conglomeráticas seja o produto de fluxo de detritos, ocasionado por correntes de turbidez, sendo o material pelítico resultado dos períodos de quiescência. Luz et al. (1980) sugeriram para as subunidades 4 e 7 um ambiente glácio-marinho, possivelmente associado a grandes massas de gelo flutuantes (Tabela 2).

Tabela 2 - Estratigrafia das oito subunidades do Grupo Cuiabá.

P R É C A M B R I A N O	G R U P O C U I A B Á	Sub Unidades	Litologias	Espessuras (m)
		8	Mármore calcítico e dolomitos, margas e filitos sericiticos.	60
		7	Metaconglomerados petromíticos, com matriz areno-argilosa e clastos de quartzo, quartzitos, fedspatos, calcários, rochas graníticas e básicas com raras intercalações de filitos.	600
		6	Filitos conglomeráticos com matriz areno-argilosa e clastos de quartzitos e filitos, com intercalações subordinadas de metarenitos.	800
		5	Filitos e filitos sericiticos com intercalações subordinadas e lentes de metarenitos, metacósios, quartzitos e metaconglomerados.	350
		4	Metaconglomerados petromíticos, com matriz silte-arenosa e clastos de quartzo, fedspatos, quartzitos, rochas graníticas e básicas com raras intercalações de filitos e metarenitos.	150
		3	Filitos, filitos conglomeráticos, metaconglomerados, metacósios, metarenitos, lentes de metacalcários, além de níveis de hematita no topo.	550
		2	Metarenitos arcossianos, metarenitos calcíferos, metacósios, filitos grafitosos e lentes de mámore calcíferos.	350
		1	Filitos sericiticos cinza-claro com intercalações de metarenitos grafitosos.	300

Fonte: Modificado de Minson, 2016.

Migliorini (2000) realizou uma descrição detalhada do Grupo Cuiabá na região de Cuiabá e Várzea Grande, descrevendo uma sequência de filitos com intercalações de quartzitos, metagrauvacas, metarenitos, metaconglomerados, com raras ocorrências de metacalcários e filitos calcíferos e propondo duas unidades estratigráficas sendo as Formação Rio Coxipó e a Formação Miguel Sutil, de acordo com o regime estrutural, litológico e estratigráfico.

A Formação Rio Coxipó, área de interesse deste trabalho, se refere à subunidade 6 de Luz et al. (1980), sobreposta à Formação Miguel Sutil, demarcados por contatos transicionais e tectônicos, seus afloramentos se concentram na porção sul dos municípios de Cuiabá. Migliorini (2000) individualiza as litologias dominadas em (Tabela 3).

Unidade I – Litofácies dos metadiamicctitos com matriz argilosa: São metadiamicctitos maciços, de cor cinza esverdeados a amarelados, com matriz argilo-siltosa micácea, em parte feldspática. Apresenta camadas tabulares com lentes de metarenitos quartzosos de granulação fina a média, cor esbranquiçada, com estratificações plano-paralelas e maciças, ocorrem intercaladas aos metadiamicctitos.

Unidade II – Litofácies dos metadiamicctitos com matriz arenosa, sua maior ocorrência está localizada na região do Parque Industrial e no bairro Pascoal Ramos, no município de Cuiabá. Representa o topo da Formação Rio Coxipó. É composto por metadiamicctitos maciços, de matriz arenosa, raramente silto-argilosa, com dimensão e composição heterogênea. Sua matriz caracteriza-se por uma areia grossa a média, principalmente, de composição quartzosa (MINSON, 2016).

Tabela 3 - Estratigrafia das Formação Rio Coxipó e Miguel Sutil dos Grupo Cuiabá.

Era	Grupo	Formação	Litologias
Neoproterozóico	Cuiabá	Rio Coxipó	Litofácies Metadiamicctito de matriz argilosa.
			Litofácies Metadiamicctito de matriz renosa.
			Litofácies Pelítica Laminada Plano-paralela.
		Miguel Sutil	Litofácies Argilo-areno-conglomerática.

Fonte: Modificado de Minson (2016).

A Formação Miguel Sutil, se refere à subunidade 5 de Luz et al. (1980), está localizada na região central e norte das cidades de Cuiabá e Várzea Grande. Migliorini (2000) individualizou dois conjuntos faciográficos com base nas estruturas sedimentares e na constituição litológica dominante, quais sejam:

Unidade IV - Litofácies pelítica com laminação plano-paralela: Compreendem por metargilitos ou filitos de cor cinza esverdeada a marrom avermelhada, comum serem sericíticos. As laminações plano-paralelas apresentam-se de centimétricas a milimétricas. As intercalações de camadas de arenitos finos a médios, de cor branca a

róseos, principalmente quartzosos, estão em contatos abruptos com os pelitos laminados ou maciços.

Unidade V – Litofácies argilo-areno-conglomerática: Compreendem os ritmitos granodecrescentes. As lentes ocorrem em proporções métricas a quilométricas, apresentam contato abrupto e irregular com a litofácies pelítica, normalmente há ocorrência de fragmentos de filitos que constituem níveis conglomeráticos da base.

4.4 HIDROGEOLOGIA

O controle hidrogeológico de detalhe relacionado a região da Baixada Cuiabana, foi realizado por Migliorini (1999). O mapeamento geológico caracteriza a litologia e o arranjo estrutural do substrato metamórfico de baixo grau dos metassedimentos que compõem Grupo Cuiabá. Esse material do substrato rochoso dá origem a dois sistemas de aquíferos: do tipo livre e poroso no manto de alteração. E do tipo fraturado, em maior profundidade (FIGUEIREDO; SALOMÃO, 2009).

Geologicamente, compreendem litologias metamórficas inseridas no Grupo Cuiabá, sendo filitos com lentes de meta-arenito. Estas rochas apresentam veios de quartzo locais e constituem um aquífero fissural de baixa potencialidade hídrica, característica dos aquíferos do Grupo Cuiabá. A cobertura é formada principalmente por solos areno-argilosos com elevado teor de argila. Em alguns pontos, especialmente nas partes mais elevadas, o solo é recoberto por material aluvionar.

4.5 GEOMORFOLOGIA

Segundo Castro Jr.; Salomão; Bordest (2006), a geomorfologia da região de Cuiabá e Várzea Grande abrange três unidades morfoestruturais brasileiras: a Bacia Sedimentar do Paraná; a Faixa de Dobramentos Paraguai-Araguaia; e a Bacia Sedimentar do Pantanal. Sob forte influência do clima regional, essas morfoestruturas geraram unidades geomorfológicas denominadas Planalto dos Guimarães, com altitudes de 800 metros; a Depressão Cuiabana, com altitudes de 150 a 300 metros; e o Pantanal Mato-grossense, planície inundável.

O Planalto dos Guimarães se distingue em duas unidades morfológicas: Chapada dos Guimarães com suas superfícies conservadas a suavemente dissecadas

com pequena amplitude, denominadas como Chapada, Colinas Amplas e Patamar. Outras características morfológicas que ocorrem são relevos com média a forte dissecação, amplitude média e declividade média a alta, com a presença de fundo de vales e com córregos e cachoeiras (SIG CUIABÁ, 2006).

As três unidades morfológicas que se destacam na Depressão Cuiabana são regiões com dissecação média a forte, de amplitude média denominada Depressão Dissecada, constituída por formas dissecadas em colinas, morrotes e morros. A segunda unidade morfológica apresenta formas de relevo com suave dissecação, sua amplitude é baixa, bem como a declividade e a densidade de drenagem e amplos interflúvios, denominada Depressão Pediplanada, áreas plana em forma de rampas com a presença de raros inselbergs. A terceira unidade morfológica é de origem agradacional, na qual é representada pela planície de inundação do Rio Cuiabá (SIG CUIABÁ, 2006).

O Pantanal Mato-grossense é identificado como uma única unidade morfológica denominada Planícies Fluviais, sendo possível separá-las em três unidades de relevo agradacional, denominadas Planície Fluvial, Planície Aluvionar Meandriforme e Leque Aluvial.

Na área de estudo, a unidade morfológica de maior abrangência é a Depressão dissecada, descrita por Castro Jr; Salomão; Bordest (2006), onde ocorrem formas de relevo com dissecação média a forte, amplitude pequena a média e sua declividade é descrita como média a alta, formam colinas médias, morrotes e morros com lineamentos e cristas de quartzitos com direção SW-NE.

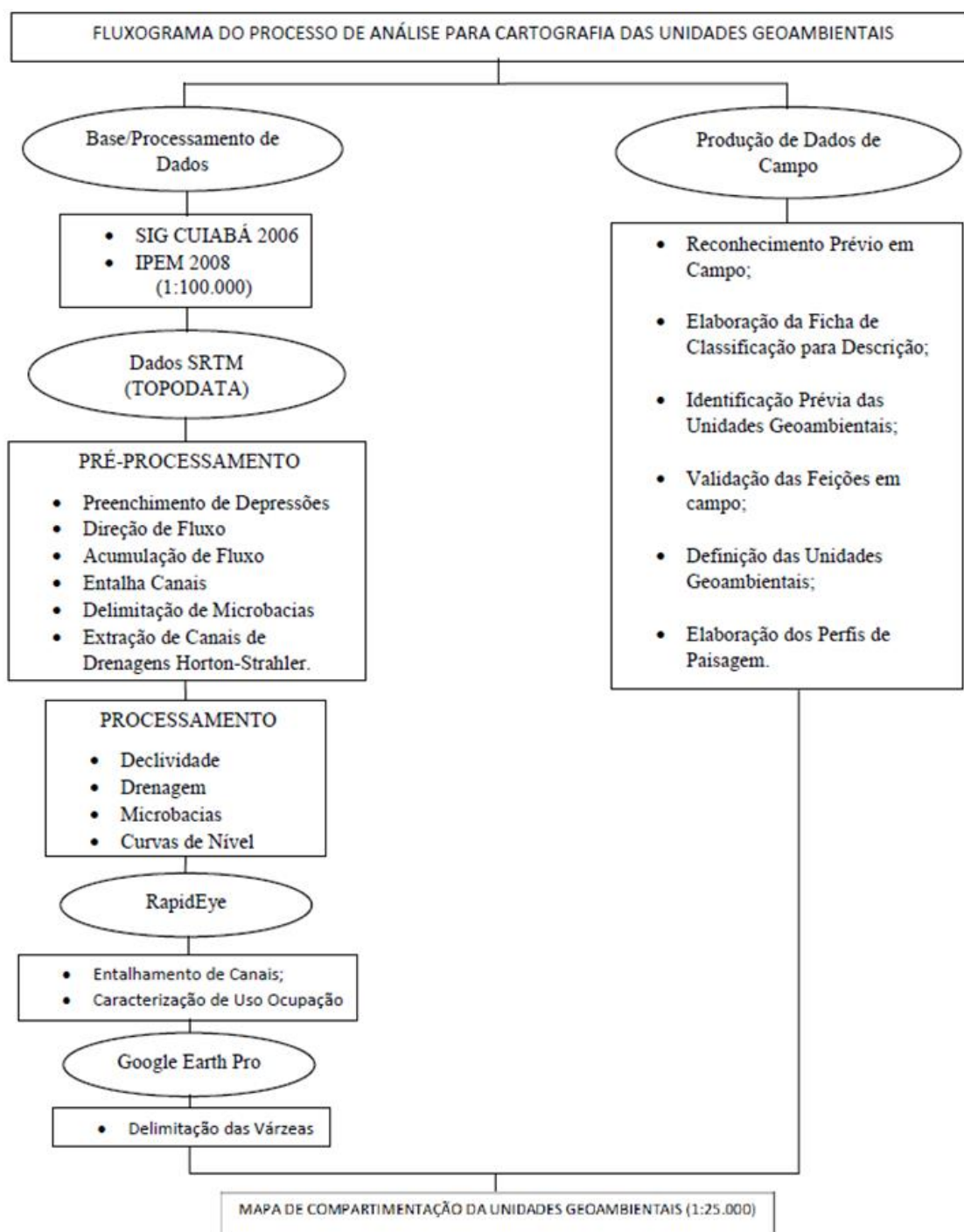
Observa-se também na área de estudo, a Depressão Pediplanada que tem seus relevos planos, com rampas de rasa espessura constituída por material areno-argiloso com cascalhos de quartzitos e laterita, o nível freático é elevado. Os sedimentos são oriundos de pediplanação ocorrida em paleoclima semi-árido, provavelmente no início do Quaternário. (CASTRO JR; SALOMÃO; BORDEST, 2006).

5 MATERIAL E MÉTODOS

Para a elaboração do mapeamento das unidades geoambientais e delimitação automatizada das microbacias hidrográficas, foram utilizadas: a) Imagens de sensoriamento remoto orbital (Imagem RapidEye), b) Imagem de Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT) para detalhamento na área do aterro sanitário de Cuiabá, c) Dados do Modelo Digital de Elevação (MDE) TOPODATA (cartas temáticas pré-existente (SIG-Cuiabá). Esses dados foram processados e analisados em ambiente de Sistemas de Informações Geográficas (SIG). Essa tecnologia, aliada a dados de levantamentos em campo permitiu a identificação e cartografia das unidades geoambientais apresentadas neste trabalho, em escala de detalhe compatível com 1:25.000.

Sendo assim, para melhor compreensão da metodologia aplicada foi elaborado um fluxograma (Figura 9), o qual mostra as etapas deste estudo. É importante observar que, mesmo com uma base de dados e uma metodologia para o processamento em ambiente de Sistema Informações Geográficas (SIG), foi indispensável a coleta/produção de dados de campo para a elaboração do produto final, e assim, obter melhores resultados, como também, validar o trabalho cartográfico.

Figura 9 - Fluxograma do estudo realizado.



5.1 BASE DE DADOS

5.1.1 Pré-processamento MDE

As etapas de pré-processamento e processamento do MDE ocorreram utilizando-se o SIG Whitebox GAT 3.4 (LINDSAY, 2016), que é um sistema de código aberto que utiliza a linguagem Java. Os principais objetivos do pré-processamento foram corrigir erros para geração de um MDE para obtenção de um modelo hidrologicamente consistente e, em seguida, transformar o MDE em MNT por meio da correção das distorções provocadas pelas diferenças de altura entre a superfície do terreno e a cobertura vegetal da área de estudo.

A. Preenchimento de depressões: foi utilizado o algoritmo Rompe Depressões (*Breach Depressions*) do Whitebox GAT 3.4, (LINDSAY, 2016), o qual foi utilizado para remover as depressões topográficas e reservatórios de água com objetivo de ajustar o MDE a um modelo hidrologicamente consistente, ou seja, garantindo um fluxo contínuo consistente com a rede hidrológica.

B. Direção de Fluxo: O algoritmo utilizado foi o Direção de Fluxo D8 (*Flow Direction*) do Whitebox GAT 3.4, que gera uma grade de ponteiros de fluxo simples no MDE corrigido anteriormente, e assim, remove as depressões não reais e áreas planas do modelo.

C. Acumulação de Fluxo: O algoritmo utilizado para este recurso é o Acumulação de Fluxo FD8 (*Flow Accumulation*) do Whitebox GAT 3.4, que gera uma grade de acumulação de fluxo compreendida pela área de contribuição. O fluxo que entra em cada pixel na grade é conduzido do vizinho originário, o que permite um afastamento progressivo de fluxo. É necessário o usuário indicar o MDE corrigido hidrologicamente como entrada. Um valor importante a ser especificado é o número que controla o grau de dispersão na grade de acumulação, valor baixo gera maior dispersão de fluxo, embora, este ajuste dependa da paisagem trabalhada. E para acumulação de fluxo como saída há três opções: 1- Área de captação específica (SCA); 2 - Área de captação total em metros quadrados ou 3 - número das células da grade de alta velocidade. É importante especificar aqui, se a grade de acumulação de fluxo dever ser log-transformada, caso esta opção seja selecionada será o logaritmo natural da área acumulada, o que melhora a visualização e a distribuição da área contributiva.

D. Transformação do DEM TOPODATA em MNT através da técnica do entalhamento de canais (*Stream Burning*). Foi feita a correção da distorção de altura por meio de entalhamento de canais do Whitebox GAT 3.4. Utilizou-se para determinação de direção e do fluxo o algoritmo (*Flow Direction*) do Whitebox.

5.1.2 Processamento do MNT

Nesta etapa foi analisado o MNT gerado após as correções da etapa anterior. Os objetivos foram:

A. Delimitar as áreas de captação das microbacias hidrográficas. O algoritmo utilizado para esta identificação foi o *Watershed Tools* > (Sub Bacias) do Whitebox GAT 3.4. É necessário especificar um raster de direção de fluxo (*Flow Direction*). A ferramenta atribui um identificador de *link* de fluxo em uma rede de bacias hidrográficas.

B. Extrair a rede de drenagem e codificação da hierarquia dos canais de drenagem de segunda ordem de Strahler. O algoritmo utilizado para esta função é *Watershed Tools* > (Ordem de bacias de Strahler) do Whitebox GAT 3.4. A ferramenta identifica as áreas de captação de cada *link* de ordem de fluxo Horton-Strahler da rede de bacias hidrográficas. É necessário especificar o (*Flow Direction*), um raster de fluxo e o raster de saída, e assim, executar a operação de *Horton-Strahler Stream Order* seguida por uma operação de divisão de águas.

A preparação do MNT para a elaboração da declividade do terreno mostra a relação existente entre o desnível topográfico baseado entre pixels vizinhos (VALERIANO, 2008). Esta é uma ferramenta de suma importância para orientar ações ao planejamento territorial. Para estes procedimentos foi utilizado o software ARCGIS versão 10.4 (versão gratuita), descritos a seguir:

A- Gerar a declividade e classificá-la de acordo com as classes propostas por (EMBRAPA, 2006). A ferramenta utilizada foi o *Slope*, disponível nas chaves em sequência: *ArcToolbox* > *Spatial Analyst Tools* > *Surface* > *Slope*. Em primeiro lugar é importante definir se o cálculo da declividade será em graus (*Degree*) ou em porcentagem (*Percent_Rise*). Definida a opção em graus, o arquivo matricial de entrada poderá estar em coordenadas geográficas, como também, coordenadas planas. Já para a opção de cálculo em porcentagem, o arquivo de entrada deverá estar no sistema de coordenadas planas, ou não gerará imagem (OLIVEIRA, 2017). Para este trabalho, o

cálculo foi gerado em porcentagem. Em seguida, foi feita a reclassificação de acordo com as classes da (EMBRAPA, 2006) (Tabela 4), como mostra a sequência das chaves *Spatial Analyst Tools > Reclass > Reclassify*.

Tabela 4 - Tabela de classificação proposta pela (EMBRAPA, 2006).

EMBRAPA (2006)	
Relevo	Faixa (%)
Plano	0 a 3
Suave	3 a 8
Ondulado	8 a 20
Forte Ondulado	20 a 45
Montanhoso	45 a 75
Escarpado	> 75

Fonte: Adaptado de (EMBRAPA, 2006).

B. Gerar a tabulação cruzada entre dois conjuntos de dados, no caso, os valores da declividade com os dados das microbacias. A ferramenta utilizada foi o *Tabulate Area*, disponível nas chaves em sequência: *Spatial Analyst Tools > Zonal > Tabulate Area*.

C. Aplicar o *Join Table* relacionando a tabela de atributos das microbacias com a tabulação cruzada descrita anteriormente. A sequência dos algoritmos utilizados foram: *Open Attribute Table > Joins and Relates > Join Data*. O importante aqui é identificar através de uma coluna comum, como por exemplo, o Id (identificação) que corresponde a chave primária para fazer o *link* entre tabelas. Concluído o cruzamento de dados, a tabela poderá ser exportada para o Excel.

D. Realçar a forma de relevo arrasado da região por meio da aplicação de um algoritmo de análise do desvio da diferença de altitude em relação à média encontrada numa vizinhança de oito pixels.

5.1.3 RapidEye

Utilizou-se imagem de sensoriamento remoto orbital (Imagem RapidEye) pela ampla possibilidade de identificação da cobertura de solo, vegetação e do uso e ocupação. Destaca-se especialmente a identificação de reservatórios e das fitofisionomias locais que foram importantes para a caracterização das subunidades geoambientais.

Observa-se que essa imagem faz parte do recobrimento completo de todo o território nacional adquirido pelo Governo Federal do Brasil. Órgãos públicos federais e estaduais podem utilizá-la em vários tipos de aplicações, principalmente ambientais, por meio de uma licença especial.

A imagem RapidEye apresenta tamanho de pixel de 5m x 5m e cinco bandas espectrais: Azul 440 – 510 (nm); Verde 520 – 590 (nm); Vermelho 630 – 685 (nm); *Red Edge*: 690 – 730 (nm); infravermelho próximo: 760 – 850 (nm). A resolução temporal é de cinco em cinco dias para imagem obtida à nadir, que foi usada para este trabalho. O nível de correção para essa imagem foi o 3A, que corresponde ao produto ortorretificado. Essas imagens são orientadas para o norte e formatadas em cenas (*tiles*) de 25 km².

A banda *Red Edge* tem aplicação importante na capacidade de distinção espectral para vegetação seca e verde, como também para distinguir áreas de solos expostos, motivo pelos quais o Ministério do Meio Ambiente a adotou para o Brasil (TEIXEIRA, 2013).

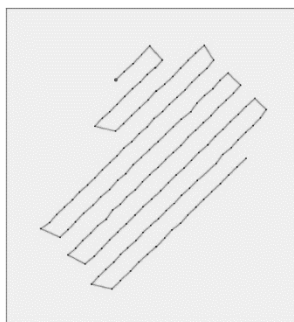
Neste trabalho foi utilizada a cena 2131919 de 06 de agosto de 2014.

5.1.4 Veículo Aéreo Não Tripulado – VANT

Foi utilizada uma imagem de VANT para detalhamento na área do aterro sanitário, visando identificar feições de pequeno tamanho como, sulcos e ravinamentos, vazamento de chorume, desmoronamento de taludes, tanques e dispersão de chorume.

Para execução do plano de voo (Figura 10), foi necessário um planejamento prévio da área, e assim, assegurar a precisão da obtenção dos dados.

Figura 10 - Vista superior do traçado de voo.



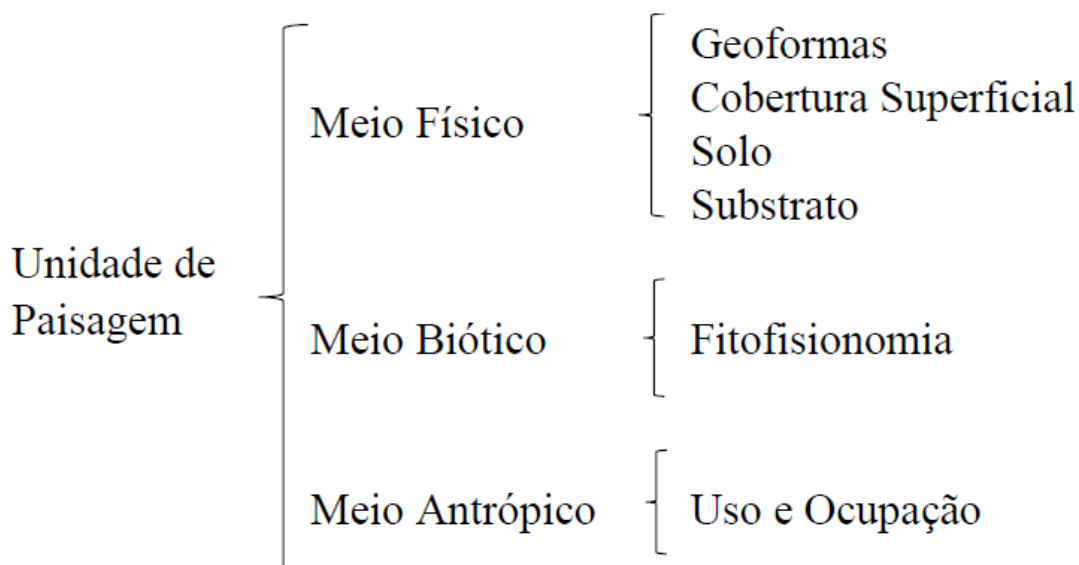
Fonte: (MENDONÇA, 2018)

O equipamento utilizado para este levantamento foi o VANT eBee da marca Sensefly, com uma câmera digital Canon, modelo IXUS 127 HS. O georreferenciamento utilizou o sistema GNSS Geodésico. A ortorretificação do MNT obtido baseou-se em pontos de controle previamente estabelecidos no campo, cujas coordenadas x, y e z foram obtidas com GPS geodésico Montana 680 Garmin. As imagens foram processadas com software Emotion 2, e Pix4D para mosaicagem.

5.2 LEVANTAMENTO EM CAMPO

Para consolidação das informações já levantadas em gabinete, foram realizadas as visitas a campo. Nessa etapa foi elaborada uma ficha (Apêndice A), adaptada ao ambiente a ser detalhado, visando sistematizar o mapeamento baseado na chave de classificação (Figura 11).

Figura 11 – Chave de classificação para descrição das unidades geoambientais.



Fonte: Elaborado pela autora.

5.2.1 Classificação da Paisagem

A unidade de paisagem é constituída pelos meios físicos, bióticos, como também, pelas ações antrópicas que nelas ocorrem. No meio físico caracterizou-se as geoformas: residual, erosional ou deposicional que, de acordo com a sua formação, foram definidos os setores: que são as cristas, superfícies tabulares, rampas, vales ou

várzeas, objetos de detalhamento desse trabalho. Observou-se aqui características como sua forma, simetria ou assimetria, declividade, comprimento e profundidade. Na cobertura superficial foram observadas a espessura e a constituição do material como: grau de arredondamento e esfericidade dos grãos, o tipo de rocha e sua mineralogia, a granulometria, se está consolidada ou não e, sua relação entre a porosidade e a permeabilidade. O item solo especifica a espessura, bem como, os tipos de horizontes como: ocorrência de plintita, horizontes iluviais, orgânicos e gleização. Como última análise do meio físico, a caracterização do substrato é o grau de intemperismo, litologia, mineralogia, cor e estratificações presentes ou não. No meio biótico, foi observado o tipo de vegetação presente na área. Por último, é analisado o uso e ocupação da área.

5.2.2 Etapas em Campo

Pré-campo: Foram impressas imagens do MNT com curva de nível, rede de drenagem, bem como, carta imagem do RapidEye para subsidiar o primeiro levantamento em campo realizado em maio de 2017. Serviram de subsídios também os mapas temáticos do SIG Cuiabá, principalmente o mapa de unidades geoambientais, as quais buscou-se detalhar neste trabalho. Foram elaboradas fichas para levantamento *in loco* das propriedades das subunidades geoambientais (formas de relevo, sistema de drenagem, cobertura superficial, solo, cobertura vegetal, substrato litológico e uso e ocupação).

Campo: Foram realizadas em duas etapas. A primeira permitiu visualizar a modelagem geral da paisagem, seus compartimentos e subcompartimentos. Esses dados foram sintetizados em um perfil genérico com a classificação dos sistemas de relevos, os quais, serviram de base para a identificação das unidades geoambientais.

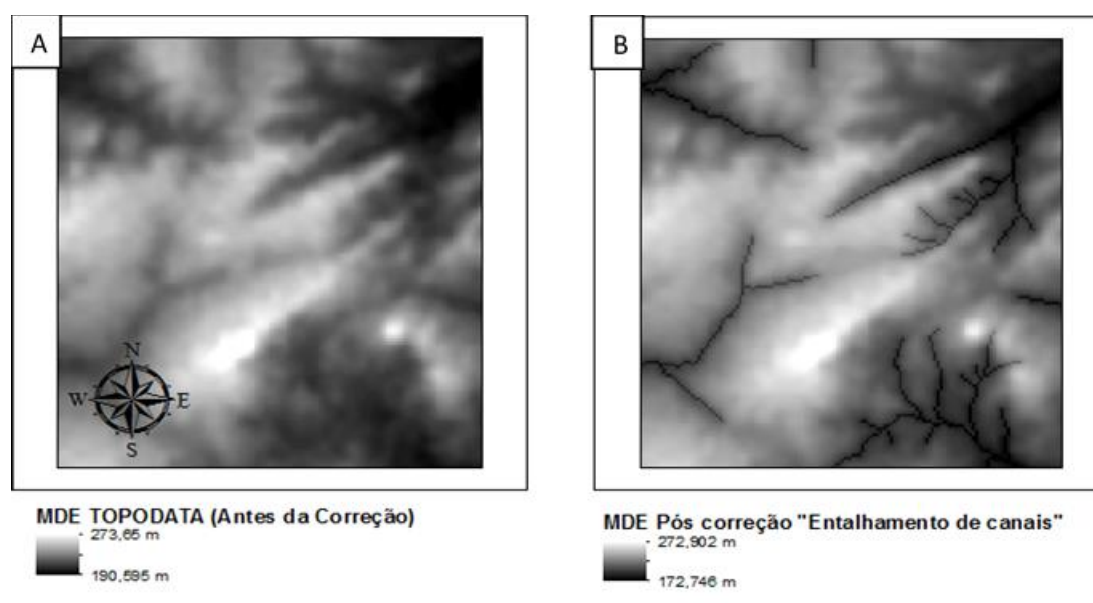
A segunda etapa, realizada em janeiro de 2018, foi necessária para a validação da cartografia prévia das unidades geoambientais, conforme a análise do MNT (pré-campo).

Pós-campo: Nesta etapa foi consolidado o mapa de unidade geoambiental da área de estudos e elaborada a tabela com a síntese das descrições, limitações, potencialidades e recomendações de cada unidade.

5.3 IDENTIFICAÇÃO DAS UNIDADES GEOAMBIENTAIS NO MODELO NUMÉRICO DO TERRENO OBTIDO DOS DADOS TOPODATA

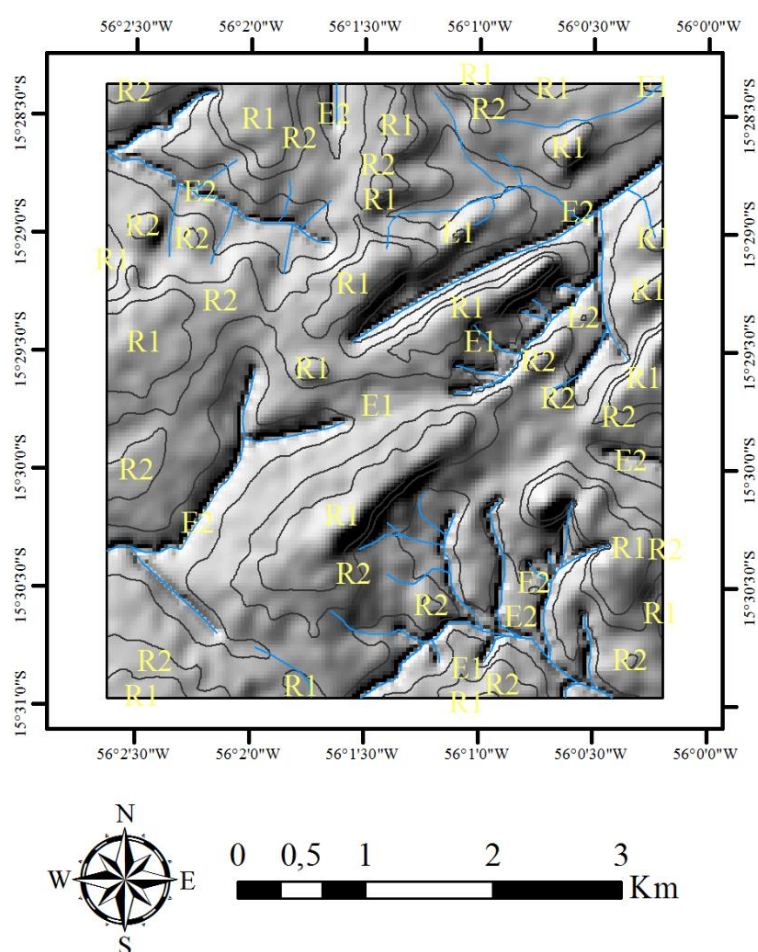
A seguir, é apresentado a correção do MDE TOPODATA para obtenção do MNT (Figura 12), ou seja, a minimização da distorção produzida pela cobertura vegetal no TOPODATA é utilizada para a identificação e cartografia das unidades geoambientais. Para este fim, foi utilizado o algoritmo de entalhamento de canais (Figura 12 B), disponibilizado pelo WHITEBOX GAT 3.4. Este algoritmo produz um rebaixamento geral da topografia do terreno. Neste caso, foi utilizado a profundidade de 10m, considerada como altura média das árvores do cerrado da área de estudo. Os canais de drenagem foram obtidos por meio da interpretação visual da imagem RapidEye. Esse passo foi necessário devido à baixa resolução dos mapas hidrográficos existentes que, por estarem na escala 1:100.000 apresentavam baixa densidade de canais de drenagem insuficientes para produzir o efeito desejado (Figura 12 A), ou seja, produzir uma cartografia de detalhe compatível a 1:25.000.

Figura 12 – Imagem TOPODATA antes da correção (A) e após a correção de entalhamento de canais no Whitebox (B).



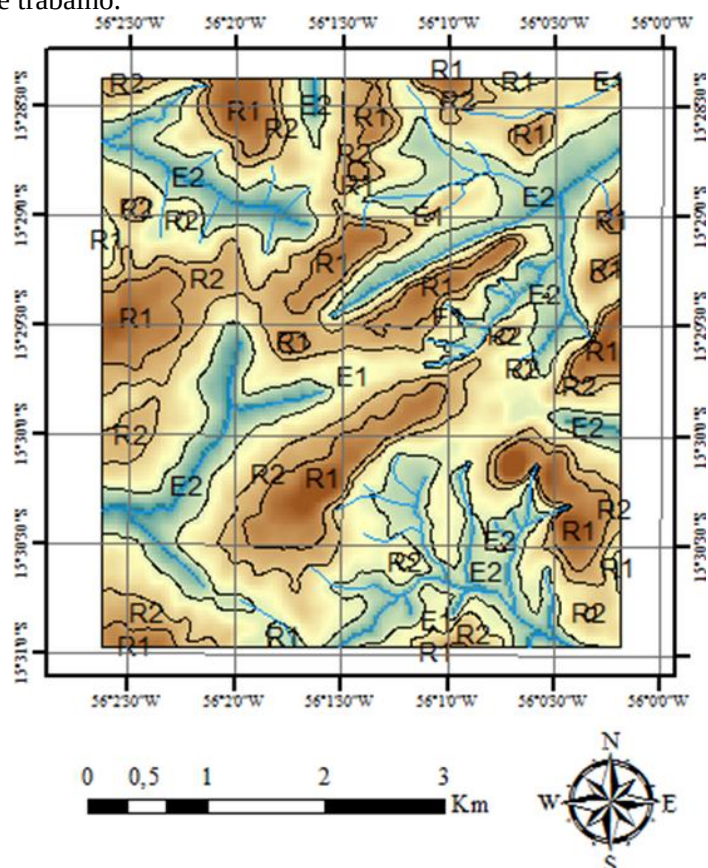
Outro efeito do algoritmo foi realçar a topografia da área de estudo (Figura 13), que foi de fundamental importância para visualizar as unidades cartografadas. Com aplicação adicional do filtro do desvio em relação às altitudes médias (Figura 14), houve o realce dos vales, apesar do fraco entalhamento deles, além de destacar as estruturas de cristas, como também, as superfícies tabulares e as rampas. De modo que a estrutura geral da paisagem fica caracterizada pelas superfícies com suaves inclinações que ligam bordas de vales às formas residuais (morrotes e tabuleiros).

Figura 13 - Imagem sombreada do MNT após aplicação do algoritmo de entalhamento de canais.



Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 14 - Filtro do desvio em relação a altitude média realçando as unidades geoambientais identificadas neste trabalho.



Fonte: Elaborado pela autora.

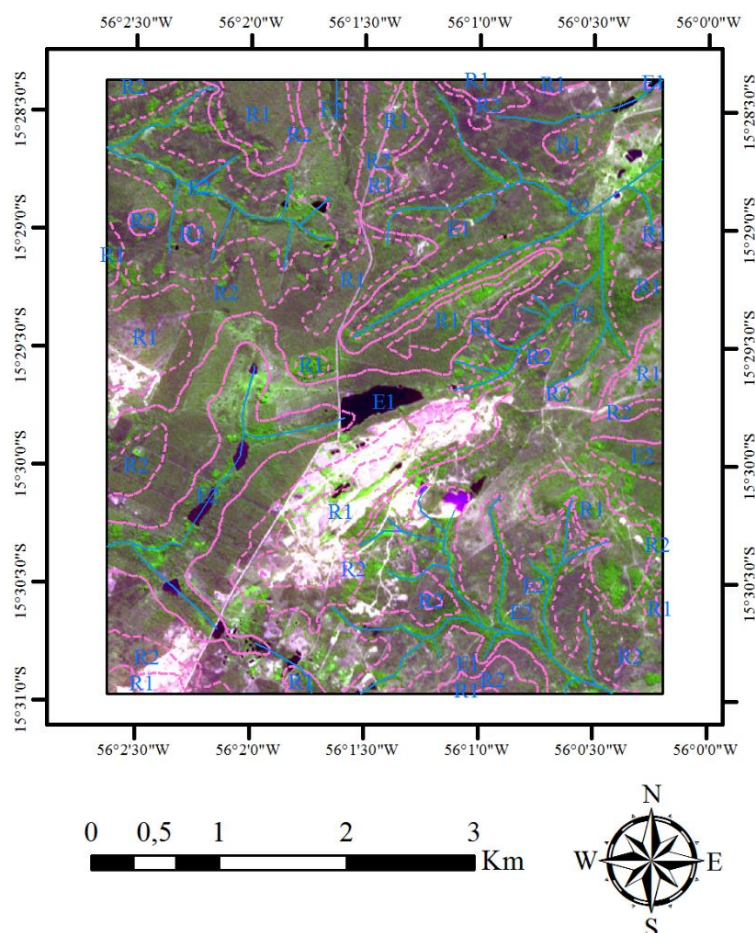
5.3.1 Visualização das unidades geoambientais na imagem RapidEye.

A imagem RapidEye (Figura 15), foi utilizada como um dado auxiliar para identificar a rede hidrográfica detalhada conforme descrito no item anterior, bem como, para caracterizar as formas de uso e cobertura vegetal. A utilidade da imagem em relação a identificação das formas de relevo, foi limitada devido ao arrasamento topográfico da área de estudo. O nivelamento topográfico não permite o destaque do modelado das formas de relevo, o qual normalmente é obtido pelo sombreamento em imagens ópticas. Este fato inclusive mostra a vantagem da utilização do MDE derivado de imagem de radar em terrenos arrasados, caso do TOPODATA, utilizado neste estudo.

Entretanto, essa imagem foi de fundamental importância para identificação dos reservatórios de água da área. Observou-se que esses reservatórios estão espacialmente associados aos vales. Em campo, foi constatado que esses corpos hídricos são construídos por escavações dos sedimentos das várzeas existentes nos vales. As escavações atingem também a parte superior dos saprolitos sotopostos, permitindo

acumulação de água subsuperficial e/ou pluvial. Esses reservatórios são utilizados para dessedentação de animais domésticos, bem como para criação de peixes. Essa forma de uso pode afetar os regimes hídricos dos rios, principalmente pela perenização. Os reservatórios localizados a jusante do aterro sanitário (córrego do Moinho, Ribeirão do Lipa, Três Barras e vários afluentes da margem direita do Rio Coxipó do Ouro) podem receber a poluição e/ou contaminação proveniente do mesmo.

Figura 15 – Delimitação das unidades geoambientais na imagem RapidEye (Composição colorida R4G5B3).



Fonte: Elaborado pela autora.

5.3.2 Identificação e caracterização das unidades geoambientais

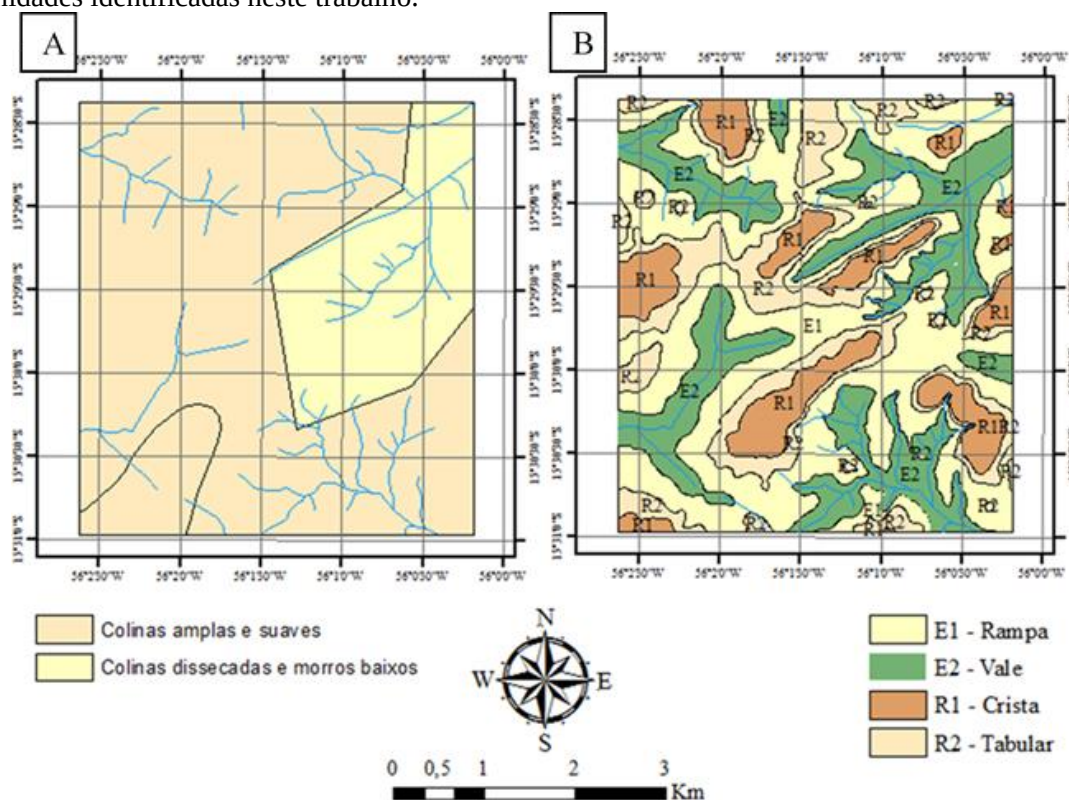
Conforme referido no capítulo 2, o principal objetivo deste trabalho foi produzir um detalhamento das unidades geoambientais previamente identificadas, pelo SIG Cuiabá realizado em escala 1:100.000.

Com base na metodologia foi possível alcançar esse objetivo conforme demonstrado na figura 15, na qual se compara as unidades do SIG Cuiabá com as

cartografadas no presente trabalho. Com efeito, o SIG Cuiabá identificou duas unidades na área de estudo: Colinas amplas e suaves (CMC) e Colinas dissecadas em morros baixos (SUP DISS) (Figura 16A). Já no presente, trabalho foi possível identificar cinco unidades geoambientais: Morrotes Assimétricos Alinhados (R1), Superfícies Tabulares (R2), Rampas (E1), Vales (E2) e Várzeas (D1) (Figura 16B).

Em relação às várzeas, é preciso observar que tanto o MNT quanto a imagem RapidEye, se revelaram inadequadas para a identificação dessa importante unidade. Este fato se deve ao tamanho relativamente pequeno das várzeas quando comparadas com as demais unidades, ou seja, trata-se basicamente de um problema de resolução espacial dos produtos de sensoriamento remoto utilizados. O TOPODATA, tem um tamanho de pixel de 30m x 30m, enquanto que na RapidEye estes são de 5m x 5m. Conforme observado em campo, as várzeas são de tamanho restrito, variando em torno de 50m de largura. Com essas dimensões as várzeas não puderam ser caracterizadas por nessas imagens. Por isso, utilizou-se imagens do GOOGLE EARTH, as quais permitiram a identificação visual e a delimitação dessas unidades. Sendo assim, a unidade de Várzeas (D1) não pode ser representada como polígono nas figuras: 16B, (Figuras 16A e 16B).

Figura 16 – Comparação entre mapa de unidades geoambientais do SIG Cuiabá com as unidades identificadas neste trabalho.



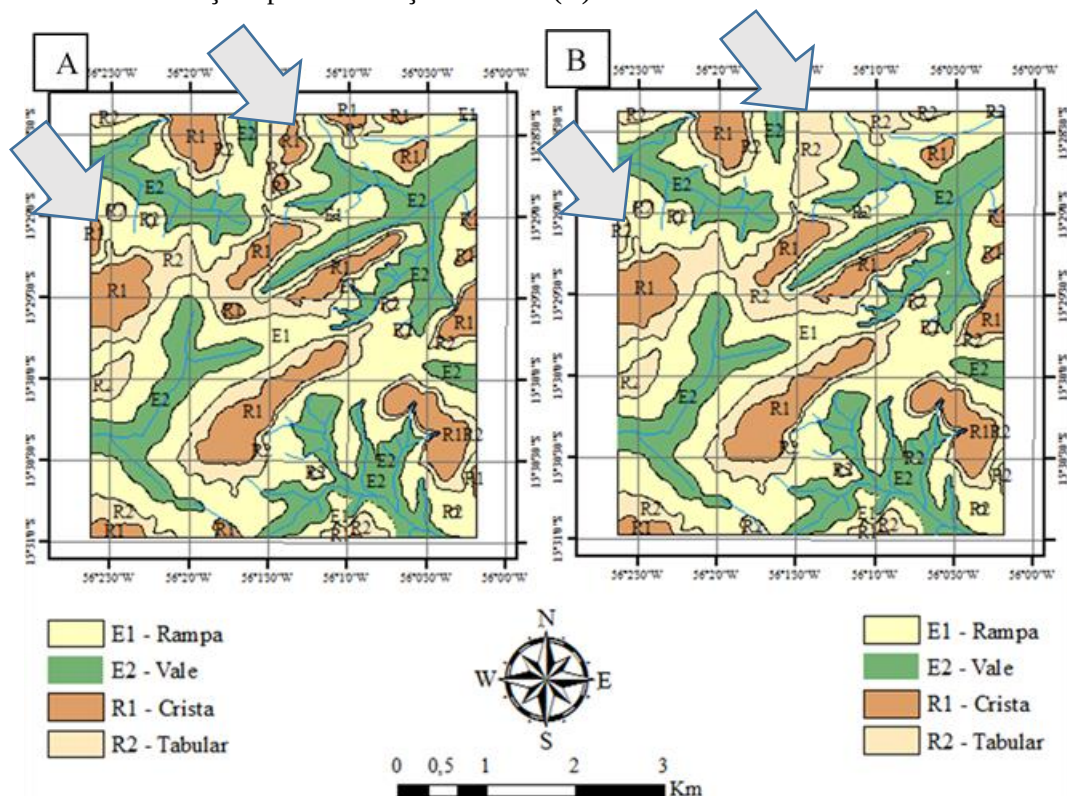
Fonte: SIG CUIABÁ (2006) (A) e elaborado pela autora (B).

5.3.3 Validação das unidades geoambientais em campo.

Após da identificação das unidades por processamento do MNT descrito anteriormente, foi realizada uma investigação em campo para checar a acurácia da cartografia e validá-la.

Este levantamento ocorreu de forma sistemática. Seguindo o procedimento, foi elaborada uma ficha (Apêndice A), para sistematização das observações em cada compartimento paisagístico. Na figura 17A, apresenta-se o mapa das unidades geoambientais antes da validação em campo. Na figura 17B, apresenta-se o resultado após os levantamentos em campo. Observa-se pouca mudança na delimitação das categorias mapeadas, o que confirmou a aplicabilidade do método de processamento do TOPODATA. As mudanças foram basicamente provocadas pela cobertura vegetal que, mesmo após a aplicação do algoritmo de entalhamento de canais, alguns capões haviam sido confundidos com cristas, quando na verdade tratavam-se de Superfícies Tabulares (R2).

Figura 17 - Imagem gerada em gabinete por processamento (A). Imagem gerada após campo com devidas correções por observações in loco (B).



Fonte: Elaborado pela autora.

5.4 CLASSIFICAÇÃO E HIERARQUIZAÇÃO DAS UNIDADES GEOAMBIENTAIS

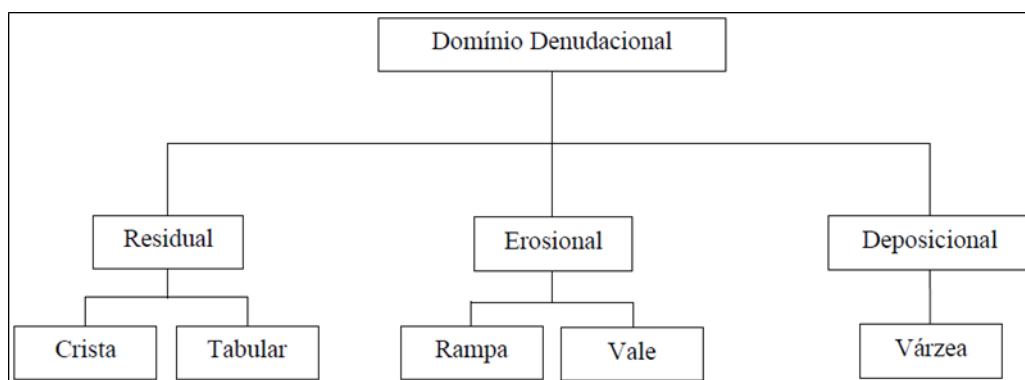
Para o mapeamento das unidades de paisagem, foi elaborada uma chave classificatória (Figura 18). Essa proposta de classificação está compatível com o sistema de taxonomia de mapeamento geomorfológico sistemático em múltiplas escalas proposto por Ross (1982). Assim, na figura 18 observa-se o enquadramento da área nas múltiplas escalas de mapeamento. A começar pela escala 1:1.000.000, no qual Almeida (1964) e Ross & Santos (1982), os quais, respectivamente definiram a morfoestrutura regional como Baixada Cuiabana ou Depressão Cuiabana (I). Na sequência, observa-se o mapeamento na escala de 1:250.000, no qual o Zoneamento Socioeconômico Ecológico de MT, realizado no ano 2000 enquadrando a região como Superfície de Dissecção (II). Posteriormente, o SIG Cuiabá, no ano de 2006, mapeou na região, as unidades Colinas, Morrotes e Morros alinhados em Cristas e Superfícies Dissecadas em Colinas e Morrotes (III), em escala 1:100.000. Segundo a proposta deste trabalho, foram mapeadas em escala compatível a 1:25.000, os domínios geomórficos: Residuais (R1; R2), Erosivos (E1; E2) e Depositionais (D1) (IV).

No subdomínio residual, foram identificadas as cristas e as superfícies tabulares. As primeiras, são prontamente percebidas no MNT e no campo em função da sua amplitude topográfica (quebra positiva de relevo). As superfícies tabulares são topos planos de colinas baixas, que formam os interflúvios mais amplos dessa paisagem. As mesmas foram consideradas residuais por serem feições mais resistentes à erosão que vem sendo retrabalhada pelo clima atual, portanto, tratam-se de feições herdadas.

O subdomínio erosional são formas desenvolvidas pelo retrabalhamento do clima atual tropical úmido, em regime de quiescência tectônica. Inclui os vales e as vertentes retilíneas aqui referidas informalmente como rampas. Os primeiros, apresentam entalhamento muito fraco, de forma que os contatos tornam-se praticamente imperceptíveis na área de estudo, ou seja, sem as quebras negativas que ocorrem em áreas onde a denudação está mais avançada, como na região central de Cuiabá. As rampas são superfícies suavemente inclinadas que ligam as bordas dos vales aos domínios residuais. Nesse sentido, são formas caracterizadas pelo transporte de material desde os subdomínios residuais até sítios deposicionais que estão a jusante.

As áreas deposicionais identificadas nesses domínios rebaixados são bastante restritas. Elas ocorrem na forma de várzeas em fundos planos com deposição de sedimentos finos transportados através das rampas. Esses sítios encontram-se normalmente em locais planos, ao longo de linhas de talvegue de canais efêmeros e/ou intermitentes.

Figura 18 - Chave da hierarquização dos domínios geomórficos, base das unidades geoambientais.



Fonte: Elaborado pela autora.

6 RESULTADOS

Em relação aos resultados do mapeamento, foi possível detectar uma vocação natural para conservação de recursos hídricos tendo em vista os seguintes aspectos identificados: nascentes difusas em vales amplos, pouco entalhados e conectados com as áreas úmidas e instalação de cabeceiras e áreas de recarga de sistemas de drenagem, que cortam grande extensão do perímetro urbano. Foram encontradas nascentes de um sistema hidrográfico que drena toda a porção NW da área urbana de Cuiabá, para onde se projeta a expansão urbana - bacia do Bandeira que ainda se encontram razoavelmente conservadas. Cristas esculpidas em rochas com porosidade relativamente elevada e que se encontram fortemente fraturadas com preenchimento de veios e venulações de quartzo formando um conjunto que aumenta ainda mais a permeabilidade. Estas características permitem definir a área de estudo como áreas de recargas naturais dos aquíferos.

Referente ao uso e ocupação da área, ficou evidenciado o conflito com o aterro sanitário, quais sejam:

No âmbito paisagístico apresenta-se um local de beleza cênica com vistas para as escarpas da Chapada dos Guimarães e do Morro do São Jerônimo.

Referente ao potencial hídrico, mostra-se comprometido pela poluição bio-físico-química, odor, poluição visual, comprometimento da fauna e flora no entorno, por estarem em contato direto com a água e resíduos do aterro sanitário.

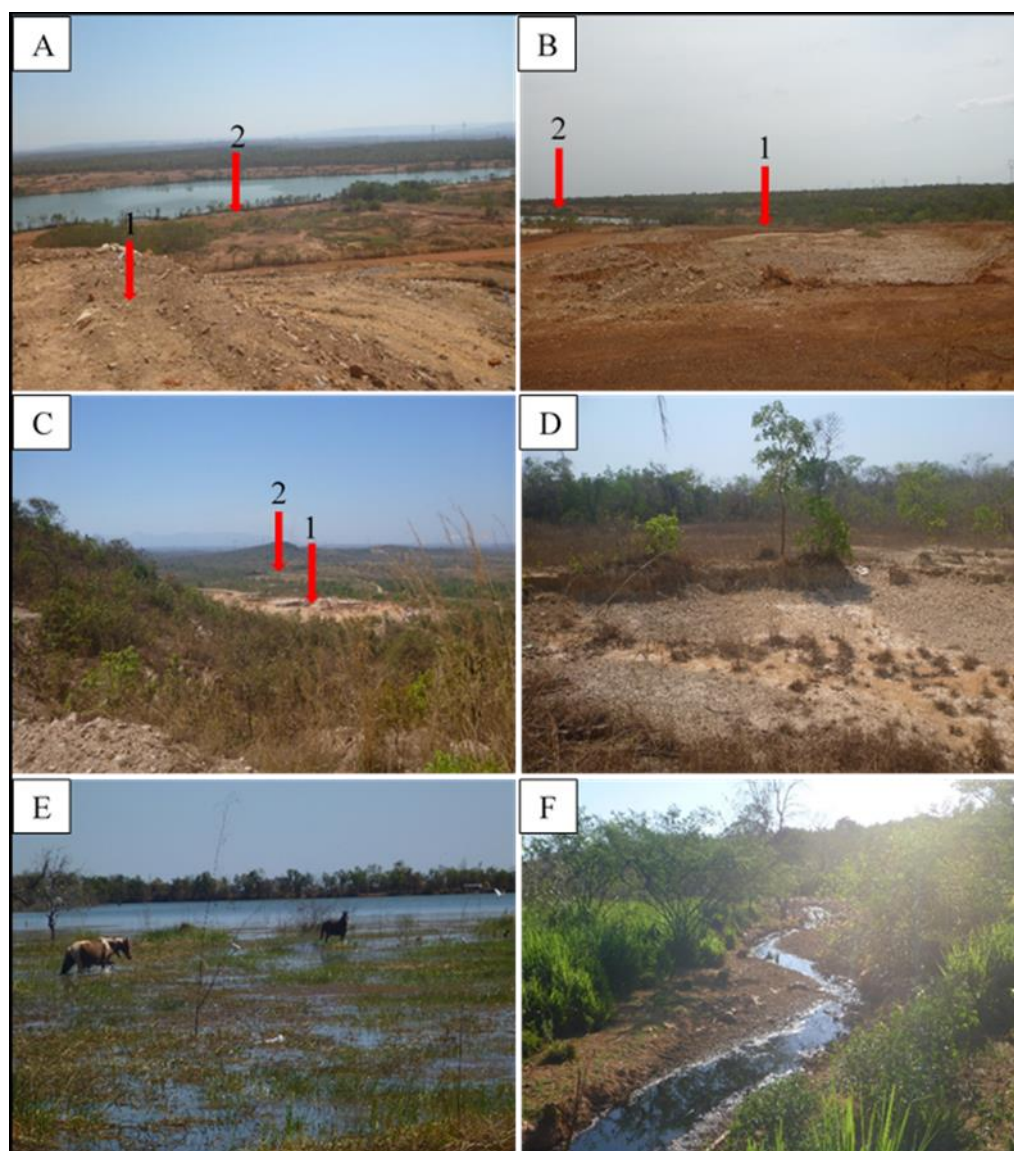
O potencial mineral da área se abrange à exploração de ouro, brita e areia para construção civil.

Para projetos de urbanização, fica comprometido a conservação dos recursos hídricos em relação ao aumento da densidade populacional, com a instalação de rede de saneamento básico, na qual poderia acarretar a siltação dos canais de drenagem, trazendo sérios problemas, nas tubulações, consequentemente, causando assoreamento dos talvegues e mananciais e áreas úmidas.

Há ocorrências de degradação de áreas para a retirada de material de saprolito para recobrimento do lixo, causando desmatamento, degradação de APP, consequentemente gerando processos erosivos (sulcos e ravinamentos).

Observações do uso e ocupação do solo no entorno do aterro sanitário (Figura 19). A: Avanço na área de (APP), com retirada da mata ciliar da orla do reservatório (2), que pode ocasionar erosões por ravinamentos que contribuem para o assoreamento do manancial. Observar a proximidade com a maciço de resíduos sólidos do aterro sanitário (A1 e A2). B: A degradação da APP é causada pela extração e utilização do solo de modo impróprio para recobrimento dos resíduos sólidos do aterro. Observar a proximidade do reservatório (B1 e B2). C: Área de garimpo para retirada de areia (C1), bacia de rejeito ao fundo (C2). D: Detalhe de antiga área degradada pela supressão do solo. E: Aspecto do reservatório em uma zona relativamente preservada à montante do aterro próximo ao início do mesmo. Foram observadas água clara com plantas aquáticas, peixes e animais. F: Vazamento de chorume in natura a jusante da barragem em contato direto com o solo, podendo ocorrer infiltração através dos planos de fraturas e ocasionar a contaminação do aquífero.

Figura 19 - Uso e ocupação do solo.

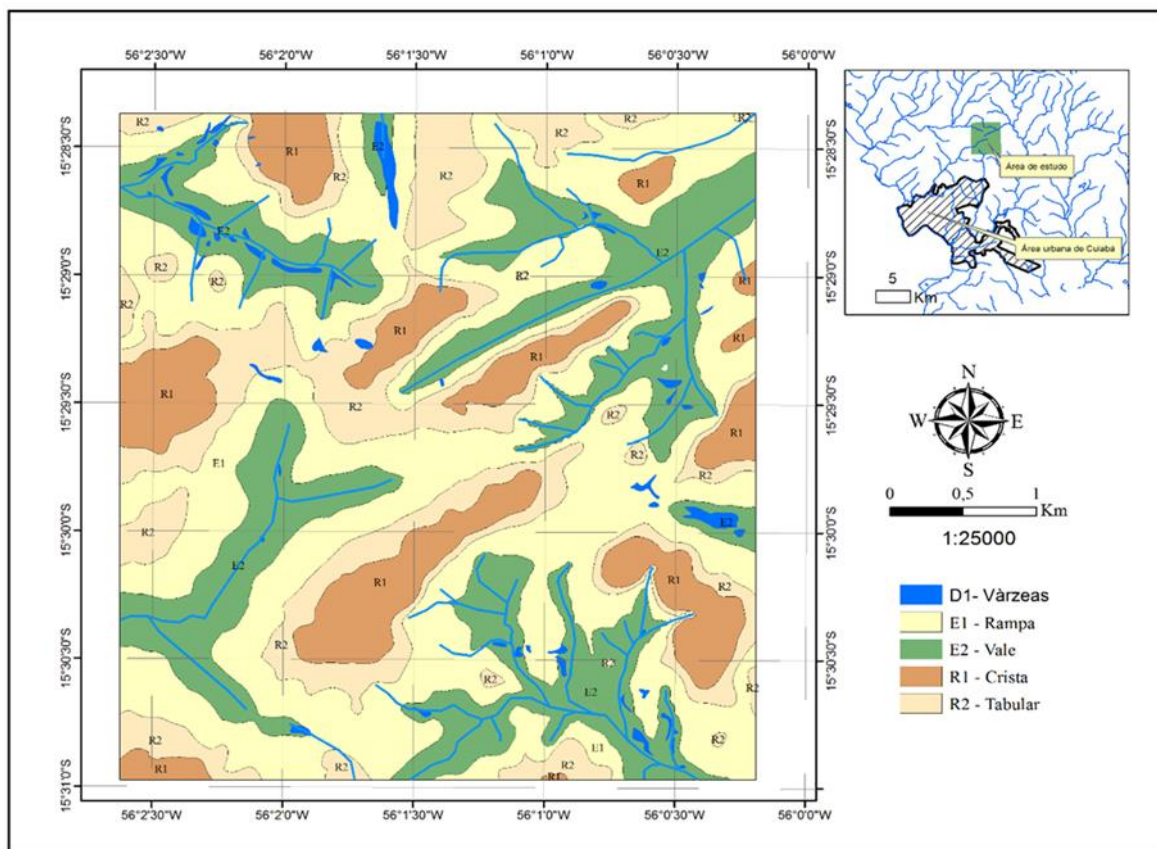


6.1 SÍNTESE DAS PROPRIEDADES NATURAIS DAS UNIDADES GEOAMBIENTAIS: ASPECTOS DO MEIO FÍSICO E FITOFISIONÔMICOS

A elaboração de perfis esquemáticos de cada unidade geoambiental foram desenvolvidos com o propósito de sintetizar o arranjo e a diversidade das suas propriedades naturais.

Como resultado da caracterização e integração de cada unidade, foi elaborado o mapa geoambiental (Figura 20).

Figura 20 - Mapa da Unidades Geoambientais

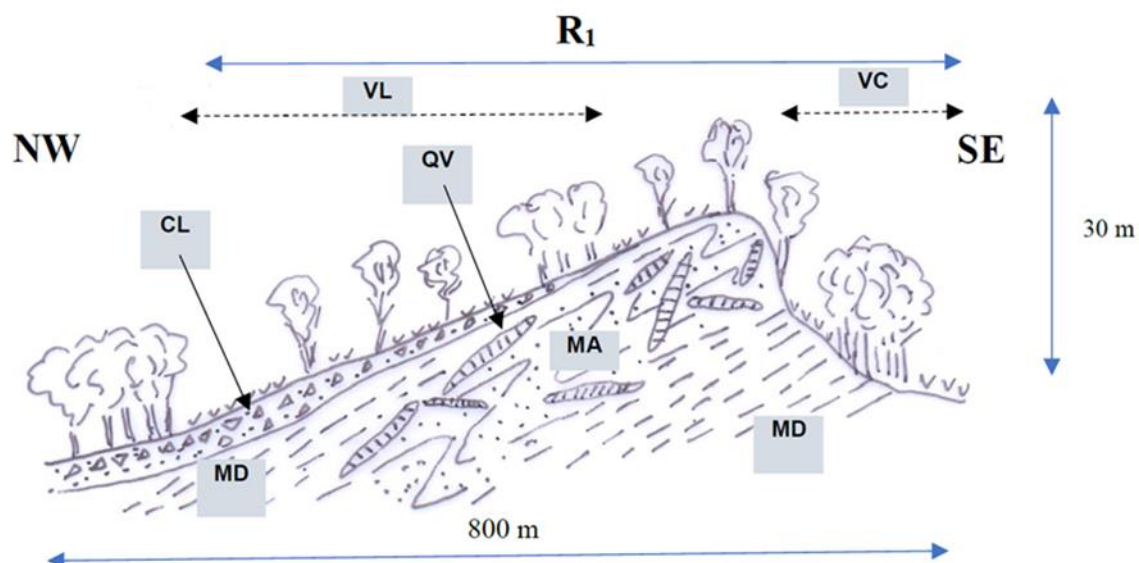


Fonte: Elaborado pela autora.

6.3.1 Morrotes Assimétricos Alinhados

Os Morrotes Assimétricos Alinhados (R1), perfil esquemático (Figura 21) são formas aguçadas, assimétricas que se destacam topograficamente no terreno plano a suavemente ondulado da região. Ocorrem como topos estreitos, retilíneos e orientados para NE/SW. O substrato é sustentado por camadas de metarenitos e secundariamente por metarcoseos, cortados por veios de quartzo tabulares, discordantes e concordantes das estruturas tectônicas regionais (acamamentos e xistosidades). As cristas são morfoestruturas esculpidas em megadobras de sinclinais invertidas, em camadas alternantes de metadiamicritos com metarenitos. A cobertura vegetal é cerrado com formação de aglomerados arbóreos (capões)/cerrado denso em zonas das vertentes que apresentam colúvios espessos.

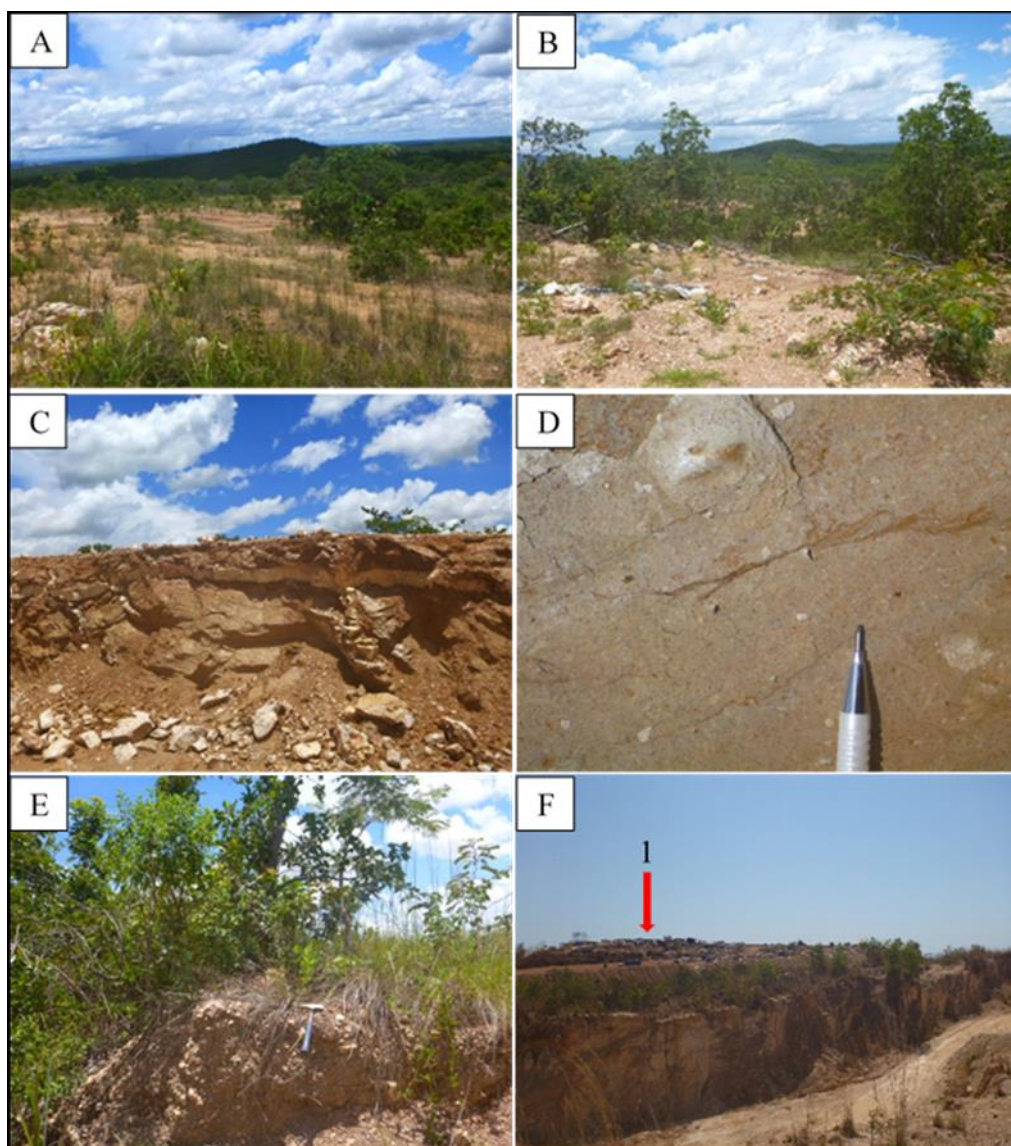
Figura 21 - Perfil esquemático do Morrote Assimétrico Alinhado



Fonte: Elaborado por Siqueira.

O perfil esquematizado acima, representa o Morrote Assimétrico Alinhado onde se instala o aterro sanitário de Cuiabá, abaixo (Figura 22) são apresentadas as imagens *in loco*.

Figura 22 – Imagens da unidade dos Morrotes Assimétricos Alinhados.



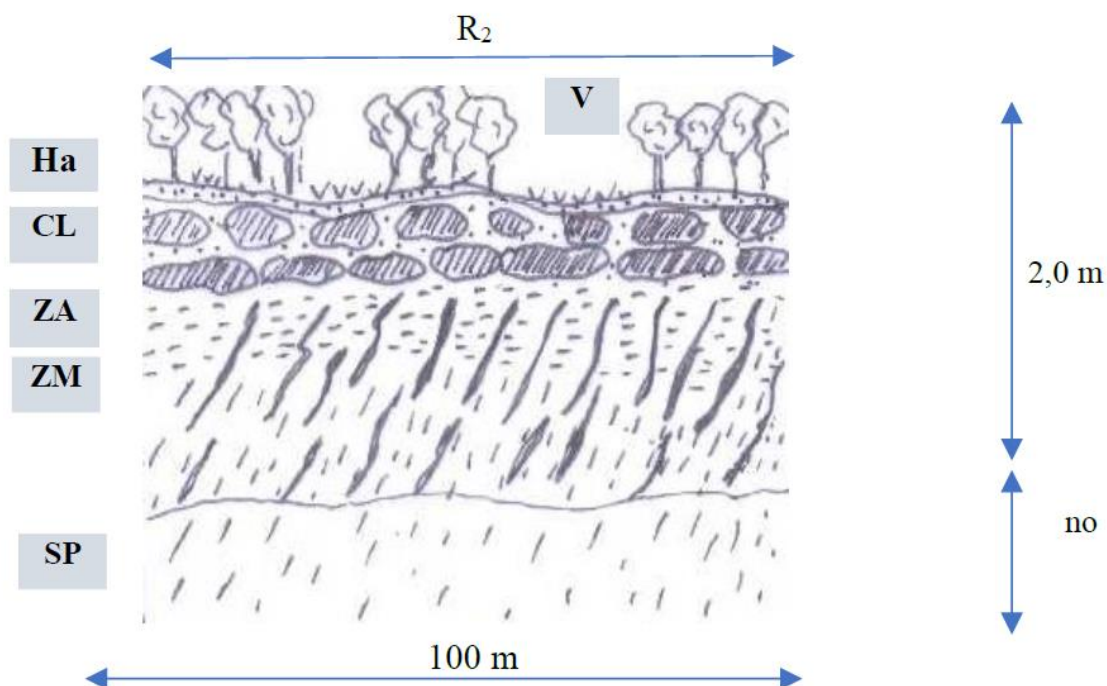
Fonte: Elaborado pela autora.

Unidade residual tipo Morrotes Assimétricos Alinhados (R1). A e B: Cristas assimétricas acentuadas com vertente retilínea direcionadas para NW. Vegetação cerrado aberto C: Topo de crista em metadiamicrito sustentada por veios de quartzos tabulares. Área degradada para retirada de material para cobertura dos resíduos do aterro sanitário (vide F). D: Detalhe do metadiamicrito do substrato da crista. Observar matriz pelítica parcialmente saprolitizada com clastos petromíticos. E: Predomínio de fragmentos de quartzos angulosos no horizonte superficial elúvio-coluvinar. F: Crista em substrato metarenítico ocupada pelo aterro sanitário (1-Aterro sanitário). Em primeiro plano trincheira para lavra de veios de quartzo auríferos encontrados na crista.

6.3.2 Superfícies Tabulares

Superfícies Tabulares (R2) (Figura 23), são formas planas sustentadas por crostas lateríticas de espessura métrica, podem apresentar suaves depressões menor ou igual à 1m localizadas no terreno, nas quais, ocorrem várzeas que podem se conectar aos sistemas de drenagem à jusante. O substrato de crosta é descontínuo, encontrando-se parcialmente desmantelado. Nessas situações podem ser formados massas de psólitos desagregados que preenchem o espaço entre os seguimentos consolidados. Assim, aumenta-se a porosidade e a permeabilidade dos substratos com condições edáficas para formação e consolidação de vegetação de porte arbóreo. As imagens *in loco* são apresentadas na figura 24.

Figura 23 – Perfil esquemático da unidade Superfície Tabular.



Fonte: Siqueira, Auberto.

Figura 24 – Imagens da unidade de Superfície Tabular.



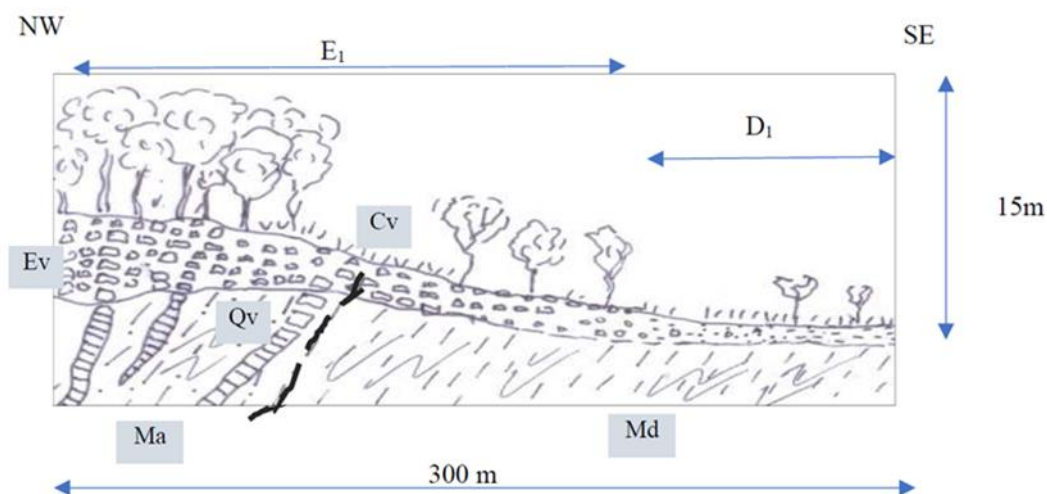
Fonte: Elaborado pela autora.

Unidade residual do tipo tabular (R2). A e B: Relevo aplainado evidenciando forma tabular sustentada por crostas lateríticas “in situ”. Observar vegetação de cerrado arbustivo denso (savana densa/cerradão). C e D: Imagens do perfil laterizado em grau avançado de dismantelamento na forma de horizontes com psólitos de lateritas desagregadas recobertas por horizonte superficial (Horizonte A). Ocorre na transição entre a superfície residual tabular para superfície erosional do tipo rampa (E1). E e F: Imagens tirada ortogonalmente da superfície do solo mostrando detalhe da crosta laterítica. Observa-se o desenvolvimento em paleocolúvios, evidenciado por presença de fragmentos e massas de quartzo leitosos angulosos envolvidos pela matriz laterítica.

6.3.3 Rampas

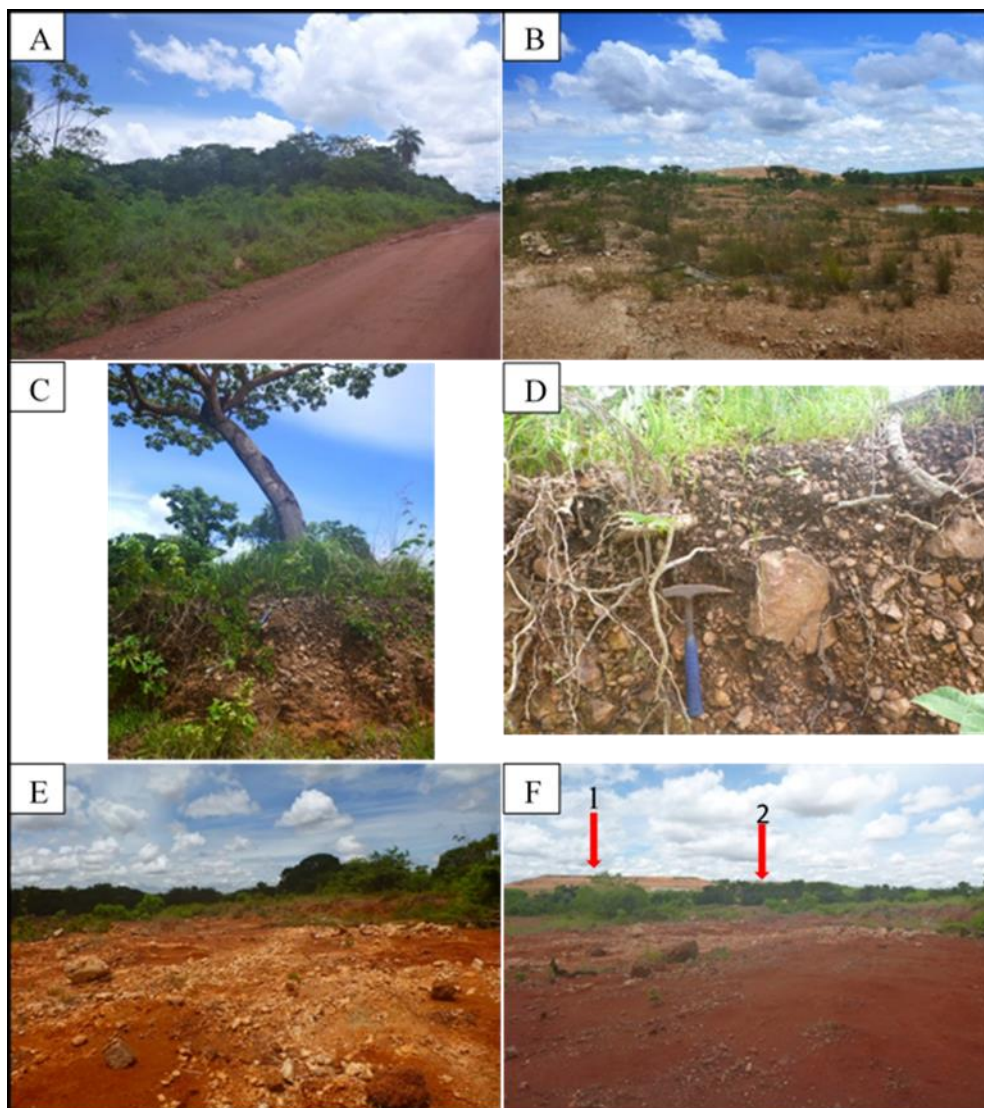
A unidade geoambiental de vertente em rampas retilíneas (E1) (Figura 25), apresenta cobertura superficial de elúvios e colúvios. Essa cobertura pode apresentar locais parcialmente laterizados com consolidação da matriz ferruginosa, motivo pelo qual a permeabilidade dessa unidade não é constante. Os elúvios são fragmentos de veios de quartzo desagregados *in situ*, normalmente situados na parte mais elevada da unidade. A maior espessura da cobertura propicia formação de solo mais profundo e consequente desenvolvimento de cerrado arbóreo (“capões”). Os colúvios são fragmentos de quartzo em transporte lento em baixa declividade ao longo da vertente. Observa-se que estes veios são abundantes nos setores das rampas, cujos substratos são formados por lentes de metarenitos, sendo raros ou ausentes nos setores do substrato dominados por metadiamicrito. A granulação dos sedimentos e a espessura diminuem em direção a parte mais distal da rampa, com uma transição gradacional para sítios deposicionais restritos e rasos das várzeas (D1). As imagens *in loco* são apresentadas na figura 26.

Figura 25 – Perfil esquemático da unidade de Rampa.



Fonte: Siqueira, Auberto.

Figura 26 – Imagens da unidade de Rampa.



Fonte: Elaborado pela autora.

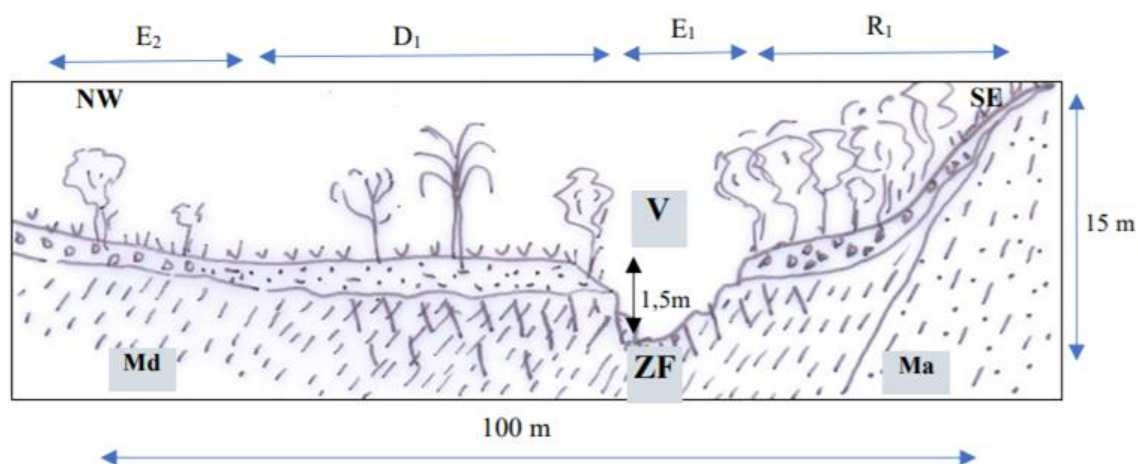
Unidade erosional do tipo rampa (E1). A: Vista do relevo de rampa (vertente retilínea longa) com baixa declividade, conectando a Unidade residual tabular (R2), vista ao fundo, com a unidade erosional tipo vale (vista ao fundo em D). B: Cobertura superficial apresentando características de movimento gravitacional lento de massas de fragmentos de quartzito leitosos ao longo da vertente como: angulosidade, mal selecionamento, ausência de estratificações, gradações e não consolidação. C: Porte de vegetação arbórea nativa evidenciado pela remanescente árvore de pequi (*Caryocar*

brasiliense), crescendo sobre a cobertura superficial descrita em B. D: Detalhe da ação das raízes contribuindo com a desagregação física da cobertura superficial. E e F: Aspecto de área degradada pela retirada da cobertura superficial e parte do substrato saprolitizado (metadiamicrito), utilizados para recobrimento dos resíduos do aterro sanitário de Cuiabá, Aterro sanitário visto ao fundo (F1); Vale (E2) com represa na borda do aterro sanitário (F2).

6.3.4 Várzeas

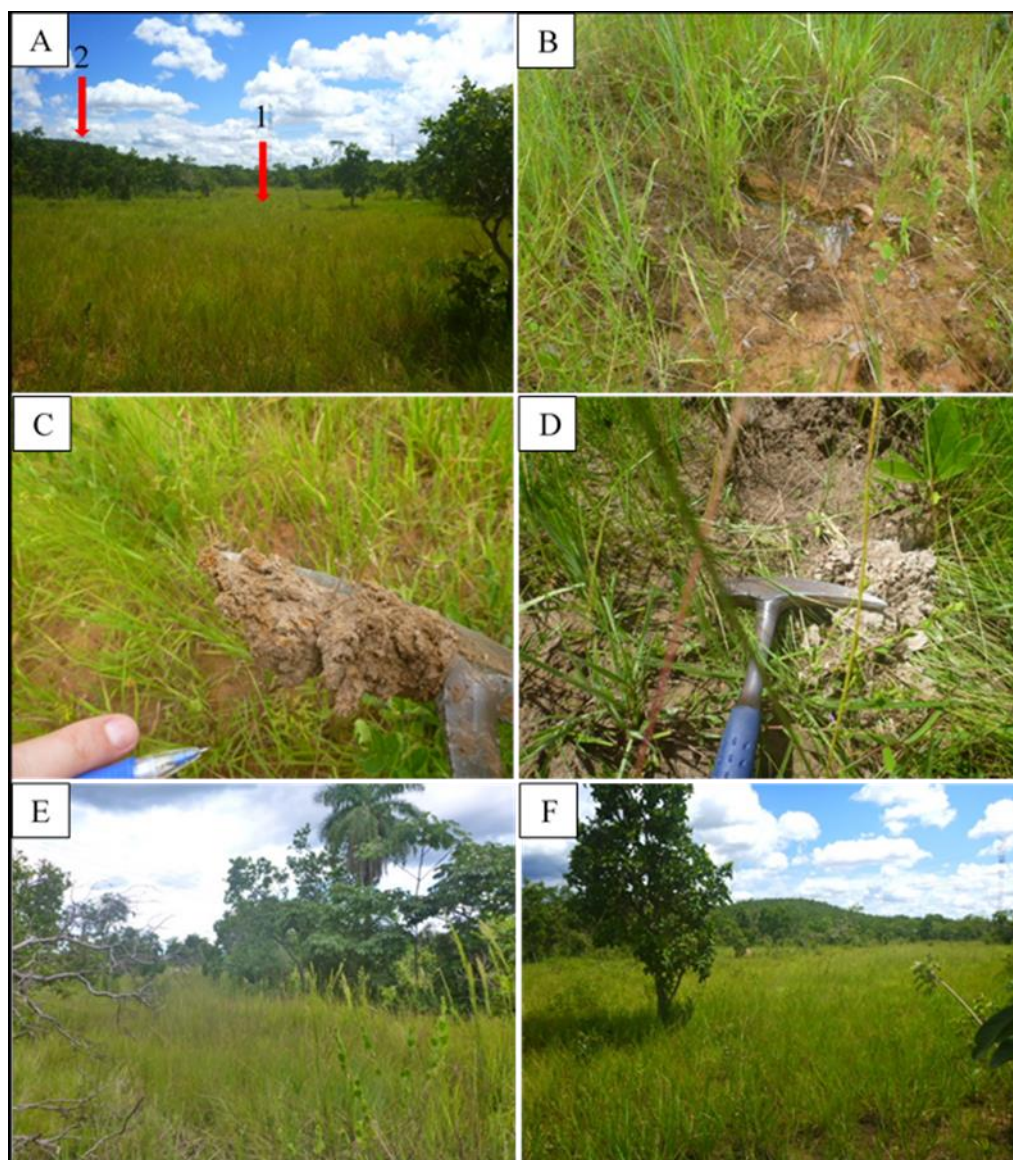
A unidade de várzeas (D1) (Figura 27), é definida em zonas de fluxo de escoamento subsuperficial impedido, com a consequente deposição de finos transportados ao longo das rampas retilíneas (E2). O sítio deposicional restrito (~30m largura) é formado em áreas de mudança declividade fraca do lado das rampas com declividades moderada a forte do lado das cristas (R1). A assimetria do relevo está associada a mudança no substrato de metadiamicrito que ocorrem em áreas de rampas e os metarenitos que sustentam as cristas (R1). O entalhe do talvegue do vale ocorre associado a zona de fraturamentos. As imagens *in loco* são apresentadas na figura 28

Figura 27 – Perfil esquemático da unidade de Várzea.



Fonte: Siqueira, Auberto.

Figura 28 – Imagens da unidade de Várzeas.



Unidade deposicional do tipo várzeas (D1). A: Terra baixa, plana e encharcada (A1) associada a fluxos superficiais em lençol. Observar que a várzea se situa do lado oposto de uma vertente assimétrica (A2), tratando-se portanto de um fluxo de escoamento impedido. B: Detalhe da surgência do nível d'água na superfície do solo. Observar ocupação por pastagens plantadas (gramíneas não nativas). C: Fragmentos do substrato (metadiamicrito saprolitizado) observado a 15 cm de profundidade evidenciando a pouca espessura da camada de solo desta unidade vista em (D). D: Solo hidromórfico oriundo de sedimentos aluviais de textura fina (silte-argiloso), com mosqueados de óxido de ferro. E: Aglomerados arbustivos (capões) nativos

entremeados com pastagem plantada. F: Gramíneas nativas em várzea conservada às margens do tributário do rio Coxipó.

6.3.5 Vale

Unidade erosional do tipo vale (E2). A: Vista para montante mostrando aspectos morfológicos de fundo de vale de drenagem intermitente próximo às cabeceiras (agosto/2017). Observar forma de fundo côncava, pouco entalhamento do talvegue, assimetria das vertentes (declividade maior na margem esquerda) em substrato de metadiamicritos B: Controle estrutural dos vales encaixados em metadiamicrito fortemente fraturado (agosto/2017); C: Vista Canal intermitente próximo confluência com o Rio Coxipó. Observar a mudança de forma do fundo do vale (plano) e vegetação de porte arbóreo (mata ciliar) desenvolvida em solos mais espessos de origem aluvial nas margens do canal; D: Aspecto do canal evidenciando a intermitência e deposição de fragmentos placoidais de metadiamicritos e quartzo leitosos transportados de montante (Figura 29).

Figura 29 – Imagens da unidade de Vales.



Fonte: Elaborado pela autora.

6.2 POTENCIALIDADES, LIMITAÇÕES E RECOMENDAÇÕES DE USO DAS UNIDADES GEOAMBIENTAIS

Foram elaboradas cinco tabelas de acordo com as unidades geoambientais Morrotes Assimétricos Alinhados (R1) (Tabela 5), Superfície Tabular (R2) (Tabela 6), Rampa (E1) (Tabela 7), Vale (E2) (Tabela 8), e Várzea (D1) (Tabela 9). A partir dos dados levantados neste trabalho, informações como: Descrições, Potencialidades, Limitações e Recomendações de Uso e ocupação, foram organizadas de forma sintetizada e sistemática. No item de descrição geral da área são observadas a forma, declividade, morfometria, cobertura superficial, solo, substrato, vegetação e uso e ocupação do solo. No item de limitações são analisadas a forma do terreno, suscetibilidade a erosão, potencial hídridrogeológico que está relacionado ao tipo de aquífero, solos, afloramentos, possibilidades de ocupação urbana, aterro ou agricultura. Para a descrição das potencialidades, potencial mineral, mananciais, aptidão para pastagens, urbanização beleza cênica e biodiversidade. Por último, são indicadas as Recomendações para o local em específico.

Tabela 5 Morrotes Assimétricos Alinhados.

Unidade Geoambiental	Morrotes Assimétricos Alinhados
Simbologia Cartográfica	R1
Descrição	Relevo com colinas e morrotes assimétricos alinhados na direção NE-SW que preservam cristas baixas com cotas de 250m. Amplitudes topográficas entre 20 a 50 m. Sustentam-se predominantemente por metarenitos intercalados com lentes (enclaves) de metadiamictitos cortados por veios de quartzo tabulares. Vegetação original de cerrado aberto com aglomerados arbustivos (capões). Encontram-se parcialmente substituídos por pastagens plantadas. Solos rasos representados por neossolos litólicos e cambissolos háplicos. Cobertura superficial elúvio-coluvionar com predomínio de fragmentos de quartzos angulosos, centimétricos, mal selecionados. Uso e ocupação bastante diversificada: 1- Instalação do aterro sanitário de Cuiabá; 2 - Retirada do material para recobrimento dos resíduos sólidos do aterro citado; 3 – Lavra de veios de quartzo aurífero; 4 – Retirada de cascalho de quartzo/brita para vários usos na construção civil.
Limitações	Terrenos declivosos com baixa disponibilidade hídrica. Solos rasos entre 0,5 a 2,0 metros de profundidade, bastante cascalhento com presença de afloramentos, principalmente, blocos de quartzo no topo das cristas. Área restrita para instalação de aterro sanitário. Baixa eficiência para atividades agropecuárias e moderadamente apta para urbanização.
Potencialidades	Solos com grande capacidade de carga. Área de proteção de mananciais. Moderado a baixo potencial hidrogeológico em aquífero fissural. Terrenos altos de grande beleza cênica e biodiversidade.
Recomendações	Proteção de mananciais. Roteiros turísticos alternativos seguindo um controle ambiental. Instalação de reservatório

Fonte: Elaborado pela autora.

Tabela 6 - Residual Tabular

Unidade Geoambiental	Residual Tabular
Simbologia Cartográfica	R2
Descrição	Relevo plano de forma tabular sustentado por crostas lateríticas “in situ”. A superfície atinge cota de 237 m, com amplitudes topográficas de aproximadamente 5 m. A cobertura superficial é desenvolvida em paleocolúvios, evidenciados por fragmentos de massas de quartzos leitosos e angulosos sustentados por matriz laterítica. O solo é composto pelo plintosolo pétrico, subordinado por argissolos, o que dificulta a drenagem. Substrato sustentado predominantemente por metadiamicto, subordinadamente por metarenitos. A vegetação original é composta por cerrado arbustivo denso. Observa-se o uso da superfície tabular para retirada de material para o recobrimento de resíduos sólidos do aterro sanitário e pastagens plantadas.
Limitações	Ocorrência de solos rasos com nível freático próximo à superfície. Apresenta baixa/ moderada suscetibilidade à erosão. Drenagem dificultada. Há restrições para atividade de agricultura, disposição de resíduos sólidos e urbanização, principalmente no que se refere ao sistema de esgoto doméstico (subsolo impermeável) e rede de drenagem pluvial (baixa declividade).
Potencialidades	Solos com capacidade de carga. Áreas de beleza cênica e biodiversidade. Relevo plano favorece instalação de projetos de urbanização controlados.
Recomendações	Recuperação da vegetação nativa, cerrado arbustivo. Projetos de urbanização com redes de esgoto e drenagem pluvial alternativos.

Fonte: Elaborado pela autora.

Tabela 7 - Rampa

Unidade Geambiental	Rampa
Simbologia Cartográfica	R2
Descrição	Relevo aplainado com suaves inclinações em rampas pediplanadas. Na superfície, as cotas estão em 235 m, com amplitudes topográficas de aproximadamente 10-15m. A cobertura superficial formada por fragmentos de quartzos leitosos angulosos, mal selecionados, com ausência de estratificações, gradações e não consolidação, caracterizando movimento de massa gravitacional lento. Encontra-se parcialmente laterizada. Podem ocorrer acumulações de psólitos de lateritas especialmente no contato com as superfícies tabulares (R2). Predominam plintossolo pétrico. O substrato é formado por metadiamicititos saprolitizados. A cobertura superficial de cascalhos e psólitos são utilizados para recobrimento dos resíduos sólidos do aterro sanitário da rampa.
Limitações	Solos rasos, mal drenados com ocorrência de concreções de óxido de ferro, o que torna o solo limitado para o uso agrícola. Moderada possibilidade de erosão (sulcos e ravinas) em função da baixa declividade.
Potencialidades	Solos com grande capacidade de carga, em função da baixa declividade, da distribuição espacial e visão panorâmica, trata-se de uma unidade com potencial para projetos urbanísticos seguindo sério rigor de controle ambiental.
Recomendações	Recuperação ambiental das áreas degradadas para retirada de material para cobertura dos resíduos do aterro sanitário. Recuperação da vegetação e/ou manutenção da vegetação nativa. Programa de educação e controle ambiental das chácaras da região. Delimitação de APPs, nascentes e áreas úmidas (várzeas).

Fonte: Elaborado pela autora.

Tabela 8 -Vale.

Unidade Geoambiental	Vale
Simbologia Cartográfica	E2
Descrição	Os vales apresentam forma do fundo chato, côncavo com vertentes simétricas e assimétricas, ocasionada por erosão diferenciada (ou estruturas geológicas). Declividade baixa, que posiciona-se na cota de 220 m. A cobertura superficial ocorre uma camada coluvionar em contato direto com o substrato (diamictito). Vegetação composta pela mata ciliar
Limitações	Devida à pequena largura, os vales estão praticamente condicionados em APPs, devendo, portanto, serem conservados. Os vales que estão à jusante do aterro sanitário podem sofrer efeito da contaminação bio-físico-químico.
Potencialidades	Importante papel na conservação dos recursos superficiais que drenam a área urbana de Cuiabá. Disponibilidade hídrica para fins de abastecimento humano, comprometida devido a presença do aterro sanitário da cidade de Cuiabá.
Recomendações	Preservação em área de (APP). Preservação e recuperação das matas ciliares. Uso controlado para formação de reservatório.

Fonte: Elaborado pela autora.

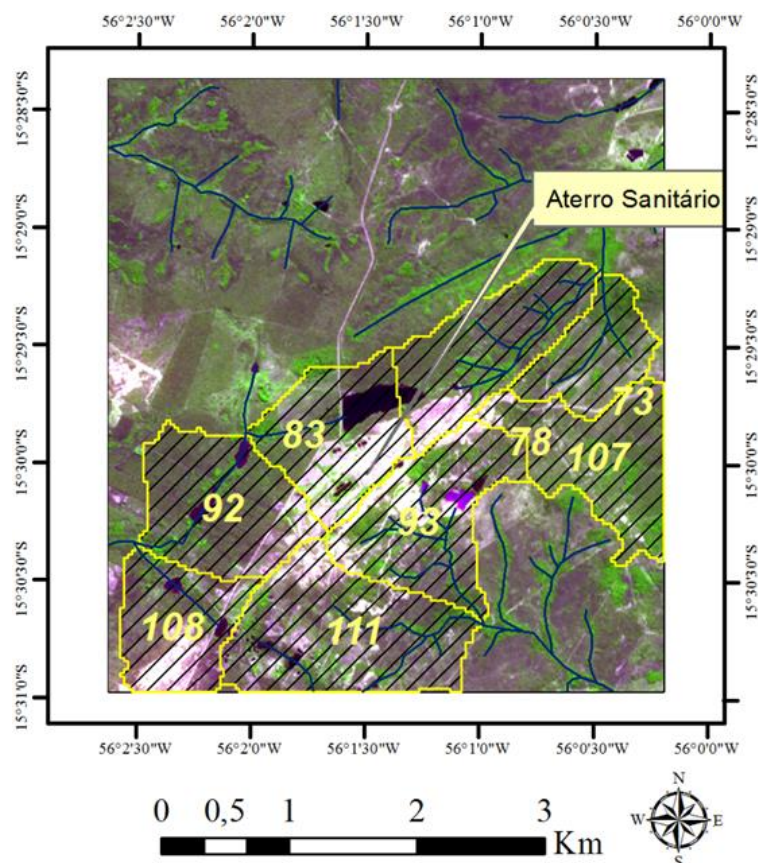
Tabela 9 - Várzea.

Unidade Geoambiental	Várzea
Simbologia Cartográfica	E1
Descrição	Relevos planos com baixa declividade. Cobertura superficial constituída por sedimentos finos (areias, siltes, argilas) e saibros. Solos hidromórficos/planossolos pouco espesso. Nível d'água subaflorante. Vegetação gramíneo lenhosa, parcialmente, substituída por pastagem plantada.
Limitações	Terrenos sujeitos a encharcamentos e inundações. Nível freático raso. Inapropriado para agricultura. Restrito para urbanização, baixa capacidade infiltração.
Potencialidades	São áreas com relevantes serviços ambientais na manutenção dos recursos hídricos superficiais (filtração de poluentes, manutenção da umidade em parte do período seco) e ecológicos de modo geral.
Recomendações	Áreas indicadas para preservação ambiental.

Fonte: Elaborado pela autora.

Para demonstra as características hidrográficas de cada unidade geoambiental, foi elaborado um mapa com as divisões das microbacias no entorno do aterro sanitário de Cuiabá (Figura 30), que estão sob forte influência de contaminação e/ou poluição de forma direta e indireta do aterro sanitário.

Figura 30 - Imagem da abrangência nas microbacias que estão sob influência do aterro sanitário.

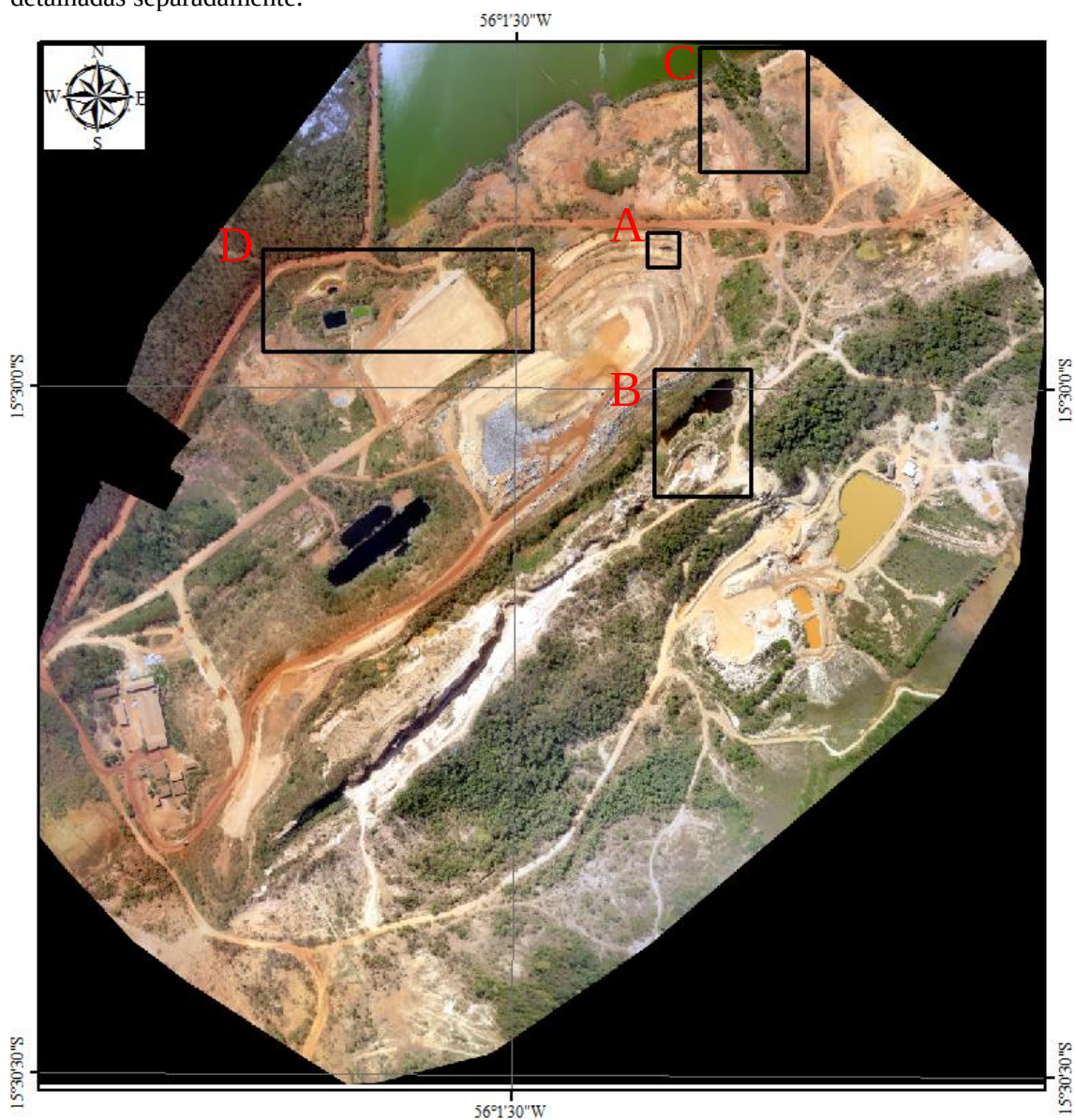


Fonte: Elaborado pela autora.

6.3 IMAGENS VANT

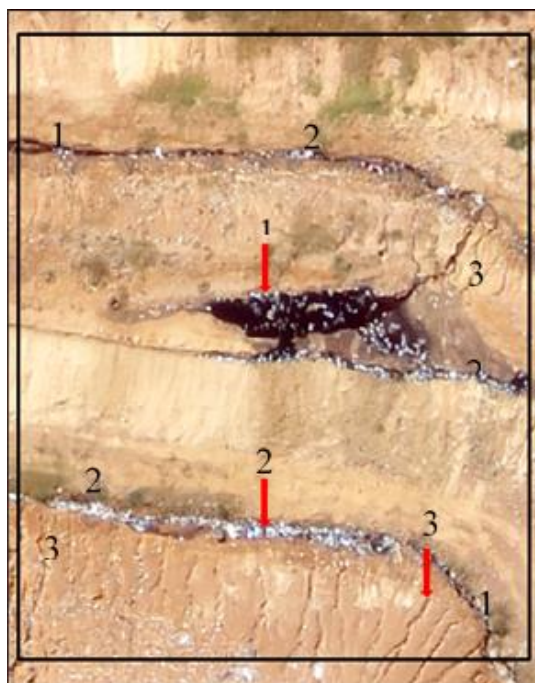
A análise da imagem aérea do VANT (Figura 31) permitiu observar graves problemas no aterro sanitário e seu entorno imediato, que serão detalhados separadamente como um *zoom* em cada destaque feito na imagem.

Figura 31 – Imagem total do voo realizado pelo VANT com as marcações de áreas críticas detalhadas separadamente.



Fonte: (MENDONÇA, 2018).

Figura 32 – Detalhe da figura 31 A. Vazamento de chorume na base dos taludes (1). Observar deposição de detritos descobertos pela erosão dos taludes dos patamares (2). Sulcos e ravinamentos bem marcados nos taludes nos patamares do aterro (3).



Fonte: (MENDONÇA, 2018)

Figura 33 - Detalhe da figura 31 B. Vazamento de chorume na face sudeste do aterro sanitário. Área de substrato metarenítico de textura granular, com alta porosidade e permeabilidade (redes de veios de quartzo preenchendo fraturas), aumentando o potencial de infiltração do poluente para o aquífero.



Fonte: (MENDONÇA, 2018)

Figura 34 - Detalhe da figura 31 C. Migração subsuperficial de efluentes do aterro sanitário para o reservatório.



Fonte: (MENDONÇA, 2018).

Figura 35 - Detalhe da figura 31 D. Canal erodido para percolação do chorume, saindo da base do maciço (1) em direção ao canal do Ribeirão do Lipa à jusante da barragem.



Fonte: (MENDONÇA, 2018).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A integração de várias tecnologias como o sensoriamento remoto orbital, dados de Modelos Digitais de Elevação - TOPODATA, no caso do Brasil, e o crescente aperfeiçoamento dos algoritmos por eles usados, demonstrou-se viável como utilização de ferramentas eficientes para os estudos de planejamento territorial em diversos setores. Uma vez que estas são capazes de cobrir amplas áreas em um período de tempo menor e com baixo custo, além de permitir uma padronização na geração de dados topográficos (LANDAU; PEREIRA GUIMARÃES, 2011).

Neste trabalho, a utilização do MDE (TOPODATA), após as correções aplicadas, revelou-se bem-sucedida pois possibilitou o realce de cinco componentes paisagísticos que não haviam sido identificados em mapeamentos anteriores. Outro aspecto importante é a escala do detalhamento cartográfico de 1:25.000 alcançada neste estudo, já que normalmente o TOPODATA tem sido utilizado em escalas regionais, geralmente 1:100.000, apesar da dificuldade do arrasamento do relevo, onde o dado foi aplicado.

Desse modo, é possível aplicar essa metodologia em toda extensão da área periurbana de Cuiabá, como também em outros municípios, fazendo as adaptações necessárias a cada relevo.

O estudo mostrou também a consistência teórica e metodológica com categorias de mapeamento consagradas, ou seja, a compatibilidade com escala do quinto táxon que identifica diferentes formas de encostas e vertentes do relevo, base para entendimento de processos predominantes da morfogênese e a pedogênese. Possibilitou a extração da rede hidrográfica, a delimitação de microbacias e seus divisores d'água, por consequência, a identificação de (APPs).

A aplicação do MNT (TOPODATA) foi eficiente na identificação das unidades geoambientais em detalhe, associadas as etapas de campo.

Algumas limitações foram observadas, tais como, dificuldades na identificação de várzeas e nascentes e outras feições de pequeno tamanho ligadas a processos erosivos e tipos de uso do solo. Essas limitações foram superadas com a utilização de imageamento de alta resolução espacial, obtidas por VANT, neste caso, aplicado na área do aterro sanitário de Cuiabá.

Embora o presente trabalho tenha alcançado resultados positivos, houve limitações quanto ao não detalhamento de feições de pequenas dimensões, mas que são de fundamental importância no planejamento ambiental como áreas úmidas, várzeas e nascentes, e quanto a sua inviabilidade de utilização em áreas com muitas edificações, pois as correções de altitudes não seriam eficientes. Observa-se que, mesmo com correção de altitude (entalhamento de canais) que produz o rebaixamento geral da topografia, ainda ocorreram distorções quando a vegetação, que tem grande contraste de altura, como no caso de capões que são bem mais altos do que a vegetação rasteira de cerrado aberto/tapete gramíneo lenhoso. Isso foi observado em um capão, que foi confundido com uma crista, onde localizava-se vegetação alta numa unidade tabular, a qual foi corrigida na validação em campo.

A metodologia adotada no presente estudo possibilitou o detalhamento consistente de cinco unidades geoambientais que ainda não haviam sido identificadas na área de estudo, em escala compatível a 1:25.000. Foi possível constatar a transição entre cada setor morfopedológico e confirmar a elevada importância dessa área para conservação dos mananciais, além de ser uma região apta a recarga de aquíferos.

Com detalhamento cartográfico alcançado nesse trabalho, foi possível a elaboração de cenários ambientais que podem contribuir com subsídios ao planejamento e gestão ambiental da área de estudo, bem como de toda a região periurbana de Cuiabá topograficamente similar, a um baixo custo-benefício e menor tempo de execução.

Neste sentido, considerando que o presente estudo foi realizado numa área piloto, é muito provável que na área periurbana de Cuiabá, com aspectos similares e dentro das duas unidades previamente identificadas pelo SIG Cuiabá, ocorram as cinco unidades identificadas no presente trabalho, com as mesmas feições e características vocacionadas à conservação dos recursos hídricos. Isso se torna um desafio ao planejamento e à gestão, frente a tendência de expansão da área urbana de Cuiabá e frente à necessidade de garantir a segurança hídrica da população.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABREU, A. A. de. **Análises geomorfológicas: reflexão e aplicação**. 1982. Tese (Livre-docência). Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas. Universidade de São Paulo, São Paulo, 1982.
- AB'SABER, A. N. **Um conceito de geomorfologia a serviço das pesquisas sobre o Quaternário**. São Paulo: Igeog. USP. 1969 (Série Geomorfologia, 18).
- ALMEIDA, F. F. M. **Geologia do Centro-Oeste Mato-grossense**. Boletim da Divisão de Geologia e Mineralogia, DNPM, Rio de Janeiro. Bol. 215, 123p. 1964.
- _____. **Geossinclíneo Paraguai**. In: Semana de Debates Geológicos, 1, Porto Alegre. Centro Acad. Est. Geol. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, p. 87-101. 1965.
- _____. **Província Tocantins - setor sudoeste**. In: Almeida F.F.M. & Hasui Y. (eds.) O Pré-Cambriano do Brasil. Ed. Edgard Blucher, São Paulo, p. 265-281. 1984.
- ALVARENGA, C. J. S. **Turbiditos e a glaciação do final do Proterozóico Superior no Cinturão Dobrado Paraguai, Mato Grosso**. Revista Brasileira de Geociências, São Paulo. V.18(3): p. 323-327. 1988.
- _____. **Phénomènes sédimentaires, structuraux et circulation de fluides développés à la Transition Chaîne-Craton: Exemple de la Chaîne Paraguai d'âge proterozoïque supérieur, Mato Grosso**, BréS1l. Marseille. 177 p. These Doct. Sei. Univ. Aix-Marseille III. 1990.
- ALVARENGA, C. J. S.; TROMPETTE R. **Glacially influenced sedimentation in the late proterozoic of the Paraguay belt -Mato Grosso, Brazil**. Palaeogeography, Palaeoclimatology and Palaeoecology, V.92, p. 85-105. 1992.
- ALVARENGA, C. J. S. & TROMPETTE, R. **Evolução tectônica brasileira da Faixa Paraguai: a estruturação da Região de Cuiabá**. Revista. Brasileira de Geociências. 23, 18-30. 1993.
- BARBOSA, L. R. **Geração de Modelo Digital do Terreno por aproximações sucessivas utilizando câmeras digitais de pequeno formato**. 1999. Presidente Prudente, UNESP Universidade Estadual Paulista, 1999.
- BARROS, L. T. L. P.; CAVALHEIRO, E. S. S. **Bacia do Rio Cuiabá: uma abordagem socioambiental**. Cuiabá: Entrelinhas: EdUFMT, 2009. 216p.
- BATALHA, R. de. S.; FIGUEREDO, R. D. R. **Estudo de minerais pesados, proveniência e condições paleoclimáticas da deposição do Grupo Cuiabá, Faixa Paraguai norte, Mato Grosso**. 2013. Monografia. Universidade Federal de Mato Grosso. 2013.
- BRASIL, Ministério das Minas e Energia, Secretaria-Geral. **Projeto RADAMBRASIL. Folha SD.21, Cuiabá; geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra**. Rio de Janeiro, 1982.
- CASSET, V. **Elementos de geomorfologia**. Goiânia: Editora da UFG. 1994.
- _____. **Geomorfologia. Livro digital**. 2007. Disponível em: <http://www.funape.org.br/geomorfologia/pdf/index.php>. Acesso em: 2017.

CASTELNAU, F. de. **Expedition dans les parties centrales de l’Amerique du Sud**, 15 vol., 7 partes, Paris. 1857.

CASTRO-JUNIOR, P. R.; SALOMÃO, F. X. T.; BORDEST, S. M. L. **Mapeamento geomorfológico da região de Cuiabá**. 2006. Simpósio Nacional de Geomorfologia/Regional Conference on Geomorphology.

CASTRO, S. S. de; SALOMÃO, F. X. de T. **Compartimentação morfopedológica e sua aplicação: considerações metodológicas**. Revista GEOUSP, São Paulo, n. 7, p 27-37, 2000.

COMPANHIA DE PESQUISA E RECURSOS MINERAIS (CPRM). **Perspectivas do meio ambiente do Brasil – Uso do subsolo**. CPRM, 2002. 54 p.

EMBRAPA, E. B. D. P. A. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Humberto, Gonçalves dos Santos et al. 3 ed. ver. ampl. - Brasília, DF. EMBRAPA, 2013. 353 p.

EVANS, J. W. **The Geology of Mato Grosso**. Geological Society of London, Quarterly Journal, v.50, p. 85-104. 1894.

FARR, T.; ROSEN, P.; CARO, E.; CRIPPEN, R.; DUREN, R.; HENSLEY, S.; KOBRICK, M.; PALLER, M.; RODRIGUEZ, E.; ROTH, L.; SEAL, D.; SHAFFER, S.; SHIMADA, J.; UMLAND, J.; WERNER, M.; OSKIN, M.; BURBANK, D.; ALSDORF, D. The shuttle radar topography mission. Reviews of Geophysics, v. 45, n. 2005, p. 1–33, 2007.

FARIA, T. O.; VECCHIATO, A. B.; SALOMÃO, F. X. T.; SANTOS Jr, W. A. **Abordagem morfopedológica para diagnóstico e controle de processos erosivos**. Ambi-Agua, Taubaté, v. 8, n. 2, p. 215-232, 2013. (<http://dx.doi.org/10.4136/ambi-agua.1007>).

FIGUEIREDO, D. M.; SALOMÃO, F. X. T. **Bacia do Rio Cuiabá: uma abordagem socioambiental**. Cuiabá: Entrelinhas: EdUFMT, 2009. 216 p.

FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE (FEMA/MT). **Caracterização hidrográfica do Estado de Mato Grosso: relatório preliminar**. Cuiabá, MT: 1995.

FLORENZANO, T. G. **Geomorfologia: conceito e tecnologia atuais**. São Paulo. Oficina de Textos, 2008. 318 p.

GILBERT, G. K. **The geology of the Henri Montains**. Washington: United States Geographical and geological survey. 1877.

HACK, J. T. **Interpretation of erosional topography in humid-temperate regions**. Amer. Journ. Sci. New Haven. Conn. V. 258 – A. p. 80-97.1960.

HASUI, Y. *et al.* **Datações Rb-Sr e K-Ar do centro-norte do Brasil e seu significado geológico-geotectônico**. Anais do XXXI Congresso Brasileiro de Geologia. Camboriu, V. 5, p. 2659-2667. 1980.

HORTON, R. E. The role of infiltration in the hydrology cycle. **Trans. Am. Geophys. Union**. v. 14. p. 446 – 460. 1932.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Censo 2016**. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br>. Acesso em 20 jun. 2017.

LANDAU, E. C.; PEREIRA GUIMARÃES, D. **Análise Comparativa entre os modelos digitais de elevação ASTER, SRTM e TOPODATA**. XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, p. 4003, 2011.

LI, Z.; ZHU, C.; GOLD, C. **Digital terrain modeling: principles and methodology**. [s.l.] CRC press, 2004.

LINDSAY, J. B. **Whitebox GAT: A case study in geomorphometric analysis**. Computers and Geosciences, v. 95, p. 75–84, 2016.

LUZ, J. S.; OLIVEIRA, A. M.; SOUZA, J. O.; MOTTA J. F. M.; TANNO, L. C.; CARMO, L. S.; SOUZA, N. B. 1980. **Projeto Coxipó**. Goiânia, DNPM/CPRM. V. L, 136 P. (Relatório Final).

MARTANNE, E. de. Tratado de Geografia Física. Barcelona: Juventud. 1964.

MENDONÇA, H. R. **Utilização de Veículo Aéreo não Tripulado–VANT– No Gerenciamento de Resíduos Sólidos. Estudo de Caso: Aterro Sanitário de Cuiabá-MT**, 2018. (No prelo).

MIGLIORINI, R. B. **Hidrogeologia em meio urbano. Região de Cuiabá e Várzea Grande**. 1999. 150 f. Tese (Doutorado em Geociências). Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999.

MIGLIORINI, R. B.; SILVA, A. A. K. E. **Hidrogeologia em rochas fraturadas. Estudo do Grupo Cuiabá**. In: Joint World Congress on Groundwater, 1, 2000. Fortaleza. Anais. Fortaleza, v. 11. 2000.

MILLER, C. L.; LAFLAMME, R. A. Theory & Application *. p. 433–442, 1958.

MINSON, G. I. **Caracterização preliminar da qualidade das águas subterrâneas do projeto assentamento Gamaliel, Cuiabá-MT**. 2016. 66f. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos). Universidade Federal de Mato Grosso. Cuiabá-MT. 2016.

OLIVEIRA, ANA FLÁVIA DE. Decifrando a ferramenta Slope com arquivo raster no ArcGIS. jul de 2017. Disponível em: <http://mundogeo.com/blog/2017/07/26/artigo-decifrando-a-ferramenta-slope-com-arquivo-raster-mde-no-arcgis/>.

POWEL, J. W. **Exploration of the Colorado River of the West and its tributaries**. Washington: Smith-sonian Institution. 1875.

RABUS, B.; EINEDER, M.; ROTH, A.; BAMLER, R. **The shuttle radar topography mission - A new class of digital elevation models acquired by spaceborne radar**. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, v. 57, n. 4, p. 241–262, 2003.

RAPIDEYE. **Satellite Imagery Product Specifications**. Disponível em: www.RapidEye.com. Acesso em: 15 fev 2018.

ROSS, J. L. S. **O registro cartográfico dos fatos Geomórficos e a questão da taxonomia do relevo**. Revista do Departamento de Geografia/FFLCH/USP, n.º 6, 17-29, 1992.

ROSS, J. L. S.; SANTOS, L. M. **Geomorfologia**. In: **Projeto RADAMBRASIL. Folha SD21 Cuiabá**. Rio de Janeiro, Ministério de Minas e Energia, pp 193-256 (Levantamento de Recursos Naturais, v.26).1982.

SALOMÃO, F. X. de T.; NAKASU, L.; PONÇANO, W. L. **O estudo do meio físico como subsídio para a identificação de áreas potencialmente irrigáveis.** In: Congresso Brasileiro De Geologia de Engenharia, 3. 1981. Itapema. Anais... São Paulo: ABGE, p. 285-300. 1981.

SANTOS, F. M. **Aplicação de métodos geofísicos no estudo da contaminação da água subterrânea no lixão da Cuiabá-MT.** Dissertação (Mestrado em Física e Meio Ambiente). Instituto de Ciências Exatas e da Terra. Universidade Federal do Mato Grosso, Cuiabá, 88p. 2005.

SECRETARIA DE ESTADO DO MEIO AMBIENTE (SEMA). Cuiabá: KCM Editora, p. 184, 2009.

SILVA, N. A.; RONDON LIMA, E. B. N. R.; SILVINO, A. N. O.; SANTOS, A. A.; SILVA, J. B.; LIMA, J. B. **Caracterização espacial das pisciculturas na bacia do rio Cuiabá/ MT.** Engenharia Ambiental. Espírito Santo do Pinhal, v. 5, n. 3, p. 47-62, 2008.

SILVA, W. C. da. **Mapeamento da bacia hidrográfica do Rio Coxipó-MT,** escala 1:100.000. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos: manejo e conservação). Universidade Federal de Mato Grosso. 2009.

SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEOAMBIENTAL DE CUIABÁ, VÁRZEA GRANDE E ENTORNO – SIG CUIABÁ. Org. Jaime J. Thomé F°.; Gilberto Scislewski; Edgar Shinzato; Gustavo A. Rocha., et al. Goiânia: CPRM, 2004.

SOTCHAVA, V. B. **Definition de Quelques Notions et Termes de Géographie Physique.** Institute de Geographie de la Siberie et Extrem Orient. n. 3, p. 94-177, 1962.

SHIRAIWA, S.; LISOVSKY S.; ELIS, V.; PORSANI, J.; BORGES W. **Estudos geofísicos integrados no lixão de Cuiabá, MT, Brasil** – resultados preliminares. Revista Brasileira de Geofísica, v. 20, n. 3, p.181-186. 2002.

TORRICO. **Projeto RADAMBRASIL e as metodologias para a determinação da capacidade de uso dos recursos naturais renováveis e das relações uso atual/uso potencial.** 1998-2011. Disponível em: <http://www.projeto.radam.nom.br:80/metodologia.html>. Acesso em: 15 fev. 2018.

TRICART, J.; Ecodinâmica. Rio de Janeiro IBGE/SUPREN. 1977.

VALERIANO, M. **Modelo digital de variáveis morfométricas com dados SRTM para o território nacional:** o projeto TOPODATA. Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, p. 3595–3602, 2005. Disponível em: https://scholar.google.com/scholar?cluster=298304054079280865&hl=en&as_sdt=2005&scioldt=0,5. Acesso em 20 jan. 2018.

VALERIANO, M.M. **Dados topográficos.** In: FLORENZANO, T.G. (Org.). Geomorfologia, conceitos e tecnologias atuais. São Paulo: Oficina de Textos, 2008. p.72-104.

VALERIANO, M.; FÁTIMA ROSSETTI, D.; ALBUQUERQUE, P. C. G. **TOPODATA: desenvolvimento da primeira versão do banco de dados geomorfométricos locais em cobertura nacional.** Bibdigital.Sid.Inpe.Br, n. Figura 1, p. 5499–5506, 2009. Disponível em: <http://bibdigital.sid.inpe.br/rep-/dpi.inpe.br/sbsr@80/2008/11.14.21.06>. Acesso em 20 jan. 2018.

VAN ZYL, J. J. The shuttle radar topography mission (SRTM): **A breakthrough in remote sensing of topography**. Acta Astronautica, v. 48, n. 5–12, p. 559–565, 2001.

WILSON, J. P.; GALLANT, J. C. **Digital Terrain Analysis. Terrain Analysis: principles and applications**, n. 1988, p. 1–21, 2000.

ZONEAMENTO SÓCIO-ECONÔMICO-ECOLÓGICO: DIAGNÓSTICO SÓCIO-ECONÔMICO-ECOLÓGICO DO ESTADO DE MATO GROSSO E ASSISTÊNCIA TÉCNICA NA FORMULAÇÃO DA 2ª APROXIMAÇÃO. **Apresentação Geral das Memórias Técnicas** – Geomorfologia. Parte 2: Sistematização das Informações Temáticas, Nível Compilatório. Cuiabá: Relatório Técnico, 2000. 40 p.

APÊNDICE A: Ficha para descrição em campo.

Local:	Data:	Hora:	Descrição:		
Ponto GPS:	Coordenadas: Lat.	Long.	Alt.		
I. A. MEIO FÍSICO <u>I.1. Geoformas</u> ☐ Residual ☐ Erosional ☐ Depositional <u>Componentes/ Setores</u> ☐ Superfície Tabular ☐ Inclinação ☐ Horizontal Forma do Topo ☐ Alongada ☐ Tabular ☐ Crista ☐ Simétrica ☐ Fracamente Assimétrica ☐ Foertemente Assimétrica Simetria ☐ Côncava/Convexa ☐ Côncava ☐ Convexa ☐ Retilínea Forma ☐ Muito Alta $\geq 45^\circ$ ☐ Alta 20° a 45° ☐ Moderadamente Alta 13° a 20° ☐ Média ☐ Baixa ☐ ≤ 100 m ☐ 100 a 500 m ☐ > 500 m Declividade Média ☐ Alta ☐ Média ☐ Baixa Comprimento ☐ 'V' Fechado ☐ 'V' Aberto Profundidade ☐ Vale ☐ Várzeas Forma Obs:			I.2 Cobertura Superficial Espessura m: Arredondamento/ Esfericidade Mineralogia/ Rocha Constituição Granulometria Consolidada/ parcialmente/não cons. Porosidade/ Permeabilidade		I.B. MEIO BIÓTICO <u>I.2. Fitofisionomia</u> ☐ Cerrado Aberto ☐ Cerrado Arbustivo ☐ Mata Ciliar ☐ Campo Rupestre ☐ Gramínea ☐ Outros:
			I.3. Solo Espessura m: Tipos de Horizontes/m ☐ Plintitas m: ☐ Horizonte Iluvial m: ☐ Gleização m: ☐ Horiz. Orgânico m: ☐ Tipologia Solo m:		
			I.C. MEIO ANTRÓPICO <u>I.3. Uso e Ocupação</u> ☐ Pastagem Natural ☐ Pastagem Plantada ☐ Mineração ☐ Aterro Sanitário ☐ Chácaras ☐ Outros:		
			I.4. Substrato Intemperismo ☐ Alto ☐ Médio ☐ Baixo Litotipo: Plintosa Mineralogia: Hidróxido de ferro Cor: Avermelhada Estratigrafia Primária: Não observado Estratigrafia Secundária: Não observado Geotectônica ☐ Meta-diamictito ☐ Meta-arenito ☐ Meta-grauvaca ☐ Meta-conglomerado ☐ Filito Carbonoso ☐ Veios: Quatzo leitoso ☐ Obs:		