



Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul
Unidade Universitária de Dourados
Programa de Pós- Graduação em Recursos Naturais

**DELIMITAÇÃO E ANÁLISE ESPACIAL DE PERDA DE
SOLO ANUAL DA BACIA DO RIO DOURADOS COM
AUXÍLIO DE GEOTECNOLOGIAS LIVRES E/OU
GRATUITAS**

Nelson Ferreira Correa

Dourados – MS

Fevereiro/2018





**DELIMITAÇÃO E ANÁLISE ESPACIAL DE PERDA DE
SOLO ANUAL DA BACIA DO RIO DOURADOS COM
AUXÍLIO DE GEOTECNOLOGIAS LIVRES E/OU
GRATUITAS**

Acadêmico: Nelison Ferreira Correa

Orientador: Prof. Dr. Laércio Alves de Carvalho

Co-orientador: Prof. Dr. Vinícius de Oliveira Ribeiro

“Dissertação apresentada ao programa de pós-graduação em Recursos Naturais, área de concentração em Recursos Naturais, da Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul, como parte das exigências para a obtenção do título de Mestre em Recursos Naturais”.

Dourados – MS

Fevereiro/2018

C844d Correa, Nelison Ferreira

Delimitação e análise espacial de perda de solo anual da bacia do Rio Dourados com auxílio de geotecnologias livres e/ou gratuitas/ Nelison Ferreira Correa. Dourados, MS: UEMS, 2018.

69 p. ; 30cm.

Dissertação (Mestrado) – Recursos Naturais – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul, Unidade Universitária de Dourados, 2018.

Orientador : Prof. Dr. Laércio Alves de Carvalho.

1. EUPS. 2. Bacia hidrográfica . 3. SIG . I. Título.

CDD 23.ed. 526.982

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MATO GROSSO DO SUL
UNIDADE UNIVERSITÁRIA DE DOURADOS
PÓS-GRADUAÇÃO EM RECURSOS NATURAIS

ACADÊMICO: NELISON FERREIRA CORREA

ORIENTADOR: PROF. DR. LAÉRCIO ALVES DE CARVALHO

CO-ORIENTADOR: PROF. DR. VINICIUS DE OLIVEIRA RIBEIRO

APROVADO (__/__/__)

Prof. Dr. Laércio Alves de Carvalho (orientador)

Prof. Dr. Antonio Conceição Paranhos Filho

Prof. Dra. Rosa Maria Farias Asmus

*“A percepção do desconhecido
é a mais fascinante das experiências.
O homem que não tem os olhos abertos
para o misterioso passará
pela vida sem ver nada.” Albert Einstein*

A minha família,

Minha mãe Otilia, meu pai Januário, meus irmãos Noeli, Nedison, Nedina e cunhados que mesmo provindos de vida humilde e esforçada, estiveram sempre me incentivando e apoiando nos momentos mais complicados durante o mestrado, me estimulando e dando força para superar as adversidades da vida e buscar sempre vencer.

Muito obrigado

DEDICO

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus por ter me concedido a vida e a saúde para enfrentar os desafios que passam em nossos caminhos diariamente, concedendo esperança e sabedoria para sempre prosseguir.

À toda minha família pela ajuda e suporte durante o período de mestrado, auxiliando nos momentos de dificuldade e de desânimo.

À CAPES pela concessão da bolsa de pós-graduação durante o período de estudo.

À UEMS pelo ensino de qualidade, essencial à minha formação profissional.

Aos Professores Doutores Vinícius de Oliveira Ribeiro e Laércio Alves de Carvalho que a partir da imensa experiência acadêmica e profissional de ambos, me ensinaram a seguir os caminhos de um bom engenheiro e pesquisador, com ética, profissionalismo e segurança nas tomadas de decisão. Muito obrigado.

Aos colegas do Mestrado e de outras instituições que estiveram presentes que de alguma forma em minha pós-graduação, auxiliando-me nesta caminhada.

A Viviane e demais colegas por terem me proporcionado momentos felizes durante este período da pós-graduação.

A minha prima Jéssica que conjuntamente passou estes dois anos apoiando e enfrentando os desafios que se apresentarem durante o período do mestrado.

Aos colegas Alessandro Hofstetter, João Lucas Alves, Gabriel Mendes e Walter Azambuja pelo apoio em visitas a campo e atividades em laboratório, sendo cruciais para realização deste trabalho.

Aos técnicos administrativos do PGRN Elisângela e Rafael por sempre terem sido atenciosos e prestadores durante o mestrado.

A todos os professores do curso de pós-graduação em Recursos Naturais (PGRN), essenciais para minha formação profissional acadêmica.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	x
LISTA DE TABELAS.....	xii
RESUMO	xiii
CONSIDERAÇÕES GERAIS	1
Introdução Geral	1
Área de Estudo.....	2
CAPÍTULO 1 - DELIMITAÇÃO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO DOURADOS POR MEIO DE MODELO DIGITAL DE ELEVAÇÃO	4
1.1 Introdução.....	5
1.2 Material e Métodos	6
1.2.1 Aquisição dos dados:.....	6
1.2.2 Obtenção do Modelo Digital de Elevação.....	7
1.2.3 Delimitação da Bacia Hidrográfica do Rio Dourados	8
1.3 Resultados e discussão	9
1.4 Conclusões.....	21
1.5 Referências Bibliográficas	22
CAPÍTULO 2- ALGEBRA DE MAPAS NA ESTIMATIVA QUALITATIVA DE PERDA DE SOLO ANUAL POR EROSÃO HÍDRICA LAMINAR NA BACIA DO RIO DOURADOS	26
2.1 Introdução	27
2.2 Material e métodos.....	28
2.2.1 Fator LxS – Topografia	28
2.2.2 Fator R – Erosividade da Chuva	30
2.2.3 Fator K – Erodibilidade do Solo.....	30
2.2.4 Fator CxP – Uso, Manejo e Práticas Conservacionistas.....	32
2.2.5 Fator A – Integração dos Fatores	34

2.3 Resultados e discussão	34
2.3.1 Fator LxS – Topografia	34
2.3.2 Fator R – Erosividade da Chuva	36
2.3.3 Fator K – Erodibilidade do Solo.....	37
2.3.4 Fato CxP - Uso, Manejo e Práticas Conservacionistas	40
2.3.5 Integração dos Fatores.....	41
2.4 Conclusão	46
2.5 Referências Bibliográficas	47
CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	53

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Área de localização da Bacia Hidrográfica do Rio Dourados, no estado de Mato Grosso do Sul.....	3
Figura 2 Obtenção de Ponto de Controle Altimétrico a Campo (GCP) a partir de GPS TopconHiPer L1.	8
Figura 3 Calha central da Bacia Hidrográfica do Rio Dourados.....	8
Figura 4 Fluxograma para delimitação de bacia hidrográfica pelo Quantum Gis 2.18.13. ..	9
Figura 5 Bacia Hidrográfica do Rio Dourados delimitada por meio de MDS SRTM 30 metros juntamente com seus respectivos segmentos de fluxo gerados. Imagem de fundo Landsat 8 fusionada, órbita 224 ponto 75. Composição RGB 543 Data de passagem 15/04/2017.....	10
Figura 6 Carta de declividade com destaque na região de foz e diferenças entre as delimitações utilizando-se de MDS SRTM 30 metros e Ottobacia da ANA.	11
Figura 7 Falsos Segmentos de fluxo (em amarelo), juntamente com respectiva delimitação da Bacia Hidrográfica do Rio Dourados utilizando-se MDS SRTM 30 m. Imagem de fundo Landsat 8 fusionada, órbita 224 ponto 75. Composição RGB 543 Data de passagem 15/04/2017.....	12
Figura 8 Falsa altimetria identificada causada pela presença de vegetação densa e delimitação acompanhada de artefato antrópico (estrada) como limite fisiográfico. Imagem de fundo Landsat 8 fusionada, órbita 225 ponto 75. Composição RGB 543 Data de passagem 15/04/2017.....	12
Figura 9 Falso segmento de fluxo gerado frente a incoerência de dados altimétricos do MDS SRTM 30 m. Imagem de fundo Landsat 8 fusionada, órbita 225 ponto 75. Composição RGB 543 Data de passagem 15/04/2017, representando a vegetação em tons de vermelho.	13
Figura 10 Desvio Padrão e Diferença da Coordenada a Priori sobre latitude – IBGE/PPP.	15
Figura 11 Desvio Padrão e Diferença da Coordenada a Priori sobre longitude – IBGE/PPP	16
Figura 12 Desvio Padrão e Diferença da Coordenada a Priori sobre altimetria – IBGE/PPP	17
Figura 13 Método de interpolação de dados altimétricos corrigidos (Grade TIN) para geração de MDE Corrigido.	18

Figura 14 Delimitação da Bacia Hidrográfica do Rio Dourados utilizando-se de MDE Corrigido, juntamente com seus respectivos cursos d'água (DSG, 1979).	19
Figura 15 Readequação dos limites fisiográficos da Bacia Hidrográfica do Rio Dourados por meio da geração de MDE.	20
Figura 16 Semelhança entre contornos das limitações fisiográficas da Bacia Hidrográfica do Rio Dourados e presença de artefatos antrópicos. Imagem de fundo Landsat 8 fusionada, órbita 225 ponto 75. Composição RGB 543 Data de passagem 15/04/2017.	21
Figura 17 Carta do Fator LxS (topografia) da Bacia Hidrográfica do Rio Dourados.	35
Figura 18 Região noroeste da bacia hidrográfica com grande parte dos maiores valores de Fator Topográfico (LxS).	36
Figura 19 Carta do Fator R (Erosividades da chuva).	37
Figura 20 Fator K – Carta de solos da bacia hidrográfica do Rio Dourados.	38
Figura 21 Respectivas classes de solos avaliadas <i>in loco</i> da Bacia Hidrográfica do Rio Dourados.	39
Figura 22 Carta de uso e cobertura do solo e práticas conservacionistas da bacia hidrográfica do Rio Dourados (Fator CP).	40
Figura 23 Carta de Integração dos fatores da equação USLE (Fator A – Perda de solo anual).	42
Figura 24 Comparação entre os Fatores CxP e a classificação dos solos da região (Embrapa, 2013).	43
Figura 25 Fator A Perda de solo Anual Região Noroeste.	44
Figura 26 Fator CxP em comparação com Fator topográfico LS na região Sudeste da Bacia Hidrográfica do Rio Dourados.	45
Figura 27 Comparação da Carta do Fator CxP com a carta do Fator A (perda anual de solo) na região sudeste da Bacia Hidrográfica do Rio Dourados.	46

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Precisão esperada para levantamento estático conforme IBGE-PPP.	13
Tabela 2 Valores de Área e Perímetro encontrados na delimitação da Bacia Hidrográfica do Rio Dourados utilizando-se de diferentes Modelos Digitais de Terreno e Bacia Hidrográfica da ANA.....	21
Tabela 3 Valores do coeficiente K para as diferentes classes de solo com suas respectivas referências bibliográficas.	31
Tabela 4 Classificação da erodibilidade dos solos (Fator K), conforme Manningel et al. (2002).	32
Tabela 5 Valores do Fator CP para cada classe de uso do solo (Stein et al.,1987 e Oliveira, 2012)	33
Tabela 6 Estatística das áreas da classificação de uso e ocupação do solo frente a área total da Bacia Hidrográfica do Rio Dourados.	41
Tabela 7 Estatística referente à classificação de perda de solo anual por faixa de valores.	42

RESUMO

A erosão hídrica é um processo natural que envolve a interação das chuvas sobre o solo provocando a movimentação e transporte de sedimentos de uma superfície para outra. A Equação Universal de Perdas de Solo – USLE é um modelo empírico para estimar a perda média anual de solo por erosão laminar representando importante instrumento investigativo sobre o processo erosivo. Anteriormente às atividades de monitoramento e gestão ambiental de uma bacia hidrográfica, deve-se delimitar fidedignamente os seus limites fisiográficos, de forma a estabelecer sua área de abrangência e usuários. Este trabalho objetivou delimitar a Bacia Hidrográfica do Rio Dourados e avaliar a susceptibilidade erosiva do solo da referente unidade territorial, por meio da aplicação da Equação USLE e de geotecnologias livres e gratuitas. Foi realizada a delimitação da Bacia Hidrográfica do Rio Dourados por meio de correção das altimetrias do MDS SRTM utilizando-se de DGPS HiPer GGD nos pontos críticos (presença de maciços florestais, artefatos antrópicos e em locais no qual foi gerado falsos segmentos de fluxo) e fotointerpretação por imagens do satélite Landsat 8 fusionadas. Foram obtidas cartas de fator topográfico (LxS), uso e ocupação do solo juntamente com a prática de manejos conservacionistas (CxP), erodibilidade dos diferentes tipos de solo (K) e erosividade da chuva a partir das medias anuais e mensais do local (R), visando à integração dos fatores da equação USLE e consequentemente a carta de perda média anual de solo por unidade de área (ton/ha. ano) da bacia hidrográfica do Rio Dourados. As regiões Sudeste e Noroeste da Bacia Hidrográfica do Rio Dourados apresentaram-se mais susceptíveis a perda de solo por erosão hídrica laminar frente as suas características geomorfológicas e ocupação antrópica, sendo regiões prioritárias para estudos quantitativos e ações de remediação. O uso de dados SRTM 30 metros para obtenção de MDE e fator topográfico da USLE/RUSLE (fator LS) mostrou ser uma alternativa prática e viável, minimizando custos e tempo de execução dos trabalhos, observado as dificuldades encontradas no gerenciamento de extensas unidades territoriais.

PALAVRAS-CHAVE: EUPS, bacia hidrográfica, SIG, MDE

ABSTRACT

Water erosion is a natural process that involves the interaction of rainfall on the soil causing the movement and transport of sediments from one surface to another. The Universal Soil Loss Equation (USLE) is an empirical model to estimate the average annual soil loss by laminar erosion representing an important investigative instrument on the erosive process. Prior to the activities of monitoring, environmental management of a river watershed, its physiographic limits must be clearly delimited in order to establish its coverage area and users. The objective of this work was to clearly delimit the Dourados River watershed and to evaluate the soil erosive susceptibility of the referent territorial unit, through the application of the USLE Equation and free geotechnologies. A reliable delimitation of the Dourados River Watershed was carried out by means of correction of the DSM SRTM altimetry using DGPS HiPer GGD at the critical points (presence of forest masses, anthropic artifacts and in places where false flow segments were generated) and photointerpretation by fused images of the Landsat 8 satellite. Topographic factors (LxS), land use and occupation maps were obtained along with conservation practices (CxP), erodibility of the different soil types (K) and rainfall erosivity from the annual and monthly means of the region (R), aiming at integrating the factors of the USLE equation and, consequently, the average annual soil loss per unit area (ton / ha year) of the Dourados river watershed. The Southeast and Northwest regions of the Dourados River Watershed were more susceptible to soil loss due to laminar water erosion due to their geomorphological characteristics and anthropic occupation, being priority areas for quantitative studies and remediation actions. The use of SRTM data 30 meters to obtain MDE and USLE / RUSLE topography factor (LS factor) proved to be a practical and viable alternative, minimizing costs and time of execution of the works, observing the difficulties encountered in the management of large territorial units.

KEYWORDS: USLE, watershed, GIS, DEM

CONSIDERAÇÕES GERAIS

Introdução Geral

A questão hídrica vem gerando conflitos inter-regionais e internacionais por conta do desequilíbrio entre a disponibilidade a demanda oriunda dos usos múltiplos dos cursos d'água, além de que nas últimas décadas vem ocorrendo a degradação das águas superficiais e subterrâneas, demandando a necessidade de inovações com relação à gestão e práticas sobre este recurso natural limitado, não afetando diretamente o desenvolvimento das nações (PEREIRA et al, 2002).

Segundo Biswas (2004), os problemas da questão hídrica já não podem ser resolvidos apenas por profissionais da área ou ministérios relacionados a este recurso natural tendo em vista que os mesmos estão cada vez mais interligados com demandas interdisciplinares, entre eles, as questões sociais, econômicas, ambientais, legais e políticas (em nível nacional e internacional).

Sob esta ótica, no Brasil, a unidade territorial fundamental para gestão dos recursos hídricos, estabelecido por meio da Política Nacional dos Recursos Hídricos – PNRH (BRASIL, 1997) é a bacias hidrográfica. A adoção da bacia hidrográfica como unidade de planejamento foi feita para atribuir maior base ambiental para o gerenciamento, de forma que as unidades político-administrativas se obrigassem a executar ações coordenadas e integradas com base técnica para defenderem os interesses comuns (SILVA, 2005).

Tucci (1997) ressalta que a qualidade das águas superficiais e subterrâneas de uma bacia hidrográfica são uma função direta de seus usos e ocupação do solo. Assim, são os usuários residentes nesta unidade fisiográfica os primeiros a influenciar e a sentir as alterações na qualidade e quantidade dos recursos hídricos.

Anteriormente às atividades de monitoramento e gestão ambiental de uma bacia hidrográfica, deve-se delimitar fidedignamente os seus limites fisiográficos, de forma a estabelecer sua área de abrangência e usuários (CATES et al., 2005).

Por meio da utilização das ferramentas de geotecnologias (cartografia, sensoriamento remoto, Softwares de Sistemas de Informação Geográfica – SIG, etc.) permite-se delimitar e avaliar os divisores de bacia hidrográfica obtidos a partir de Modelos Digitais de Elevação - MDE, dentre os mais utilizados destacam-se os da missão *Shuttle Radar Topography Mission* – SRTM (FARR et al., 2011), sendo uma ferramenta

essencial para delimitação de áreas de trabalho visando o desenvolvimento de estudos e monitoramentos ambientais, entre eles, a susceptibilidade a erosão hídrica laminar.

A erosão hídrica é um processo natural que envolve a interação das chuvas sobre o solo, provocando a movimentação e transporte de sedimentos de uma superfície para outra. Esta interação é potencializada por fatores como o manejo inadequado a retirada da cobertura vegetal, o que causa a produção excessiva de sedimentos que são carreados aos recursos hídricos superficiais mais próximos, gerando fenômenos como a eutrofização dos corpos d'água e também o assoreamento (SPATTI JUNIOR, 2011). Estes processos reduzem e/ou eliminam a vazão do corpo hídrico modificando o comportamento hidráulico ao longo do curso d'água dos canais fluviais, diminuindo conseqüentemente a vida útil de reservatórios utilizados para abastecimento público.

A Equação Universal de Perdas de Solo - USLE é um modelo empírico para estimar a perda média anual de solo por erosão laminar, representando importante instrumento investigativo sobre o processo erosivo, uma vez que a partir das características e propriedades dos fatores ambientais responsáveis pelas perdas de solos, permite a compartimentação da paisagem em níveis de instabilidade, possibilitando ações mais efetivas de planejamento ambiental e otimização dos recursos naturais (WISCHMEIER; SMITH, 1978).

O uso do sistema de informações geográficas (SIG) mostra-se como uma ferramenta de grande eficiência no que concerne à caracterização das áreas susceptíveis a erosão laminar, pois possibilitam rapidez e facilidade na aquisição, manipulação e integração de dados, que proporciona uma modelagem capaz de analisar qualitativamente a susceptibilidade de erosão do solo em determinada região (PARANHOS FILHO et al., 2015), no qual tais metodologias serão demonstradas no CAPÍTULO 2.

Área de Estudo

A Bacia Hidrográfica do Rio Dourados está inserida no sistema Paraná, sub-bacia do Rio Ivinhema e Bacia do Rio Brilhante. O corpo hídrico da calha central tem suas nascentes localizadas ao sul da Serra de Maracaju, no município de Antônio João/MS e sua foz deságua no Rio Brilhante, tendo sua área de localização conforme ilustrado na Figura 1. O Rio Dourados apresenta grande importância e tem caráter estratégico frente a sua utilização para abastecimento público de água para várias cidades do estado de Mato

Grosso do Sul, dentre elas, o município de Dourados, abastecida em 48% por este recurso hídrico (SANESUL, 2012).

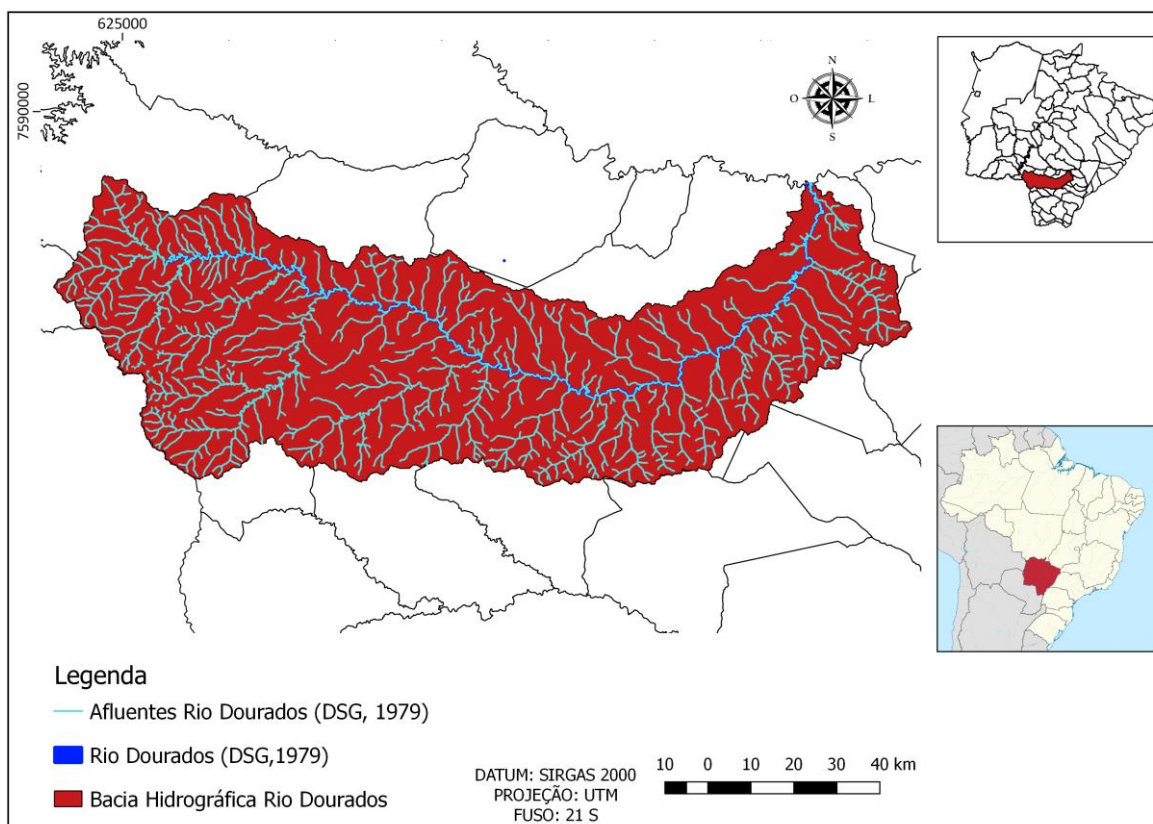


Figura 1 Área de localização da Bacia Hidrográfica do Rio Dourados, no Estado de Mato Grosso do Sul, 2017.

Ressalta-se que a localização da área de estudo será incluída nos artigos subsequentes (capítulo 1 e 2) no momento de suas respectivas submissões às revistas da área.

CAPÍTULO 1 - DELIMITAÇÃO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO DOURADOS POR MEIO DE MODELO DIGITAL DE ELEVAÇÃO

RESUMO

O tamanho e os limites da bacia são essenciais frente à determinação de parâmetros ambientais, como a susceptibilidade de perda de solo por erosão hídrica, visando avaliar como, quando e onde aplicar medidas de manejo para o controle da qualidade da água frente às características da bacia em questão e de seus usuários. Com isso, o presente trabalho objetivou a delimitação da bacia hidrográfica do Rio Dourados utilizando geotecnologias livres e gratuitas por meio de Modelo Digital de Elevação - MDE. Realizou-se a comparação dos limites fisiográficos da referente bacia hidrográfica, bem como as redes de drenagem modeladas utilizando-se o MDS SRTM, limite da ANA e o obtido pelo MDE, comparando-as com as Cartas do Diretoria de Serviços Geográficos do Exército (DSG) juntamente com a fotointerpretação utilizando-se de imagem Landsat 8 e visitas *in loco* com aferição de dados altimétricos utilizando-se de DGPS Geodésico HiPer GGD. Obtidas as correções dos pontos de controle a campo - GCPs, foi realizada a correção altimétrica das curvas de nível do MDS SRTM de resolução espacial de 30 metros no qual foi criado o MDE e delimitada a Bacia Hidrográfica do Rio Dourados. Observou-se uma diferença de 21,52% entre os valores dos limites obtidos pela delimitação utilizando MDS SRTM 30 e o MDE obtido. Comparando-se o limite oriundo do MDE e o limite da Ottobacia da ANA, a diferença é de 7,49% em perímetro, sendo que a proposta de uma nova delimitação baseada no MDE está relacionada basicamente nas incoerências existentes em alguns locais da bacia, principalmente na região de foz (plana e suave ondulada).

PALAVRAS-CHAVE: MDS, MDE, geotecnologias, SRTM

ABSTRACT

The size and limits of the watersheds are important when determining environmental parameters, such as the soil loss susceptibility due to water erosion, in order to evaluate how, when and where to apply management measures to control water quality against the characteristics of the watershed in question and its users. With this, the present work aimed

at the reliable delimitation of the Dourados river watershed using free geotechnologies by of Corrected Elevation Digital Model. A comparison was made of the physiographic limits of the referred watershed, as well as the drainage networks modeled using the SRTM spatial resolution of 30 m, ANA watershed and comparing them with the Maps of the Department of Geographical Services of the Army (DSG) together with the photointerpretation using Landsat 8 image and on-site visits with altimetric data gauging using the HiPer GGD Geodetic DGPS. Even the DSM SRTM 30 meters showing good representation in the study area, the modeling presented inconsistencies in the drainage networks and small distortions in the physiographic limits in certain places considered critical by the present study. Obtained the corrections of the ground control points (GCPs), the altimetric correction of the DMS SRTM spatial curves of spatial resolution of 30 meters was performed in which the C DEM was created and reliably delimited the Dourados River watershed. A difference of 21.52% was observed between the limits values obtained by delimitation, using MDS SRTM 30 and the obtained DEM. Comparing the limit from the MDE and the ANA Ottobacia limit, a difference of 7.49% in perimeter, being a proposal for a new real-time distribution MDE is basically related to the inconsistencies existing in some basin sites , mainly in the region of mouth (flat and soft wavy)

KEYWORDS: DSM, DEM, geotechnology, GIS, SRTM

1.1 Introdução

Silva (2005) afirma que a adoção da bacia hidrográfica como unidade de planejamento foi feita para permitir maior embasamento ambiental, observado um gerenciamento de forma que as unidades político-administrativas se obrigassem a executar ações coordenadas e integradas com base técnica para defenderem os interesses comuns.

O tamanho e os limites da bacia são importantes para determinar parâmetros ambientais, como a susceptibilidade de perda de solo por erosão hídrica, visando avaliar como, quando e onde aplicar medidas de manejo para o controle da qualidade da água frente às características da bacia em questão, sendo o tamanho uma consideração essencial no comportamento hidrológico, e também um dos parâmetros mais difíceis de modelar em uma bacia (SANTANA, 2003).

A individualização manual de bacia hidrográfica pode ser feita analogicamente, sobre o material cartográfico, ou pode ser feita digitalmente com o apoio visual no monitor. No segundo caso, necessita-se do apoio de dados topográficos, digitais ou analógicos, que consiste em, inicialmente, identificar o ponto de exutório, depois traçar o divisor perpendicularmente às curvas de nível, passando pelas cotas conhecidas mais elevadas até marcar toda a cumeeira do divisor de águas e por fim, retorna-se ao ponto de partida (VOGT et al, 2003).

O grande questionamento na obtenção manual dos limites de bacias hidrográficas é o caráter subjetivo utilizado na sua obtenção. Isto tem feito com que diferentes operadores obtenham diferentes limites, sem, contudo haver necessariamente erro em algum deles, ausentando-se desta forma uma delimitação fidedigna da fisiografia da unidade territorial (TORRES, 2007).

Thomson et al. (2001) ressaltam que os Modelos Digitais de Superfície - MDS apresentam acurácia relativa a qualidade de dados altimétricos (primários), a forma de estruturação dos dados, a resolução espacial e às características específicas do terreno a ser analisado. Um exemplo são os modelos digitais SRTM que podem apresentar incoerências frente a presença de ruídos durante o transporte de dados bem como a geometria orbital e características de relevo (JARVIS et al., 2004).

Paranhos Filho et al. (2016) afirma que o Modelo Digital de Terreno - MDT que reflete especificamente a superfície topográfica do terreno é chamado de Modelo Digital de Elevação - MDE, observado que os Modelos Digitais de Superfície - MDS representam a superfície do terreno acrescida de quaisquer objetos existentes sobre ela e que influenciem no valor da reflectância do pixel (como dosséis de vegetação, construções, etc.)

Ante o exposto, o presente trabalho objetivou, com auxílio de geotecnologias livres e/ou gratuitas, a obtenção de Modelo Digital de Elevação - MDE e a delimitação da Bacia Hidrográfica do Rio Dourados tendo por base este MDE.

1.2 Material e Métodos

1.2.1 Aquisição dos dados:

Neste estudo, foram utilizadas quatro imagens do satélite Landsat 8 TM (USGS, 2017) bandas 5-4-2, órbita-ponto 224/75, 224/76, 225/75 e 225/76, com data de passagem de 24 de abril de 2017, imagem *Shuttle Radar Topography Mission* – SRTM com

resolução espacial de 30 metros (GLCF, 2000) de mesmas órbitas-pontos, bacia hidrográfica de 5º nível disponibilizado pela Agência Nacional das Águas – ANA (ANA, 2017) e vetorização dos cursos d'água utilizando-se das cartas topográficas oficiais da região abordada no estudo elaboradas pela Diretoria de Serviço Geográfico do Exército Brasileiro (DSG, 1979 a; 1979 b), todos convertidos para o Datum SIRGAS 2000. Além disso, pontos de controle de campo (GCPs) foram obtidos por DGPS TOPCON HiPerGGD.

Os dados vetoriais (pontos, linhas e linhas fechadas), em formato shapefile (ESRI, 1997), representativos dos limites político administrativos do Estado de Mato Grosso do Sul e dos municípios envolvidos foram obtidos no sítio do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2015).

1.2.2 Obtenção do Modelo Digital de Elevação

A presença de vegetação, interferências no sensor de obtenção, ações antrópicas, dentre outros, podem promover inconsistências nas limitações e nas altimetrias das bacias hidrográficas afetando diretamente no cálculo de área e perímetro bem como na modelagem dos segmentos de fluxo (VALERIANO, 2006).

Assim, realizou-se a comparação dos limites fisiográficos da referente bacia hidrográfica, bem como as redes de drenagem modeladas, utilizando-se o Modelo Digital de Superfície - MDS SRTM e bacia hidrográfica da ANA comparando-as com as Cartas do Diretoria de Serviços Geográficos do Exército - DSG juntamente com a fotointerpretação obtida a partir de imagem Landsat 8 e curvas de nível geradas a partir do MDS.

A partir da fotointerpretação observam-se as feições detalhadas da superfície terrestre, que com o manuseio de documentos oficiais (Cartas DSG, IBGE, entre outros) torna-se ferramenta viável para classificação manual da área de estudo e determinação de possíveis pontos críticos (maciços florestais, estruturas antrópicas, entre outros) frente à determinação de limites fisiográficos e modelagem de rede de drenagem hidrográfica, (LILLESAND; KIEFER, 2004).

A partir do estabelecimento dos pontos críticos com auxílio de fotointerpretação e documentos oficiais, realizou-se visitas *in loco* para levantamento planialtimétrico utilizando-se DGPS HiPer GGD, equipamento constituído de receptor base (fixado por cinco horas e meia na região de levantamento) e outro receptor para obtenção de pontos

estáticos ao longo das áreas consideradas críticas, no qual os dados obtidos foram utilizados para retificação das curvas de nível provenientes do MDS SRTM.



Figura 2 Obtenção de Ponto de Controle Altimétrico a Campo (GCP) a partir de GPS Topcon HiPer L1, Rio Dourados, 2017.



Figura 3 Calha central da Bacia Hidrográfica do Rio Dourados, 2017.

1.2.3 Delimitação da Bacia Hidrográfica do Rio Dourados

O processo da delimitação automática, para o MDS SRTM e para o MDE, foi efetuado através do uso do pacote de algoritmos GRASS, instalado no QGIS 2.18.13 (2017). As rotinas executadas para modelagem hidrológica consistiram na elaboração dos segmentos de fluxo, direções de drenagem por meio do algoritmo *watershed*, em que utilizando-se o número de convergência de *pixels* igual a 1650 foi possível a geração dos modelos.

A respectiva área de influência da bacia, por meio de ponto exutório foi obtida utilizando-se do algoritmo *water outlet*, que usa como *inputs* o modelo de direção de drenagem (*aspect*) e coordenadas geográficas do ponto de exutório, consistindo no ponto responsável pela convergência de todo escoamento superficial dos cursos d'água presentes na bacia hidrográfica para a foz (ABREU; TONELLO, 2017). Após vetorialização do

produto final obtido, permitiu-se o cálculo de área, perímetro e respectivos segmentos de fluxo da região em estudo (**Figura 4**).



Figura 4 Fluxograma para delimitação de bacia hidrográfica pelo Quantum Gis 2.18.13 (QGIS DEVELOPMENT TEAM, 2017).

A Ottobacia do Rio Dourados foi adquirida em formato *shapefile* proveniente do sítio online da Agência Nacional das Águas – ANA, disponível em sua biblioteca de bacias hidrográficas de 5º nível que utiliza o método de Otto Pfastetter (método da equidistância) e MDS SRTM 90 metros para o estabelecimento de seus limites fisiográficos (SILVA, 2008).

1.3 Resultados e discussão

A partir da delimitação automática da Bacia Hidrográfica do Rio Dourados, observou-se que o MDS SRTM de resolução de 30 metros promoveu boa representação no que se refere à delimitação fisiográfica da Bacia Hidrográfica e redes de drenagem em grande parte da área em estudo ocupada por atividades agropastoris (**Figura 5**).

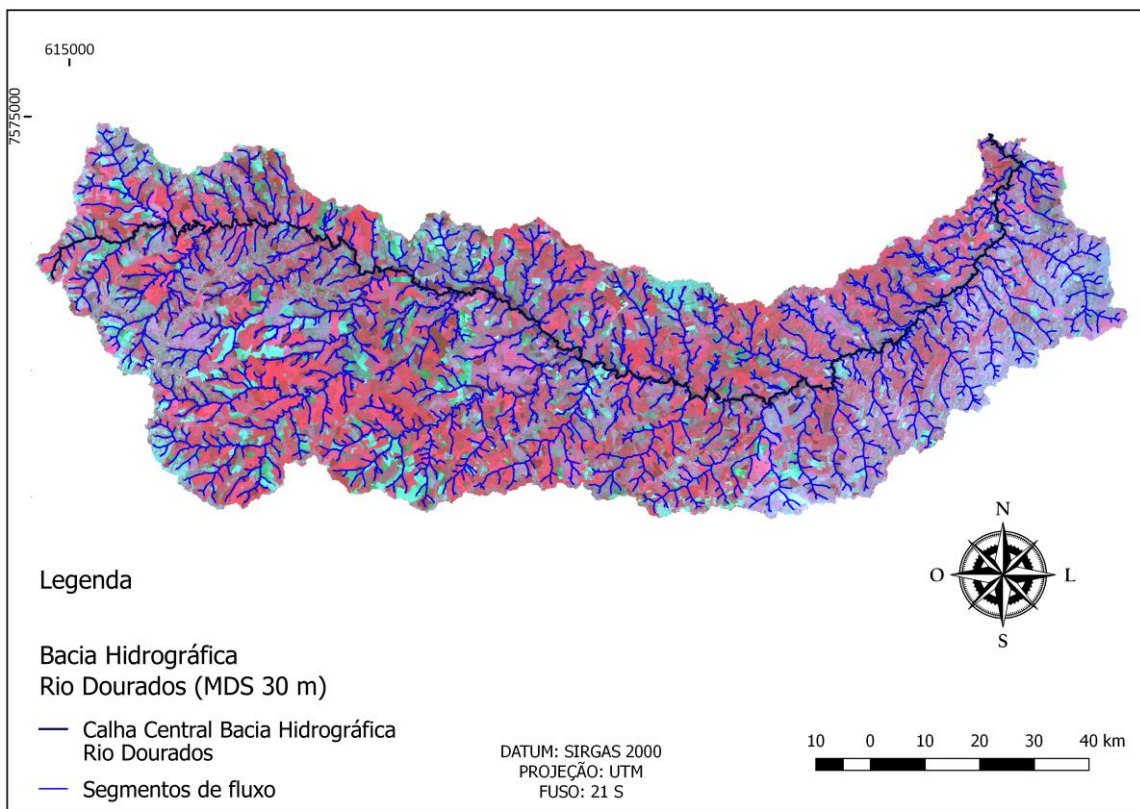


Figura 5 Bacia Hidrográfica do Rio Dourados delimitada por meio de MDS SRTM 30 metros juntamente com seus respectivos segmentos de fluxo gerados. Imagem de fundo Landsat8 fusionada, órbita 224 ponto 75. Composição RGB 543 Data de passagem 15/04/2017.

Nota-se que em torno de declividades compreendidas como planas (0 a 3%) e suave onduladas (entre 3 e 8%), o nível de detalhamento do MDS, bem como a Ottobacia disponibilizada pela ANA, não permitem a representação fidedigna do nível de elevação do local, conforme demonstrado na **Figura 6**. Neste sentido Valeriano (2006) confirma que os dados originais do SRTM com resolução espacial de 90 metros apresentam capacidade limitada para modelar características de drenagem de locais muito planos, onde é necessária uma interpretação visual do mesmo.

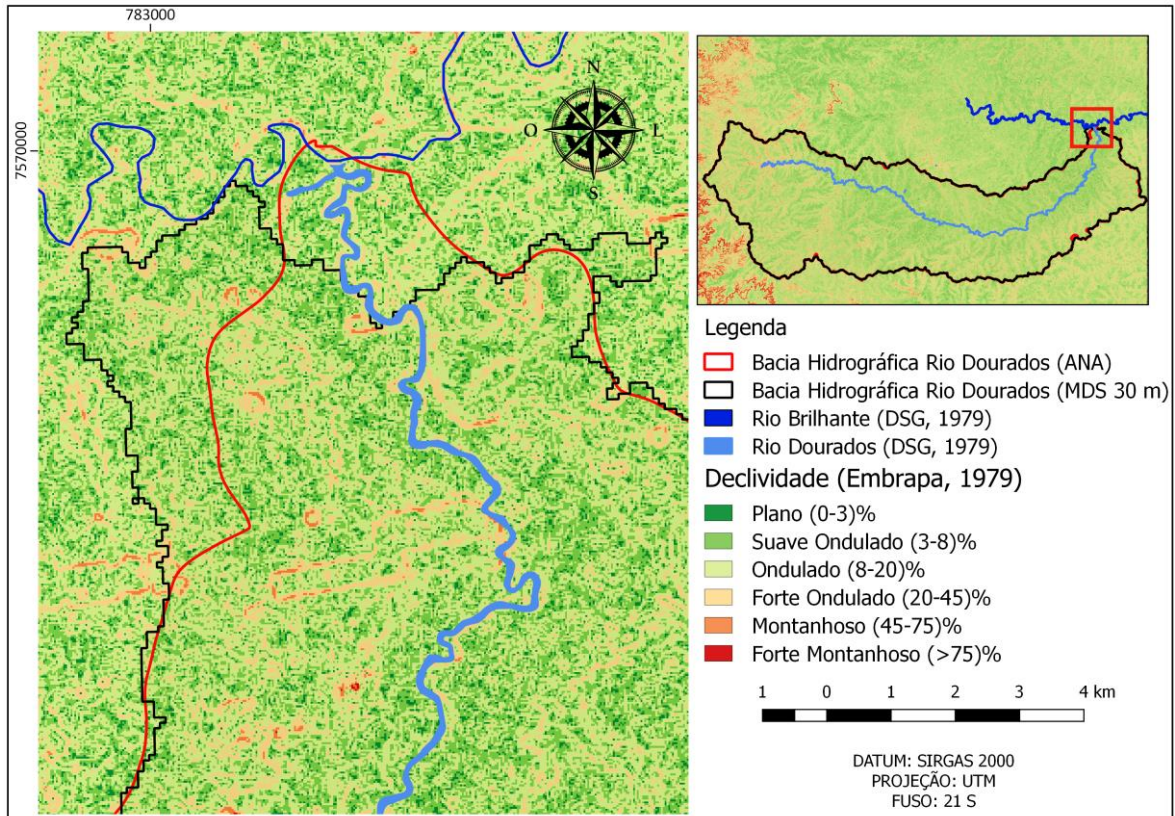


Figura 6 Carta de declividade com destaque na região de foz e diferenças entre as delimitações utilizando-se de MDS SRTM 30 metros e Ottobacia da ANA.

No produto da modelagem utilizando-se do MDS e Ottobacia da Ana observaram-se incoerências na rede de drenagem obtida, bem como pequenas distorções nos limites fisiográficos em determinados locais considerados como críticos pelo presente estudo, como região da foz (**Figura 7**) e regiões de pico próximas a maciços florestais e a artefatos antrópicos, como estradas (**Figura 8**), os quais apresentam dados de elevação anômalos (TESKE et al., 2014).

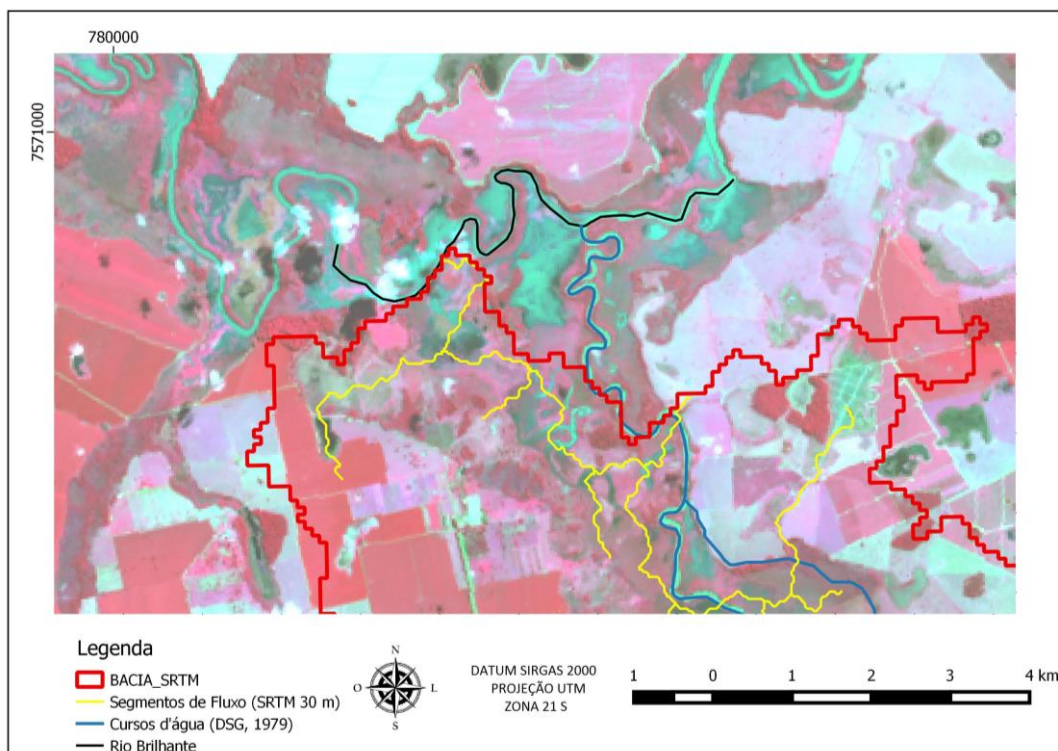


Figura 7 Falsos Segmentos de fluxo (em amarelo), juntamente com respectiva delimitação em vermelho da Bacia Hidrográfica do Rio Dourados utilizando-se MDS SRTM 30 m. Imagem de fundo Landsat8 fusionada, órbita 224 ponto 75. Composição RGB 543 Data de passagem 15/04/2017.

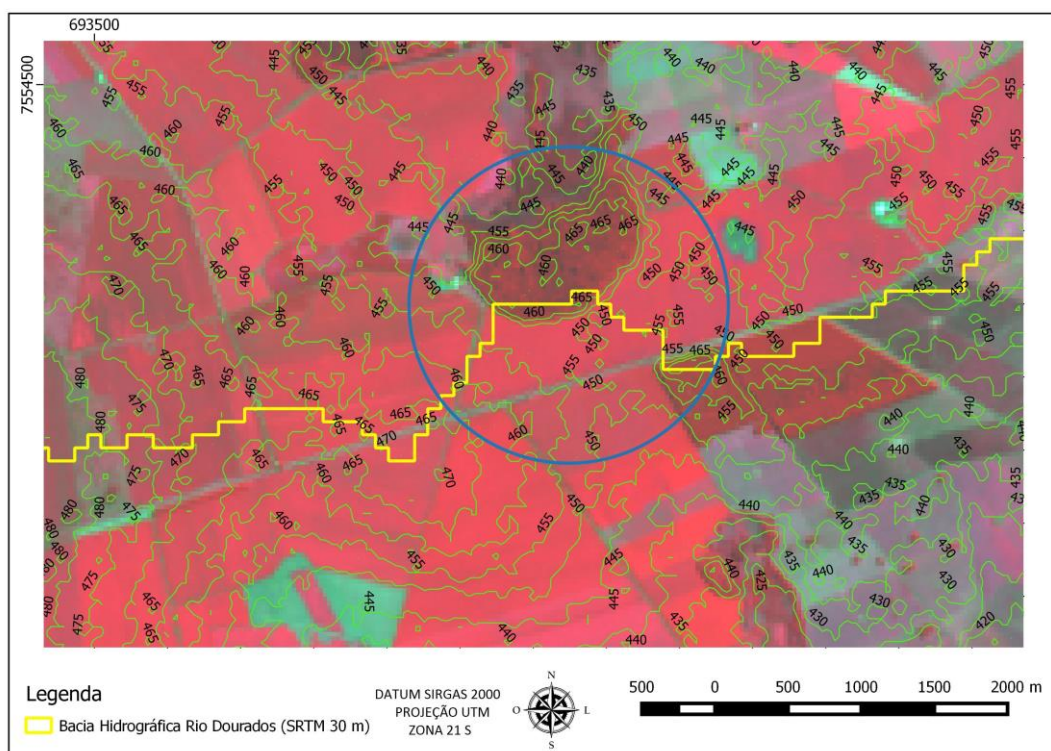


Figura 8 Falsa altimetria identificada na região destacada pelo círculo azul, causada pela presença de vegetação densa e delimitação acompanhada de artefato antrópico (estrada) como limite fisiográfico. Imagem de fundo Landsat 8 fusionada, órbita 225 ponto 75. Composição RGB 543 Data de passagem 15/04/2017.

Além das alterações frente aos limites fisiográficos da referida Bacia Hidrográfica, observou-se a presença de falsos segmentos de fluxo gerados frente à existência de maços florestais densos em determinados pontos, o que acarretou a incorreta afirmação do algoritmo considerando existência de canal de água, conforme observado na **Figura 9**. Por tal, correções foram realizadas na região perimetral e de foz da bacia em estudo de forma a retirar os picos anômalos referentes aos dosséis.

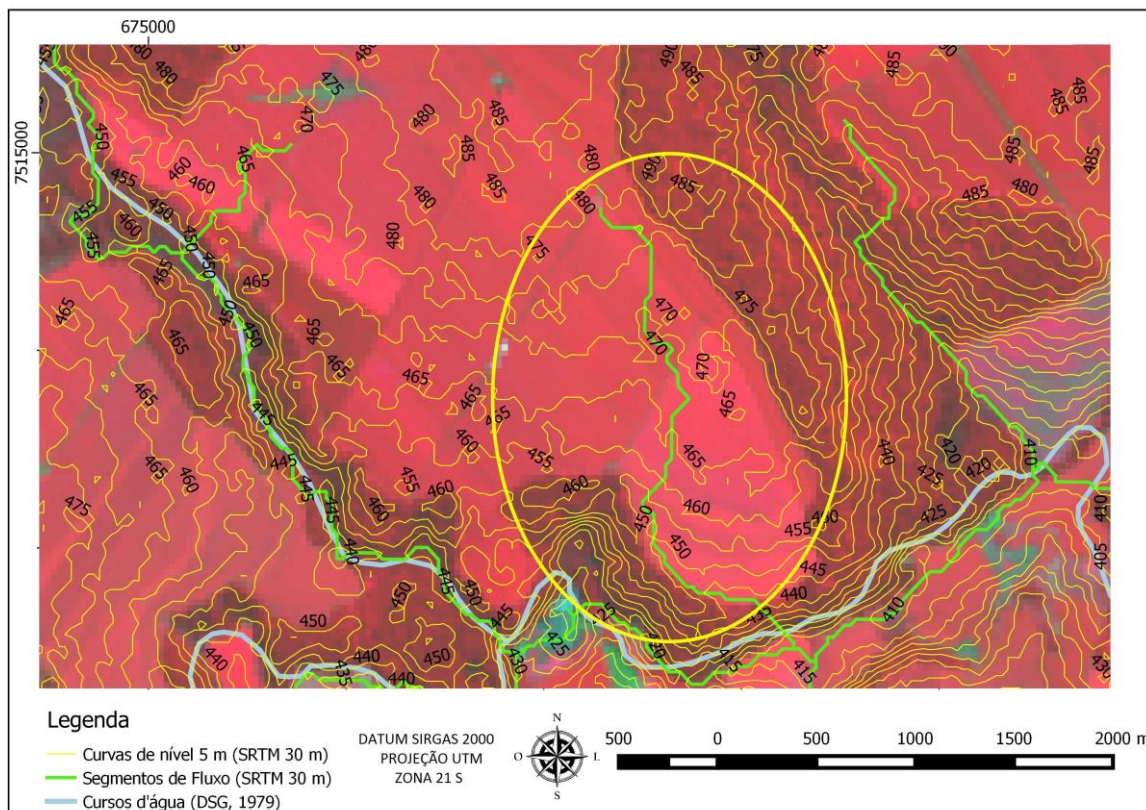


Figura 9 Falso segmento de fluxo gerado frente a incoerência de dados altimétricos do MDS SRTM 30 m. Imagem de fundo Landsat 8 fusionada, órbita 225 ponto 75. Composição RGB 543 Data de passagem 15/04/2017, representando a vegetação em tons de vermelho.

Tabela 1. Precisão esperada para levantamento estático conforme IBGE-PPP.

Precisão Esperada para levantamento estático (metros)		
Tipo de Receptor	Duas frequências	
	Planimétrico	Altimétrico
Após 4 horas	0,009	0,010

Realizada a obtenção dos dados planialtimétricos a campo, efetuaram-se os procedimentos de correção da coordenada geográfica da receptora base junto ao sítio online do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), no qual os dados em formato RINEX foram encaminhados ao sistema IBGE-PPP (Posicionamento por Ponto Preciso). Este sistema permite que os usuários que possuam receptores GPS e GLONASS obtenham coordenadas com alta precisão junto ao Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas, conhecido popularmente como SIRGAS 2000, no qual o ponto estático adquirido a campo é cruzado com produtos precisos, como órbitas e erro dos relógios de satélites (IBGE, 2017).

Ao fim do processamento do ponto de coordenadas geográficas do receptor base no sítio online do IBGE-PPP é encaminhado o Relatório de Posicionamento por Ponto Preciso, no qual apresenta o sumário de processamento, as coordenadas do marco base em SIRGAS 2000 e gráfico de Desvio Padrão e Diferença da Coordenada *a Priori*, em que observou-se uma estabilidade ao longo do tempo frente aos valores de coordenadas calculados, representando a confiabilidade de processamento interno do equipamento em relação a latitude, longitude e altimetria (**Figuras 10, 11, 12**).

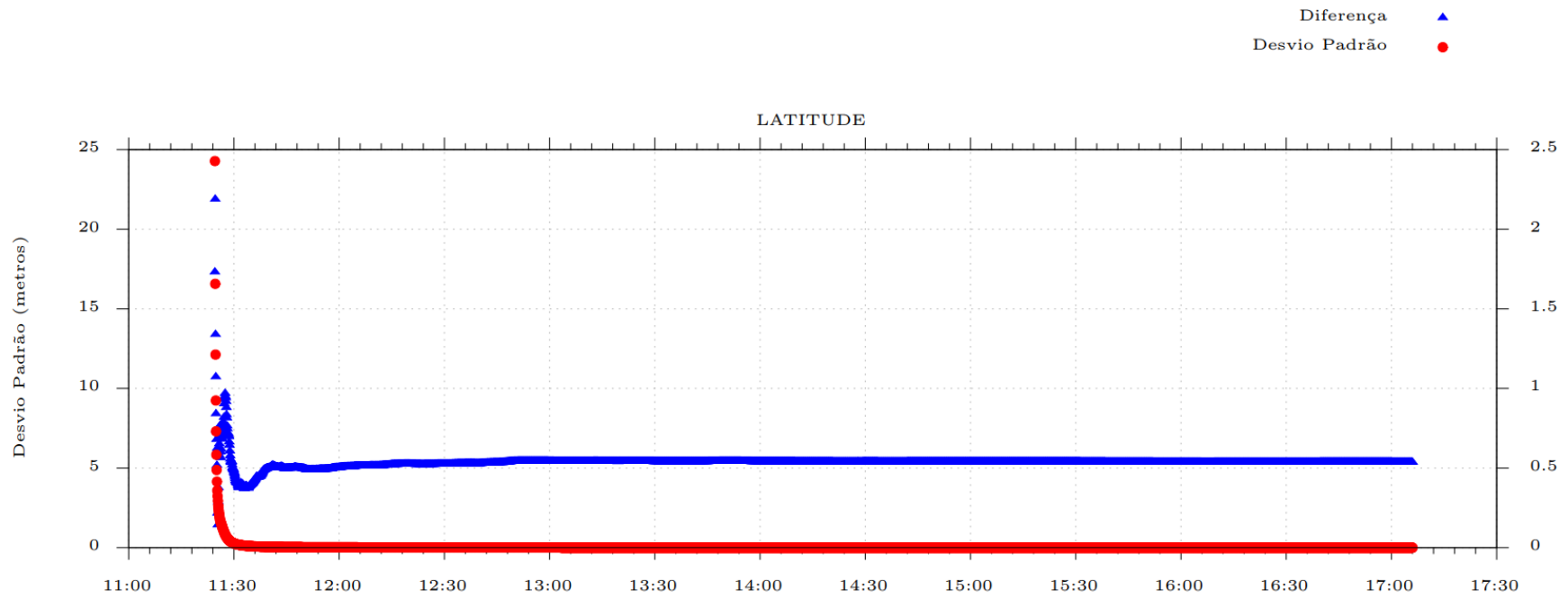


Figura 10 Desvio Padrão e Diferença da Coordenada a Priori sobre latitude – IBGE/PPP, 2017.

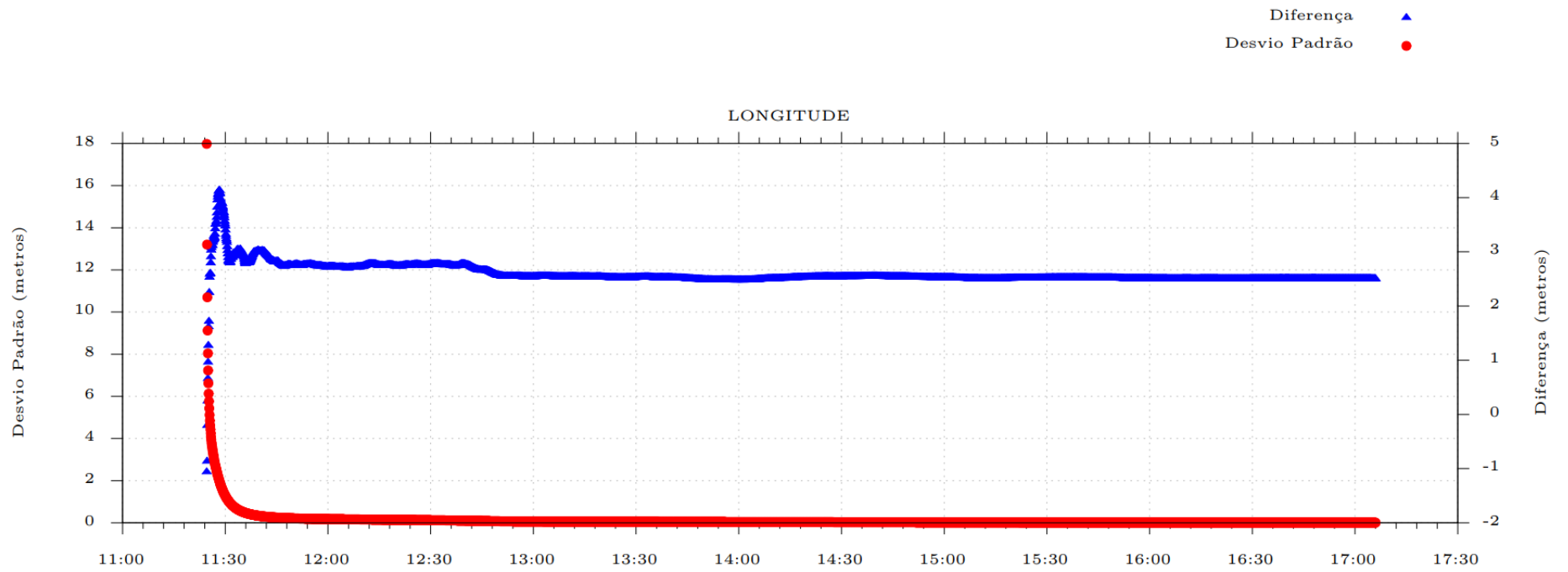


Figura 11 Desvio Padrão e Diferença da Coordenada a Priori sobre longitude – IBGE/PPP, 2017.

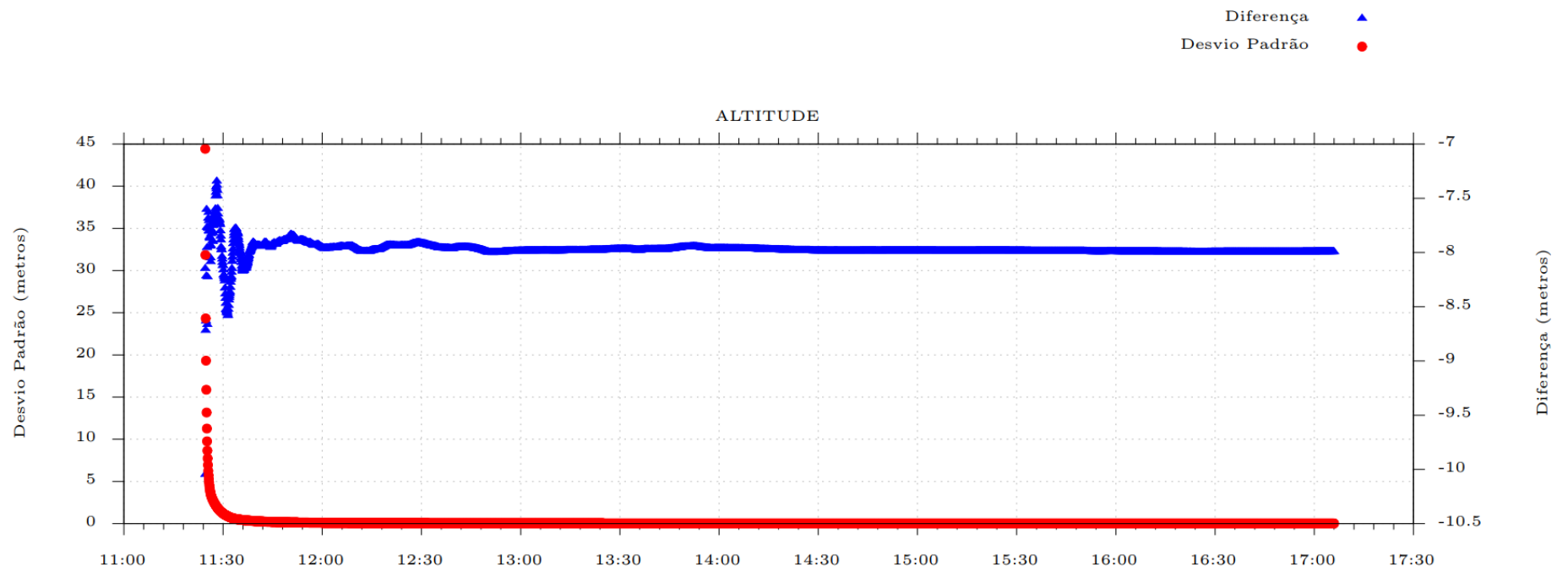


Figura 12 Desvio Padrão e Diferença da Coordenada a Priori sobre altimetria – IBGE/PPP, 2017.

Obtidas as correções dos pontos de controle a campo - GCPs, foi realizada a correção altimétrica das curvas de nível do MDS SRTM nas regiões críticas citadas anteriormente, sendo editados os valores de altimetrias e atribuídos os valores encontrados a campo. Na sequência foi obtido o Modelo Digital de Elevação - MDE por meio da geração de estrutura do tipo Grade Irregular Triangular - TIN (**Figura 13**) que permite preservar as informações relacionadas às feições geomórficas da superfície em estudo (como cristas e vales) (FELGUEIRA, 1998). Por fim foi possível realizar uma nova delimitação da bacia hidrográfica do Rio Dourados e uma modelagem da rede de drenagem mais acurada à base de cursos d'água vetorializado, tendo por base carta do DSG e a fotointerpretação dos canais por meio das imagens provenientes do satélite Landsat 8 (USGS, 2017) (**Figura 14**).

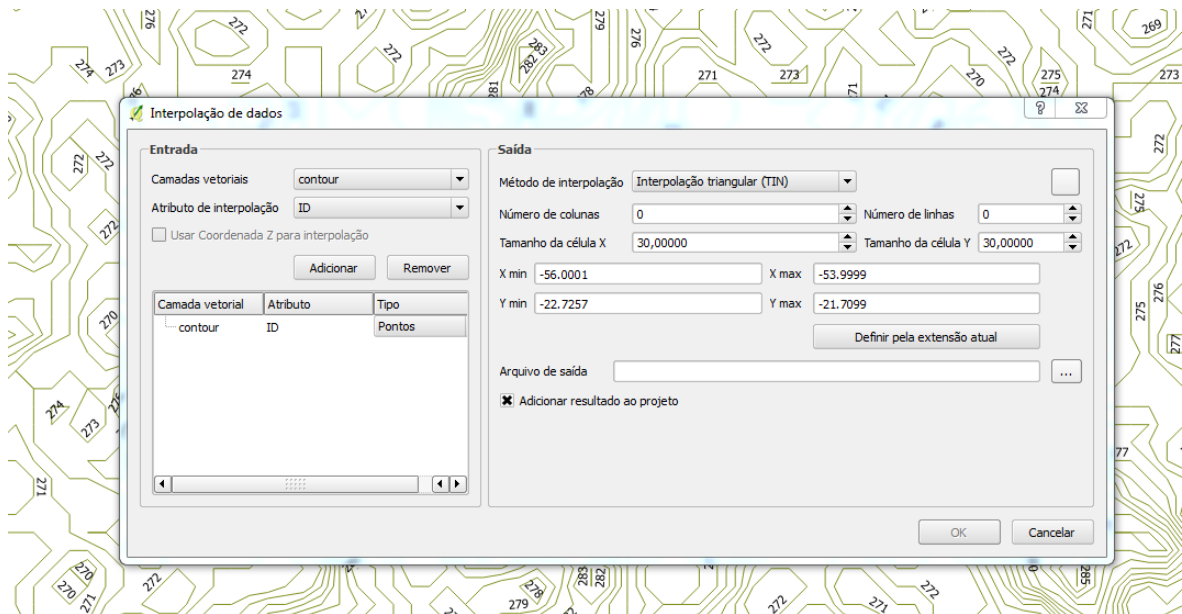


Figura 13 Método de interpolação de dados altimétricos corrigidos (Grade TIN) para geração de MDE Corrigido.

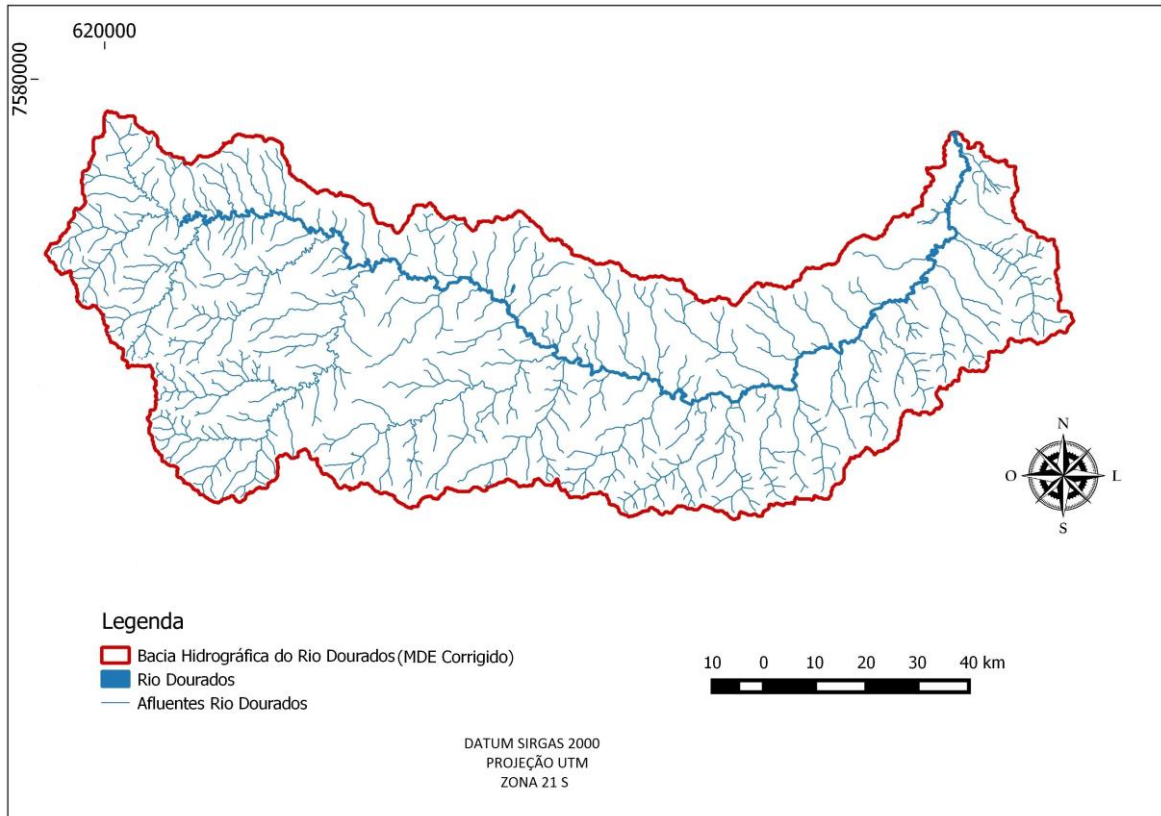


Figura 14 Delimitação da Bacia Hidrográfica do Rio Dourados utilizando-se de MDE Corrigido, juntamente com seus respectivos cursos d'água (DSG, 1979).

Observou-se que grande parte dos limites fisiográficos da Bacia hidrográfica do Rio Dourados utilizando-se de MDS SRTM 30 metros possuem semelhança aos trajetos das estradas presentes na região, demonstrando a importância que os executores das respectivas obras tiveram no que se refere à implantação das estradas nas regiões mais altas da referente bacia, evitando desta forma problemas relacionados a má drenagem em período de cheia (**Figura 16**).

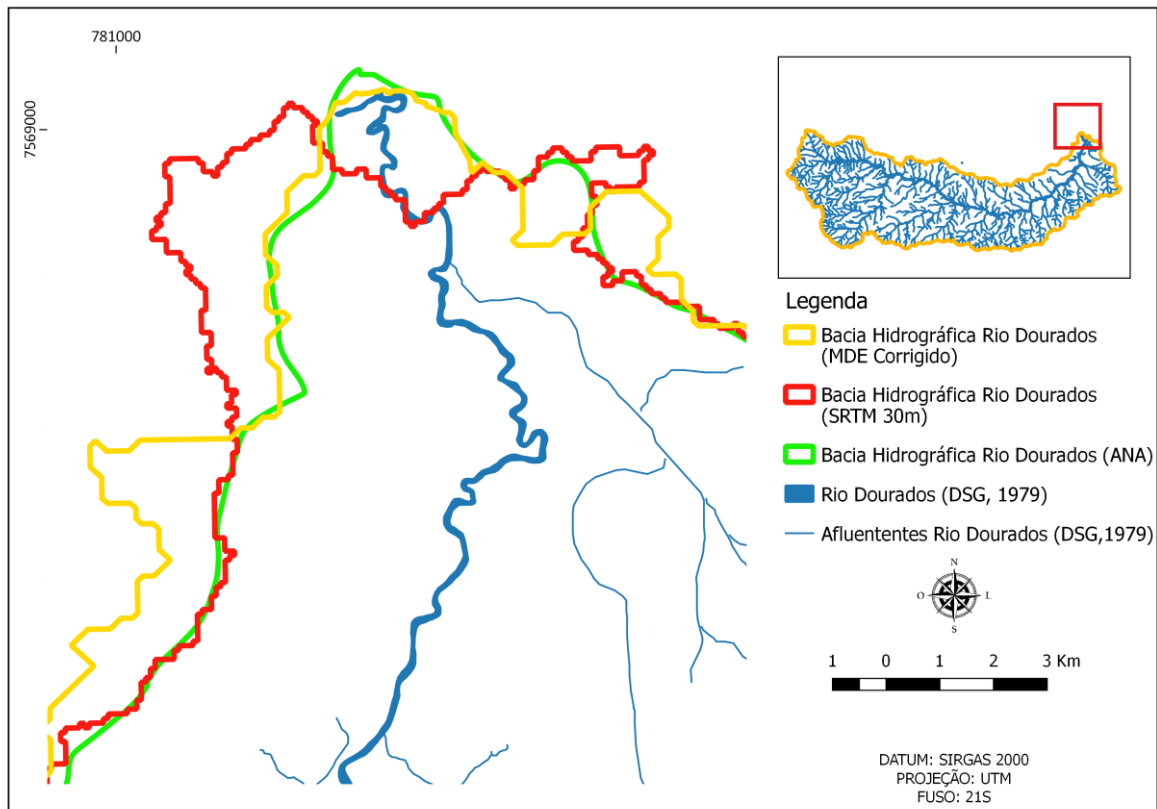


Figura 15 Readequação dos limites fisiográficos da Bacia Hidrográfica do Rio Dourados por meio da geração de MDE.

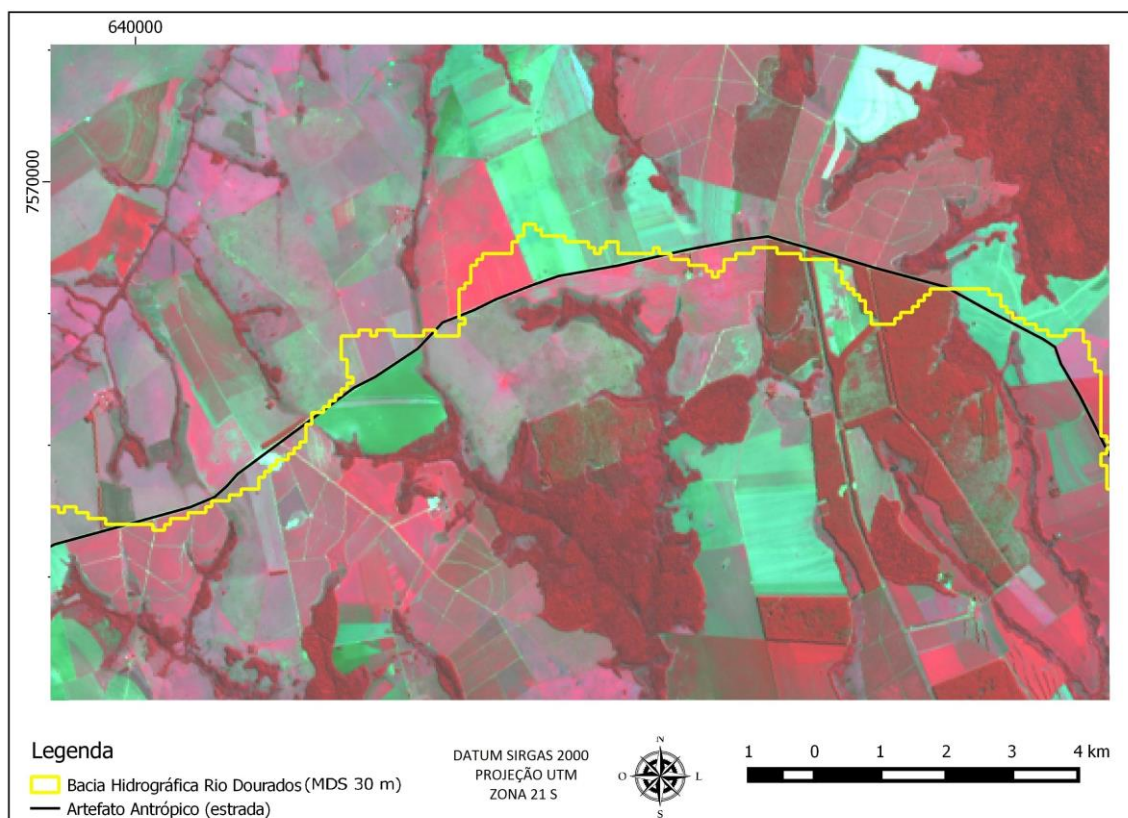


Figura 16 Semelhança entre contornos das limitações fisiográficas da Bacia Hidrográfica do Rio Dourados e presença de artefatos antrópicos. Imagem de fundo Landsat 8 fusionada, órbita 225 ponto 75. Composição RGB 543 Data de passagem 15/04/2017.

Tabela 2 Valores de Área e Perímetro encontrados na delimitação da Bacia Hidrográfica do Rio Dourados utilizando-se de diferentes Modelos Digitais de Terreno e Bacia Hidrográfica da ANA.

	MDS SRTM 30 metros	Bacia Hidrográfica ANA (Ottobacia)	MDE
Área (km ²)	9.238,6	9.219,9	9.239,8
Perímetro (km)	876,6	636,4	687,9

1.4 Conclusões

As diferenças fisiográficas entre as delimitações da referente unidade territorial utilizando-se do MDS SRTM, Ottobacia da ANA e MDE afetaram o valor de perímetro da Bacia Hidrográfica em questão, podendo acarretar divergências em futuras análises

morfométricas, como índice de compacidade, índice de circularidade, fator de forma, dentre outros.

Observou-se uma diferença de 21,52% entre os valores dos limites obtidos pela delimitação utilizando MDS SRTM 30 e o MDE obtido. Comparando-se o limite oriundo do MDE e o limite da Ottobacia da ANA, a diferença é de 7,49% em perímetro, sendo que a proposta de uma nova delimitação baseada no MDE está relacionada basicamente nas incoerências existentes em alguns locais da bacia, principalmente na região de foz (plana e suave ondulada).

Destaca-se que regiões muito planas e/ou que possuam dosséis vegetais densos promovem falsos dados altimétricos, acarretando em incoerências nas delimitações de bacias hidrográficas e na modelagem de suas respectivas redes de drenagem, sendo necessária sua correção a fim de se obter modelagens hidrológicas, viabilidade hídrica e análises morfométricas de forma mais acurada.

Os pontos coletados a campo promoveram uma maior qualidade final ao MDE corrigido, e por meio de uso de equipamento de alta precisão (GPS Geodésico) foi possível realizar as devidas correções de elevação nas regiões críticas presentes no modelo primário (MDS) e na Bacia Hidrográfica da ANA.

Os dados ambientais gratuitos de média resolução espacial e software livre atenderam as expectativas, mostrando-se como ferramentas de qualidade para delimitação de bacias hidrográficas e gerenciamento ambiental.

1.5 Referências Bibliográficas

ABREU, M. C.; TONELLO, K. C. Avaliação dos Parâmetros Hidrometeorológicos na Bacia do Rio Sorocaba/SP. **Rev. bras. meteorol.**, São Paulo, v. 32, n. 1, p. 99-109, Mar. 2017 . Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0102-77862017000100099&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 03 nov.2017.

<http://dx.doi.org/10.1590/0102-778632120150164>.

AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS. **Classificação Bacias Hidrográfica 5º nível.**

Disponível em:

http://metadados.ana.gov.br/geonetwork/srv/en/resources.get?id=47&fname=NIVEL_5.7z&access=private. Acesso em: 15 de nov. 2017.

BISWAS, A. K. Integrated Water Resources Management: A Reassessment. **Water International**. Vol 29, n° 2: 248-256, 2006.

CATES, K. J.; MADISON, F. W. Soil-Attenuation –**Potential Map of Pepin County**, Wisconsin. University of Wisconsin, Madison, Wisconsin, 2005.

DSG. **Departamento de Serviço Geográfico do Exército**. Carta Dourados. Escala 1:100.000. Folha SF 21-Z-B-II, 1979 a.

DSG. **Departamento de Serviço Geográfico do Exército**. Carta Rio Brillhante. Escala 1:100.000. Folha SF 21-X-D-V, 1979 b.

ESRI Inc. - ARC / INFO version 7.11. Environmental Systems Research **Institute Inc.** New York, 1997, 1 CD ROM.

FARR, T. G.; ROSEN, P. A.; 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. **Revista Geophys**, n. 45. RG2004, doi:10.1029/2005RG000183. 33 p., 2007. Disponível em <<http://www.agu.org/pubs/crossref/2007/2005RG000183.shtml>>. Acessado em 20 junho de 2017.

FELGUEIRA, C.A. Geoprocessamento para projetos ambientais: Modelagem Numérica de terreno. **INPE**, São José dos Campos – SP, P. 4-39, 1998.

GLCF - Global Land Cover Facility. **Cátalogo SRTM 2000**. Órbita/Ponto Órbita/Ponto 224/75, 224/76, 225/75/225/76. Disponível em: <<http://glcfapp.glcg.umd.edu:0800/esdi/index.jsp>>. Acessado em 20 junho de 2017.

IBGE - **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**, 2015. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/.htm>>. Acesso em: 20 de junho de 2017.

JARVIS, A.; RUBIANO, J.; NELSON, A.; FARROW, A.; MULT Practical use of SRTM data in the tropics – comparisons with digital elevation models generated from cartographic data. **Cali**: CIAT, 2004. 31p. (Workingdocument, 198).

LILLESAND, T.M.; KIEFER, R.W. **Remote Sensing and Image Interpretation**. John Willy e Sons Inc. New York – USA. 2004. 5 ed. 763p.

PARANHOS FILHO, A. C.; OLIVEIRA, E. F.; MIOTO, C.L. BARBOSA, A. F. Aplicação da Equação Universal de Perda do Solo (USLE) em Softwares Livres e Gratuitos. **Anuário do Instituto de Geociências – UFRJ**. Vol. 38 - 1 / 2015 p. 170-179, 2015.

PARANHOS FILHO, A.C.; MIOTO, C. L.; JUNIOR, J. M.; TORRES, T.G. **Geotecnologias em Aplicações Ambientais**. Campo Grande-MS: Editora UFMS, 2016.

PEREIRA, L.S.; OWEIS, T.; ZAIRI, A. Irrigation management under water scarcity. **Agriculture Water Management**. Vol. 57: 175-206,2002.

PFAFSTETTER, O. **Classificação de bacias hidrográficas**. Rio de Janeiro, RJ: Departamento Nacional de Obras de Saneamento, 1989.

QGIS Development Team. QGIS 2.18.13 Lisboa. **Geographic Information System**. Open Source Geospatial Foundation Project, 2017.

SANESUL, Empresa de Saneamento do Estado de Mato Grosso do Sul.Campo Grande/MS: **Publicação Interna**, 2012.

SANTANA, D. P. Manejo Integrado de Bacias Hidrográficas. **Embrapa Milho e Sorgo**. Documentos 30. ISSN, Sete Lagoas – MG. P. 1518-4277, 2003.

SILVA, A. L. M. **Direito do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais**. Volume 2. São Paulo: Editora Revista dos Tribunais, v. 2, 2005.

SILVA, N. S. et al . Sistema de otto-codificação modificado para endereçamento de redes hidrográficas. **Rev. Árvore**, Viçosa , v. 32, n. 5, p. 891-897, Oct. 2008 . Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-67622008000500014&lng=en&nrm=iso>. Acesso em 03 Fev. 2018. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-67622008000500014>.

SPATTI JUNIOR, E. **Avaliação Ambiental, Caracterização da Qualidade de Água e Transporte de Sedimentos na Bacia Hidrográfica do Ribeirão Monjolo Grande (SP)**. Dissertação de Mestrado, 2011.

TESKE, R.; GIASSON, E.; BAGATINI, T. Comparação do uso de modelos digitais de elevação em mapeamento digital de solos em Dois Irmãos, RS, Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 38(5): 1367-1376. Disponível em <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-06832014000500002&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 12 de janeiro de 2017.

THOMPSON, J.A.; BELL, J.C.; BUTLER, C.A. Digital elevation model resolution: effects on terrain attribute calculation and quantitative soil-landscape modelling. **Geoderma**, v.100, p.67-89, 2001.

TORRES, T. G.. **Geotecnologias na geração do divisor de bacias hidrográficas: um instrumento para a Política de Recursos Hídricos** / - Campo Grande. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, 2007.

TUCCI, C.E.M. **Hidrologia: ciência e aplicação**. 2.ed. Porto Alegre: ABRH, 1997.

USGS. Landsat 8 TM. **Imagem de Satélite**. Canais 8, 5, 4, 2. Disponível em <http://earthexplorer.usgs.gov>. Órbita/Ponto 224/75, 224/76, 225/75/225/76, 2017. Acessado em 20 junho de 2017.

VALERIANO, M.M.; KUPPLICH, T.M.; STORINO, M.; AMARAL, B.D.; MENDES JUNIOR, J.N.; LIMA, D.J. **Modeling small watersheds in Brazilian Amazonia with shuttle RADAR topographic mission-90m data**. *Computers & Geosciences*, 32(8): 1169–1181., 2006.

VOGT, J.V.; COLOMBO, R.; BERTOLO, F. Deriving drainage networks and catchment boundaries: a new methodology combining digital elevation data and environmental characteristics. **Geomorphology**, Amsterdam, v.53, n.3: 281-298, 2003.

WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning. Washington, DC: **USDA**, (Agriculture handbook, 537), 1978.

CAPÍTULO 2- ALGEBRA DE MAPAS NA ESTIMATIVA QUALITATIVA DE PERDA DE SOLO ANUAL POR EROÇÃO HÍDRICA LAMINAR NA BACIA DO RIO DOURADOS

RESUMO

As geotecnologias tornaram-se ferramentas facilitadoras para estimativas de perda de solo anual por meio de erosão hídrica laminar. Um dos modelos existentes para quantificação do processo de erosão hídrica laminar é a Equação Universal de Perda de Solo - EUPS que pode ser integrado aos Sistemas de Informações Geográficas - SIG para possibilitar maior agilidade nos processos de monitoramento de bacias hidrográficas. O presente trabalho objetivou espacializar e analisar a susceptibilidade erosiva do solo da bacia hidrográfica do Rio Dourados, de forma qualitativa, por meio da aplicação da Equação Universal de Perda do Solo – USLE/RUSLE com auxílio de geotecnologias livres e gratuitas. Como resultados constatou-se que 46,2% da Bacia Hidrográfica do Rio Dourados apresenta baixa perda de solos com valores menores a 10 ton/ha.ano. Regiões com solo exposto, uso e ocupação do solo com predominância agrícola juntamente com os fatores de solos com maior erodibilidade e topografia específica (declives maiores), acarretam grandes perdas anuais de solo (> 150 ton/ha.ano) em 2,4% da área da bacia.

PALAVRAS-CHAVE: EUPS, álgebra de campos, geotecnologias.

ABSTRACT

Geotechnology has become a facilitating tool in the estimates development of annual soil loss through laminar water erosion. One of the existing models for quantification of the laminar water erosion process is the Universal Soil Loss Equation - USLE that can be integrated with Geographic Information Systems (GIS) for agility in the water monitoring processes. The present work aimed to spatialize and analyze the soil erosive susceptibility of the Dourados Watershed in a qualitative way through the application of the Universal Soil Loss Equation - USLE / RUSLE and free geotechnologies. It can be observed that 46,2% of the Dourados river watershed presents a soil loss less than 10 ton / ha.year. Regions with exposed soil, land use and occupation with agricultural predominance along with soil factors with higher erodibility and specific topography (larger slopes) lead to large annual losses of soil (> 150 ton / ha.year) in 2,4% of the watershed.

KEYWORDS: erosion, USLE, geotechnology, GIS

2.1 Introdução

As bacias hidrográficas são consideradas unidades territoriais para planejamento no Brasil, conforme prevalectionado pela Política Nacional de Recursos Hídricos – PNRH instituída pela Lei n. 9433/1997, no qual prepondera o embasamento ambiental destas áreas por meio de monitoramento e estudos ambientais, integrando a gestão dos recursos hídricos com a gestão ambiental (BRASIL, 1997).

Dentre os vários fatores que acarretam impactos potenciais ambientais negativos no que se diz respeito aos recursos hídricos estão o uso e ocupação do solo (atividades industriais, agrossilvipastoris, urbanas, entre outros), juntamente com as características ambientais do local, visto sua capacidade de resiliência frente a tais impactos, como pedologia, topografia, pluviometria, entre outros.

A erosão hídrica laminar é um fenômeno natural que pode ser potencializado por ações antrópicas causadas por um inconsciente uso e ocupação do solo de determinada bacia hidrográfica, seu principal agente erosivo é a água não infiltrada no solo por insuficiência de cobertura vegetal bem como o processo de selamento superficial do solo por compactação (excesso de tráfego de máquinas agrícolas e as pastagens degradadas, entre outros). Esta erosão é um dos principais problemas existentes na agricultura por reduzir significativamente a produtividade dos cultivos (MERTEN et al., 1995).

Frente aos modelos existentes para quantificação do processo de erosão hídrica laminar, tem-se a Equação Universal de Perda de Solo - EUPS (WISHMEIER; SMITH, 1978) que a partir do desenvolvimento de pesquisas e melhorias experimentais originou o modelo da Equação Universal de Perda de Solo Revisada (RENARD et al., 1997), que apresenta maior controle dos dados frente ao fator topográfico (LS). Salienta-se que o presente modelo apresenta alto grau de empirismo, mostrando-se satisfatório para análises qualitativas de perda de solo, permitindo a espacialidade das áreas mais susceptíveis à erosão laminar (BLOISE et al., 2001).

Borges (2009) afirma que os custos onerosos para realização de medições a campo para mensuração da erosão hídrica laminar em áreas muito extensas promoveram a integração dos modelos matemáticos junto a Sistemas de Informações Geográficas –SIGs, e facilitaram a manipulação e processamento de inúmero dados de fatores ambientais e antrópicos a fim de se obter estimativas qualitativas de perda de solo.

De acordo com Lopes et al. (2011), as geotecnologias tornaram-se ferramentas facilitadoras no desenvolvimento de estimativas de perda de solo anual por meio de erosão

hídrica laminar, permitindo análise rápida e dinâmica da área em estudo, sendo utilizadas por órgãos públicos e privados visando melhor gerenciamento ambiental das bacias hidrográficas, permitindo coleta de dados, processamento e análise para tomadas de decisão frente aos resultados obtidos (CARVALHO et al., 2010).

Dentre as várias ferramentas disponíveis no geoprocessamento, destaca-se a álgebra de mapas (ou campos) no qual os elementos da álgebra são constituídos de cartas que relacionam determinada região estudada atribuindo valores quantitativos ou qualitativos a estes locais, buscando desta forma a execução de uma modelagem (PARANHOS et al., 2016).

Assim, o presente trabalho objetivou espacializar e analisar a susceptibilidade erosiva do solo da bacia hidrográfica do Rio Dourados de forma qualitativa, localizada no estado de Mato Grosso do Sul, por meio da aplicação da Equação Universal de Perda do Solo – USLE/RUSLE com auxílio da álgebra de mapas.

2.2 Material e métodos

A Equação Universal de Perdas de Solo (USLE) (WISCHMEIER; SMITH, 1978) é um modelo empírico para estimar a perda média anual de solo por erosão laminar, considerando seis fatores independentes através da equação:

$$A=R \times K \times (L \times S) \times C \times P \quad (1)$$

Onde: A = perda média anual de solo por unidade de área (ton/ha. ano); R = erosividade da chuva; K = erodibilidade do solo; L = comprimento da vertente; S = declividade da vertente; C = uso e manejo do solo e P = práticas conservacionistas.

2.2.1 Fator LxS – Topografia

O uso do fator LxS dentro da Equação de Perdas de Solo reflete o fato de que a erosão aumenta com o comprimento da inclinação (L) e o ângulo da inclinação (S) verificando a vulnerabilidade de uma bacia à erosão hídrica determinada pelas características de relevo, tornando-se um importante instrumento de planejamento do uso das terras na bacia (GALDINO & WEILL, 2010).

Para a determinação deste fator foi utilizado o MDE com resolução espacial de 30 metros obtido através da correção altimétrica das curvas de nível do MDS *Shuttle Radar Topography Mission* – SRTM (GLCF, 2017) nas regiões, críticas conforme descrito no capítulo anterior. Assim o fator LxS pode ser adquirido através das seguintes equações:

$$L=(\lambda/22,13)^m \quad (2)$$

$$S=10,8.\text{sen } \theta+0,03 \text{ se } \theta<9\% \quad (3)$$

$$S=16,8.\text{sen } \theta-0,50 \text{ se } \theta\geq 9\% \quad (4)$$

Onde:

λ - comprimento da declividade;

θ - ângulo de inclinação da rampa

m - expoente da variação comprimento-declividade, sendo calculado através da metodologia proposta por Foster et al. (1977) através da seguinte expressão:

$$m=\beta/(1+\beta) \quad (5)$$

$$\beta=(\text{sen } \theta)/[3.(\text{sen } \theta)^{0,8}+0,56] \quad (6)$$

Sendo:

β - razão empírica entre a erosão por sulco (causada pelo fluxo) e a erosão entre sulcos (causada principalmente pelo impacto das gotas de chuva). (McCOOL et al., 1989).

A partir da inserção do Modelo Digital de Elevação Corrigido (MDE Corrigido) da Bacia Hidrográfica do Rio Dourados no software QGIS 2.18.13 (QGIS DEVELOPMENT TEAM, 2017), foi utilizado as ferramentas *Slope*, *aspect*, *curvature* do complemento SAGA GIS para obter-se o mapa correspondente ao ângulo de inclinação (θ) através do método de polinômios de terceira ordem, conforme Haralick (1983). Posteriormente, com a ferramenta Calculadora *Raster* obteve-se o mapa do fator β por meio da equação (6) para posterior cálculo do fator m através da mesma ferramenta com a equação (5).

O fator λ - comprimento da declividade – foi obtido por meio da ferramenta *slope lenght* do complemento SAGA GIS para subsequente cálculo do Fator através da equação (2).

O fator S foi calculado utilizando-se as equações (3) e (4) na ferramenta Calculadora *Raster* por meio de operadores de condicionais. Por último, foram

multiplicados os mapas dos fatores L e S, e assim obteve-se o mapa do Fator Topográfico da bacia hidrográfica – LS.

2.2.2 Fator R – Erosividade da Chuva

Para a obtenção do fator R foram utilizadas linhas de isoietas de médias mensais e média anual de dados históricos entre 1977 e 2006 disponibilizadas no formato ESRI *Shapefile* (ESRI, 1997) através do portal CPRM (Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais), procedimento este adotado também por Ruthes et al. (2013).

Após carregados os arquivos de isoietas em QGIS 2.18.13, juntamente com o arquivo *Shapefile* corrigido da Bacia Hidrográfica do Rio Dourados, com o uso do complemento *Digitizing Tools* foi particionada a bacia conforme as linhas de isoietas cruzassem o perímetro da bacia. Após esta etapa foi realizado a edição da tabela de atributos criando o campo de pluviometria e inserindo os valores correspondentes de cada isoieta a cada feição correspondente, sendo gerado um total de 13 arquivos do tipo *shapefile* (doze médias mensais e um média anual). Foi realizada a rasterização destes arquivos com resolução de 30 m para apuração do Fator R conforme as equações (7) e (8) através da ferramenta Calculadora *Raster*, resultando em carta do Fator R.

O fator R foi obtido através da equação proposta por Bertoni e Lombardi Neto (2008), expressada da seguinte forma:

$$EI = 67,355 (r^2/P)^{0,85} \quad (7)$$

Onde:

EI= média mensal do índice de erosão em MJ.mm/ha.h;

r= precipitação média mensal em mm;

P= precipitação média anual em mm.

A média de soma dos valores mensais de EI é o fator R da USLE, ou seja:

$$R = \sum EI/12 \quad (8)$$

Sendo:

R = erosividade da chuva em MJ.mm/ha.h;

EI= média mensal do índice de erosão em MJ.mm/ha.h.

2.2.3 Fator K – Erodibilidade do Solo

Para obtenção deste fator verificou-se a necessidade do cruzamento do Mapa de Solos de Mato Grosso do Sul, disponibilizado pelo Instituto do Meio Ambiente de Mato

Grosso do Sul (IMASUL) com o Mapa Pedológico (folha SF-XXI) disponibilizado pelo portal de geociências do IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística) também em escala 1:250.000 ambos em formato ESRI *Shapefile* (ESRI, 1997). Ambos foram inseridos no software QGIS 2.18.13 (QGIS DEVELOPMENT TEAM, 2017) e recortado de acordo com o limite da bacia hidrográfica de estudo.

Foram realizadas visitas *in loco* para checagem da pedologia presente na bacia hidrográfica em estudo, comparada aos apresentados pela carta do Imasul e carta do IBGE. Por abertura de trincheiras e verificação dos perfis dos solos em pontos circunscritos aos limites fisiográficos da referente bacia hidrográfica foi verificada a validação das classes de Neossolo Quartzarênico Órtico, Latossolo Vermelho Eutroférico, Argissolo Vermelho Eutrófico e Argissolo Vermelho Distrófico para a carta disponibilizada pelo Imasul, com necessidade de adição da camada Gleissolo Háptico verificado na carta disponibilizada pelo IBGE.

A nomenclatura da classificação dos solos foi atualizada de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (Embrapa, 2013), sendo os valores de K inseridos em um novo campo na tabela de atributos do arquivo *shapefile* resultantes do cruzamento das cartas de solos conforme tabela abaixo.

Tabela 3 Valores do coeficiente K para as diferentes classes de solo com suas respectivas referências bibliográficas.

Classificação do solo (EMBRAPA, 2013)	Fator K (ton.ha.h/ha. MJ mm)	Literatura Consultada
Neossolo Quartzarenico Órtico	0,0886	Embrapa (2009)
Latossolo Vermelho Eutroférico	0,0131	Lima et al. (2016)
Argissolo Vermelho Eutrófico	0,0529	Lima et al. (2016)
Argissolo Vermelho Distrófico	0,0537	Lima et al. (2016)
Gleissolo Háptico Ta Eutrófico	0,0387	Embrapa (2009)

Conforme valores de K adotados para cada classe de solo foi possível verificar de modo qualitativo a potencial perda de solo por erodibilidade, conforme Tabela 4 proposta por Manningel et al. (2002).

Tabela 4 Classificação da erodibilidade dos solos (Fator K), conforme Manningel et al. (2002).

Classificação	K (t.ha.h/ha.MJ.mm)
Extremamente alta	>0,0600
Muito alta	0,0450-0,0600
Alta	0,0300-0,0450
Média	0,0150-0,0300
Baixa	0,0090-0,0150
Muito baixa	<0,0090

2.2.4 Fator CxP – Uso, Manejo e Práticas Conservacionistas

O fator de uso e manejo do solo (Fator C) consiste em sua susceptibilidade à erosão relacionada ao seu uso, desuso e manejo enquanto que o fator de Práticas Conservacionistas (Fator P) está ligado à mitigação ou eliminação da perda de solos com a adoção de práticas conservacionistas como terraceamento, plantio em nível entre outras práticas (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2008).

O uso e cálculo destes fatores de modo individual, normalmente é utilizado objetivando a busca por métodos mais adequadas de produção atenuando os impactos gerados pelo uso agrícola, porém como este estudo pretende avaliar a perda de solo por erosão, os fatores C e P estão correlacionados de tal maneira, que é lícito o seu uso de modo integrado (STEIN et al., 1987).

Durante a determinação do fator CP foi gerada a carta de uso e ocupação do solo, utilizando o software QGIS 2.18.13 (Qgis Development Team, 2017), por meio do complemento *Semi-automatic Classification Plugin* (SCP) e imagens da área de estudo mosaicadas, provenientes do satélite Landsat 8 TM (USGS, 2017) órbita-ponto 224/75, 224/76, 225/75 e 225/76, com data de passagem de 24 de abril de 2017 de maneira a

minimizar falso-positivos para áreas de solo exposto devido ao vazio sanitário para cultura de soja entre 15 de junho e 15 de setembro (SEMAGRO, 2017), além de que o cultivo de milho durante o período imageado apresenta eficiente detecção de áreas destinadas à agricultura (LOVELAND et al., 1991).

Para a categorização do uso e ocupação do solo foram determinadas quatro classes: Florestas e áreas seminaturais, Solo Exposto, Áreas agrícolas, Áreas úmidas e corpos hídricos e por fim Áreas artificiais (CORINE Adaptado) conforme proposto por Heymann et al. (1994). Foi criado um arquivo de “treinamento” do complemento SCP distinguindo as classes definidas, através da ferramenta ROI (*Region of Interest*) que seleciona através da assinatura espectral, uma região em torno de um pixel selecionado no mosaico Landsat 8 TM com configuração falsa-cor de bandas 5, 4 e 3 para os canais R, G e B respectivamente, sendo possível a discriminação das diferentes classes de uso.

Após a realização do treinamento para o complemento SCP é realizada a classificação do uso e ocupação do solo através do cruzamento de informações obtidas com pontos de controle realizados a campo em período aproximado das imagens para cada classe pré-determinada e da assinatura espectral da imagem em conjunto com o algoritmo *spectral angle mapping*.

Este método de determinação da semelhança espectral entre dois espectros calculando o ângulo entre os espectros e tratando-os como vetores em um espaço com dimensionalidade igual ao número de bandas sendo relativamente insensível à iluminação e aos efeitos do albedo promove um melhor resultado na determinação das classes (PETROPOULOS et al., 2010).

Em cada classe estabelecida de uso e cobertura do solo foi determinado um valor de CP de acordo com aqueles sugeridos por Stein et al. (1987) e Oliveira (2012) no qual foi gerado o mapa do Fator CP em formato *raster*.

Tabela 5 Valores do Fator CP para cada classe de uso do solo (Stein et al., 1987 e Oliveira, 2012).

Classes	Fator CP
Florestas e áreas seminaturais	0,0007
Solo Exposto	1
Áreas agrícolas	0,25

Áreas úmidas e corpos hídricos	0
Áreas artificiais	0

2.2.5 Fator A – Integração dos Fatores

Com todos os fatores da Equação Universal de Perda de Solo calculados as cartas construídas, foi realizada a integração dos mesmos utilizando-se a ferramenta “Calculadora *raster*” disponível no software livre e gratuito QGIS 2.18.13 (QGIS DEVELOPMENT TEAM, 2017). Por meio dele foi elaborada a carta de perda média anual de solo por unidade de área (ton/ha. ano) da Bacia Hidrográfica do Rio Dourados.

2.3 Resultados e discussão

2.3.1 Fator LxS – Topografia

A partir do fator LS (**Figura 17**) foi possível avaliar o potencial topográfico de erosão hídrica laminar, no qual a área do referente estudo apresentou valores entre 0,0 a 2,23, com predominância na variação entre 0 e 0,60. Desta forma, observa-se que a Bacia Hidrográfica do Rio Dourados apresenta algumas áreas com taxas significativas de escoamento superficial, destacando-se como áreas de grande potencial de erosão hídrica laminar frente ao uso e ocupação das mesmas, principalmente em áreas de solo desnudo.

Nota-se grande área com baixas taxas de escoamento superficial (0 a 0,6), que desfavorece o processo de erosão hídrica laminar na referente Bacia Hidrográfica (PARANHOS FILHO et al., 2015).

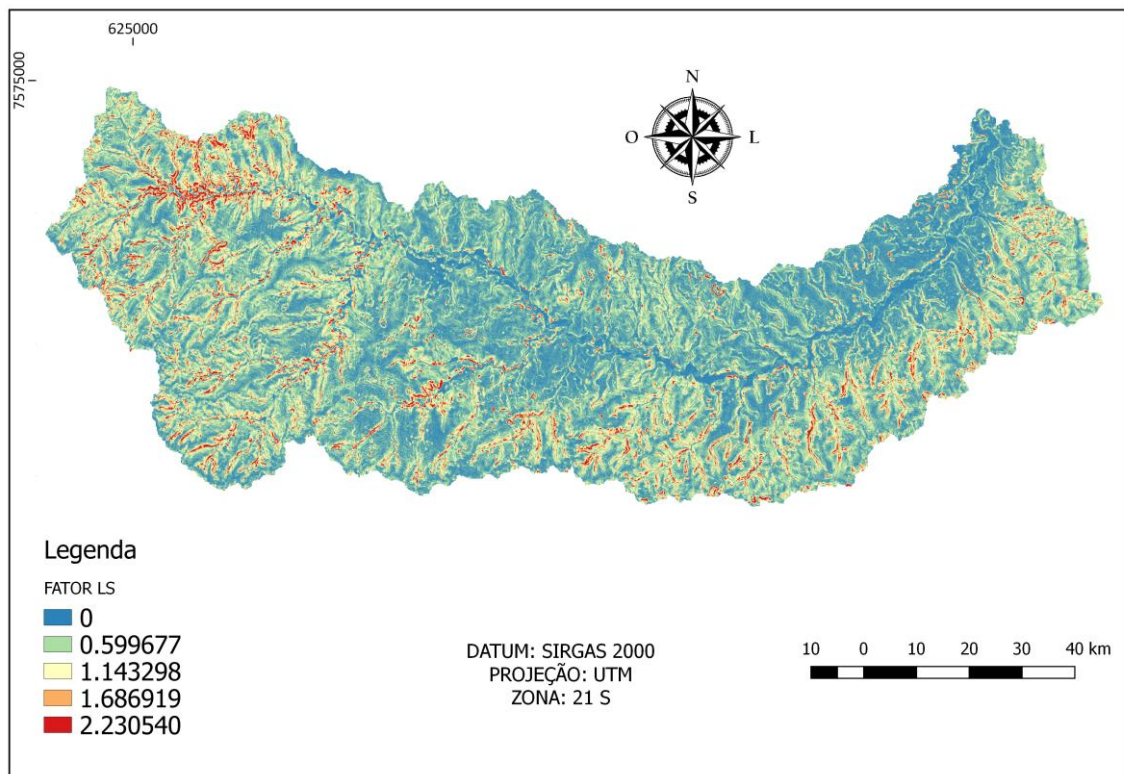


Figura 17 Carta do Fator LxS (topografia) da Bacia Hidrográfica do Rio Dourados.

Entretanto, na região noroeste da referente bacia é observado o maior número de áreas que apresentam os maiores valores relacionados ao fator LS, onde estão presentes grande parte das nascentes da calha central (rio Dourados), demonstram média de valores em torno de 2,1 na cabeceira do Curso d'água, tornando-se um local de grande potencial erosivo frente a suas características topográficas (**Figura 18**).

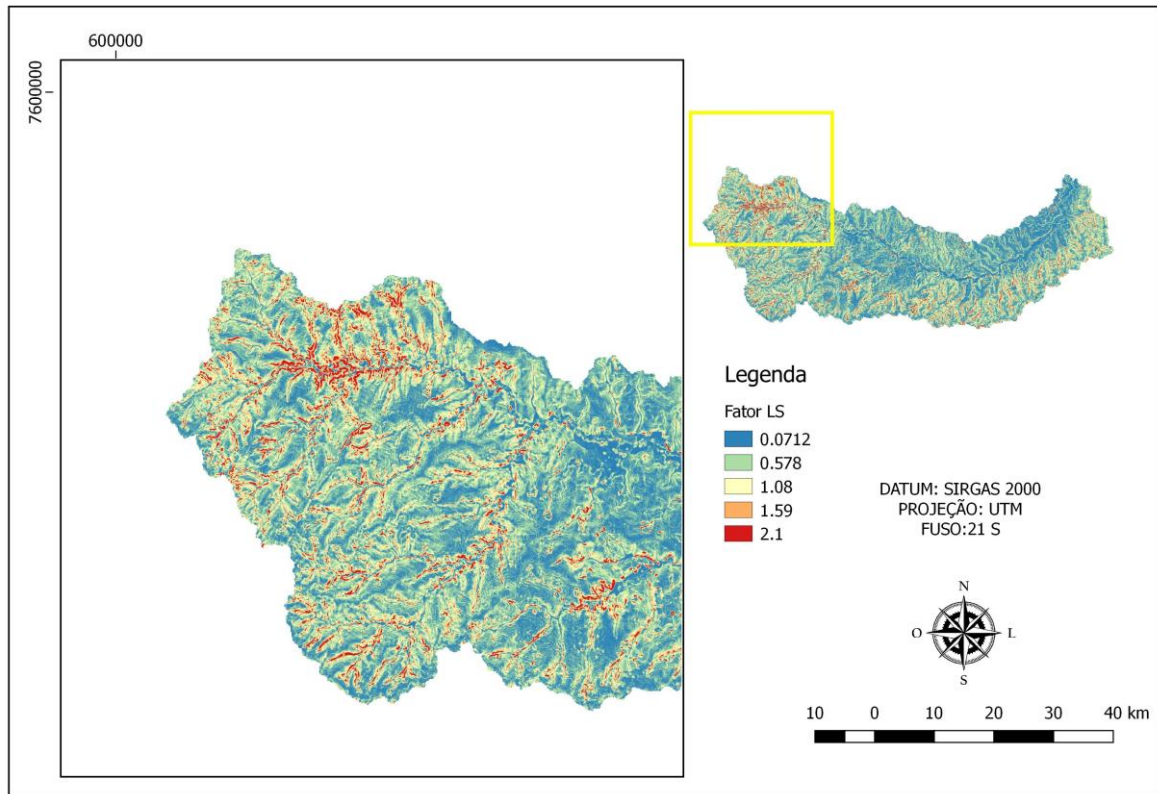


Figura 18 Região noroeste da bacia hidrográfica com grande parte dos maiores valores de Fator Topográfico (LxS).

2.3.2 Fator R – Erosividade da Chuva

Observa-se valores heterogêneos ao longo da bacia hidrográfica que variam entre 6000 $Mj.mm/ha.h$ a 7000 $Mj.mm/ha.h$ (**Figura 19**), sendo este fator relacionado com as características pluviométricas da região de estudo.

Estes dados relacionam o impacto que o mesmo provoca sobre a superfície, no qual dependendo do tipo de cobertura existente, a energia potencial é dissipada até alcançar a superfície, diminuindo desta forma o selamento do solo e redução de energia cinética que promove erosão hídrica laminar (HUDSON, 1971).

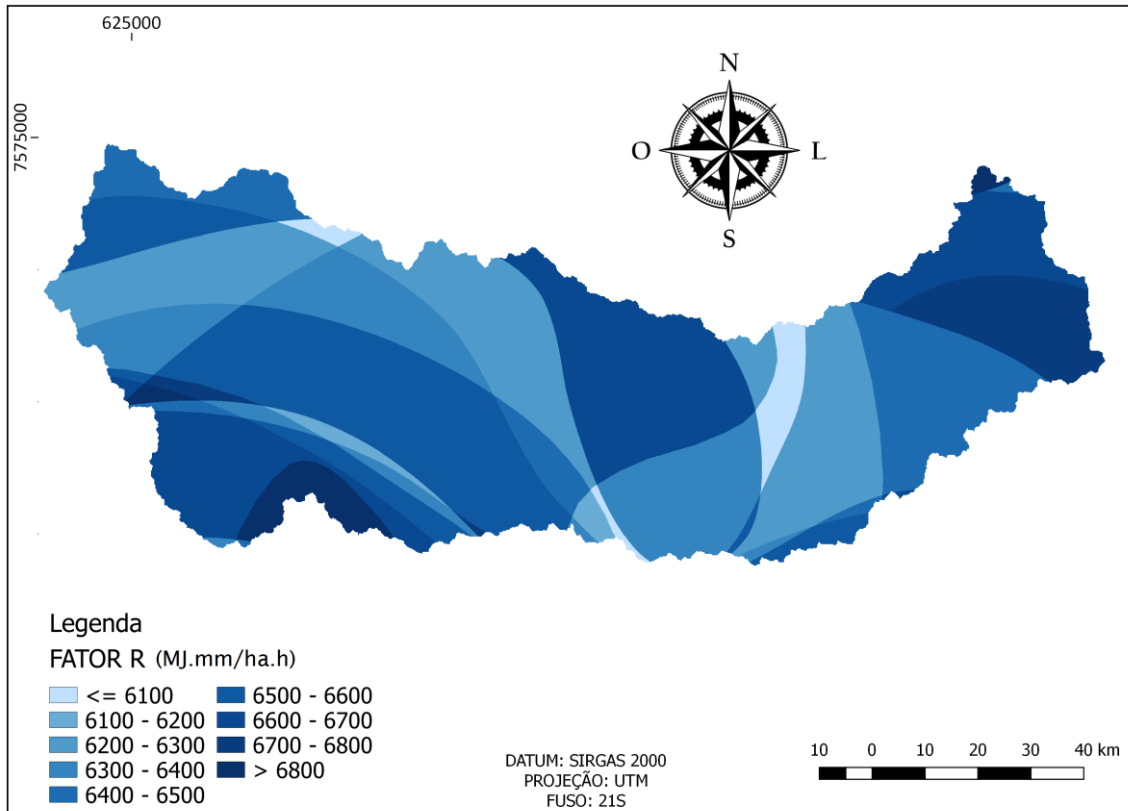


Figura 19 Carta do Fator R (Erosividade da chuva).

2.3.3 Fator K – Erodibilidade do Solo

Observa-se que a maior área da bacia hidrográfica é composta pelas classes de Latossolos Vermelho Eutrófico (79,8%). Outras parcelas apresentam-se classificadas como Neossolo Quartzarênico Órtico (2,7%), Argissolo Vermelho Eutrófico (7,1%), Argissolo Vermelho Distrófico (8,8%) e Gleissolo Háptico Ta Eutrófico (1,6%) conforme observado na **Figura 20** e verificado em campo através de pontos de observação para cada classe (**Figura 21**).

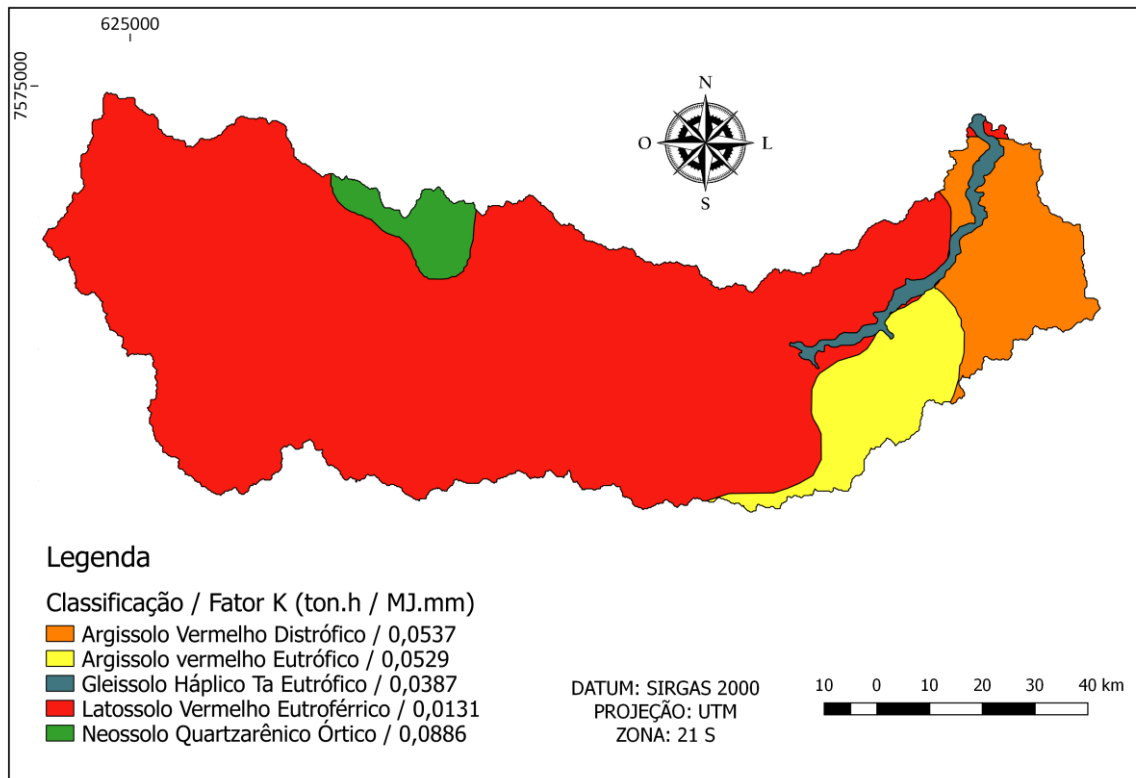


Figura 20 Fator K – Carta de solos da bacia hidrográfica do Rio Dourados.

As regiões com maiores valores de fator LS (topografia), em sua maioria, apresentam Latossolo Vermelho Eutroférico como classificação pedológica, em que Paranhos Filho (2000) afirma que apesar de apresentarem boa resistência à erosão, devido às boas características físicas (menor fator de erosividade dentro os solos encontrados na Bacia), requerem tratos conservacionistas adequados conforme a inclinação do terreno e o tipo de uso do solo.

Na Bacia Hidrográfica do Rio Dourados, o Neossolo Quartzarênico Órtico é apresentado com baixa percentagem (2,7 %) em área frente ao Latossolo e aos Argissolos. Porém, conforme Embrapa (2002), os Neossolos Quartzarênicos são propícios à erosão hídrica vista a fraca interação entre os seus agregados e consequentemente estruturação, sendo susceptíveis a erosão laminar e geração de ravinas e voçorocas por ser um solo de características frágeis.

Os Argissolos vermelhos possuem uma tendência à suscetibilidade a processos erosivos dependendo diretamente da relação textural existente no mesmo, podendo ser bastante susceptíveis (textura arenosa a media), presentes na região de foz da bacia hidrográfica em questão.

Gleissolos háplicos são solos hidromórficos, localizados basicamente nos locais de baixada próximos aos canais de fluxo hídrico, sendo diretamente influenciados por partículas provenientes de solos localizados em regiões mais altas, estando presente próximo a foz da calha central (rio Dourados) da bacia Hidrográfica do Rio Dourados. Possuem como fatores limitantes a existência de lençol freático elevado, no qual apresentam problemas frente a sua drenagem ocasionados pelas suas características texturais do local (EMBRAPA, 2002).

Manningel et al. (2002) propõe uma classificação frente à erodibilidade dos diferentes tipos do solo (Tabela 4). Observa-se que a Bacia hidrográfica apresenta, em sua maioria, classificada como baixa, entretanto, destacam-se regiões com solos que apresentam classificação alta (Gleissolo Háplico Ta Eutrófico), muito alta (Argissolo Vermelho Distrófico e Argissolo Vermelho Eutrófico) e extremamente alta (Neossolo Quartzarênico Órtico), e esta classificação juntamente ao uso e ocupação do solo, manejos conservacionistas, características topográficas e erosividade pluvial tornam-se cruciais para tomadas de decisão frente à recuperação de áreas prioritárias a partir da integração dos fatores (Fator A).

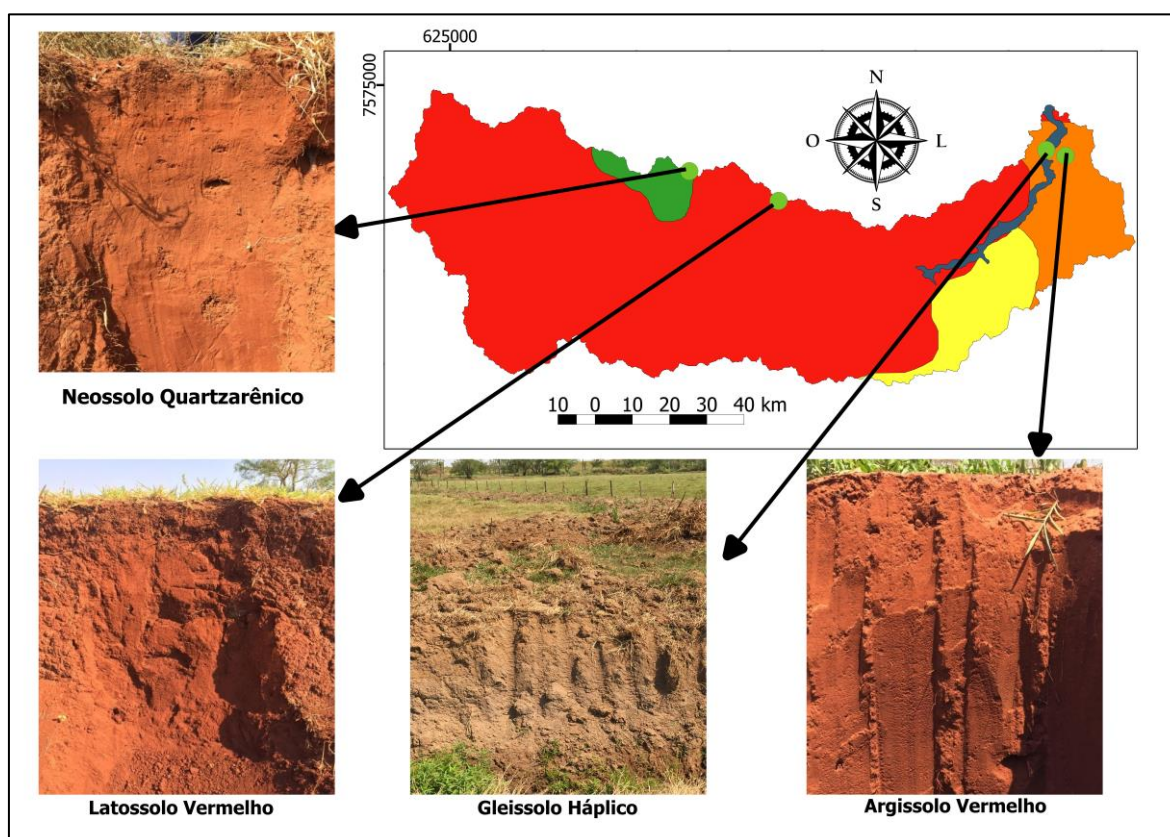


Figura 21 Respectivas classes de solos avaliadas *in loco* da Bacia Hidrográfica do Rio Dourados.

2.3.4 Fato CxP - Uso, Manejo e Práticas Conservacionistas

O mapa de uso e ocupação do solo e da integração deste com os valores de CP propostos por Stein et al. (1987) e Oliveira (2012) são apresentados na **Figura 22**. Observando-se os valores de CP e desconsiderando as áreas úmidas e áreas artificiais, onde o valor é zero, temos que as regiões onde a vegetação se mostra mais densa apresentam menores valores do Fator CP.

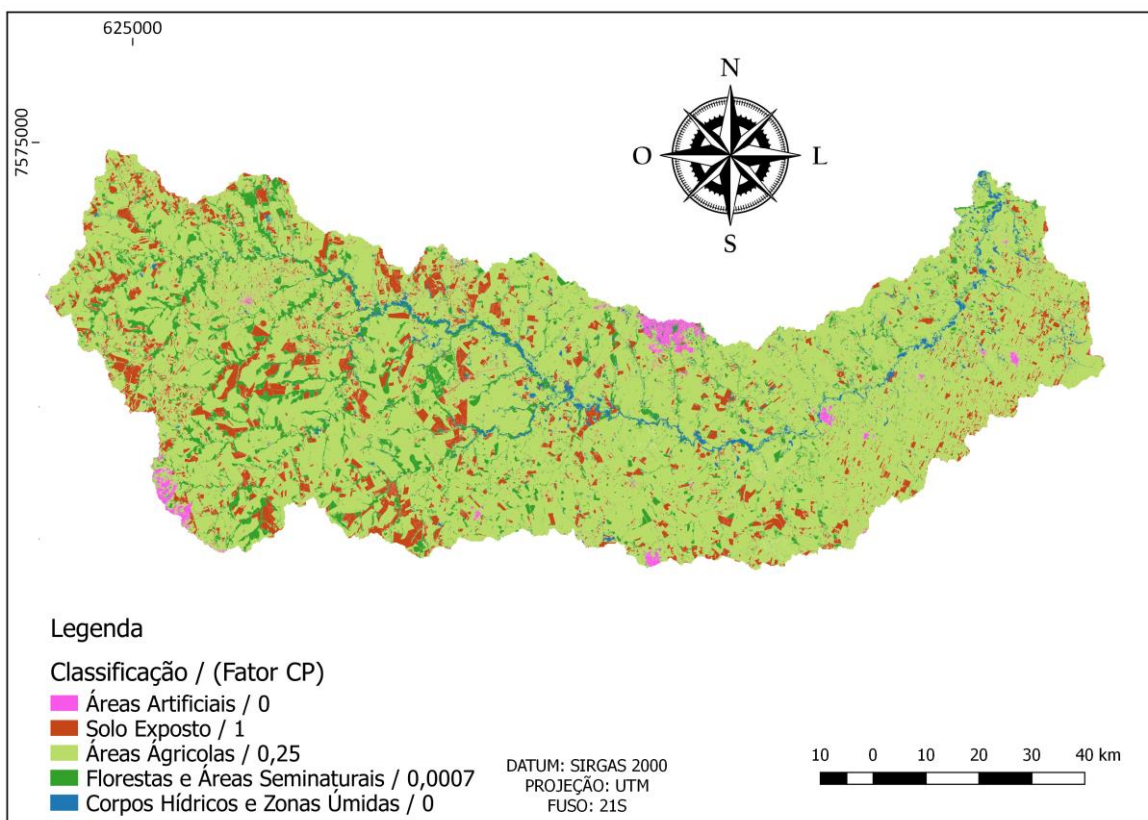


Figura 22 Carta de uso e cobertura do solo e práticas conservacionistas da bacia hidrográfica do Rio Dourados (Fator CP).

A bacia hidrográfica em estudo é constituída de 76,1% (Tabela 6) de atividades agrossilvipastoris, ocorrendo rotação de culturas como milho, soja, cana-de-açúcar além de criação bovina e silvicultura.

Observou-se quantidade significativa de solo desnudo na área em estudo (12,5%), apresentando o maior potencial a erosão hídrica laminar frente à exposição da superfície do solo a chuva, acarretando muitas vezes a desestruturação e selamento deste recurso natural, no qual as características pedológicas e topográficas desvantajosos acarretam em grandes perdas de solo.

Tabela 6 Estatística das áreas da classificação de uso e ocupação do solo frente a área total da Bacia Hidrográfica do Rio Dourados.

Uso e Ocupação do Solo (CORINE-ADAPTADO)	Área (Km²)	Porcentagem (%)
Áreas artificiais	89,3	1,1
Solo Desnudo	1.158,3	12,5
Corpos hídricos e zonas úmidas	198,9	2,1
Florestas e áreas seminaturais	761,1	8,2
Áreas agrícolas	7.032,2	76,1
TOTAL	9.239,8	100%

As áreas de cobertura vegetal natural foram suprimidas para as atividades de agronegócio, no qual por legislação, as propriedades rurais que apresentam mais que 4 módulos rurais são obrigados a constituir área de proteção permanente (APP) e reserva legal, totalizando 20% da propriedade em questão.

O grande problema relaciona-se a propriedades com até 4 módulos rurais que suprimiram sua reserva antes de 2008, que são obrigados a apenas constituir APP (dependendo da largura do corpo hídrico vizinho), sendo perdoados pela supressão anteriormente realizada (BRASIL, 2012). Com isso, reduziu-se significativamente a quantidade de área vegetal natural em locais que são constituídos em sua maioria por pequenas propriedades, constituídas com valores de CxP maiores que áreas naturais, acarretando em maior susceptibilidade a erosão hídrica, considerando os outros fatores que integram a estimativa.

2.3.5 Integração dos Fatores

A partir da álgebra de mapas obteve-se a carta de perda do solo em toneladas por hectare ano – Fator A (**Figura 23**).

Nota-se que 46,2 % da Bacia Hidrográfica do Rio Dourados apresenta perda de solo menor que 10 ton/ha.ano (Tabela 7), no qual este valor está diretamente relacionado principalmente a pedologia, características de uso e ocupação e topografia.

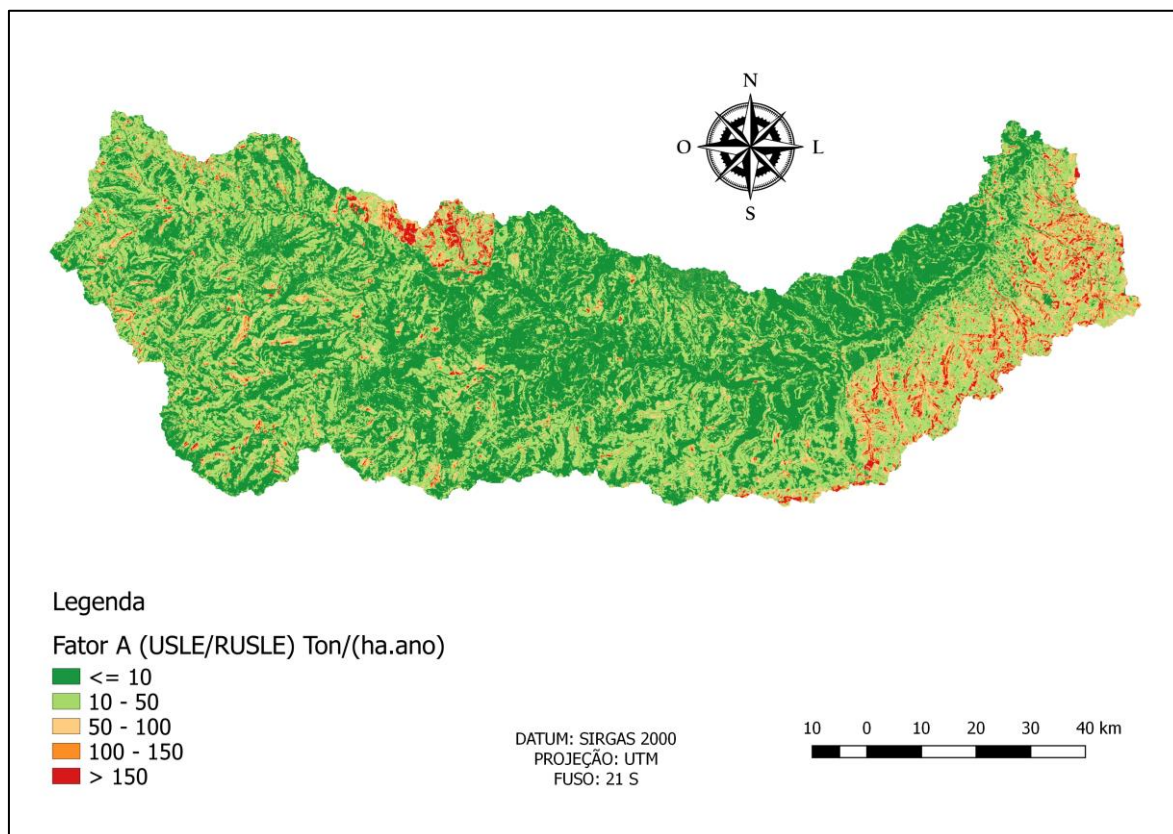


Figura 23 Carta de Integração dos fatores da equação USLE (Fator A – Perda de solo anual).

Tabela 7 Estatística referente à classificação de perda de solo anual por faixa de valores

Perda de solo (ton/ ha.ano)	Área (Km²)	Porcentagem (%)
<= 10	4.266,4	46,2
10 – 50	3.729,2	40,4
50-100	779,1	8,4
100-150	246,6	2,7
>150	218,3	2,4
TOTAL	9.239,8	100

As regiões que apresentam maior densidade de dossel natural possuem melhores condições de proteção frente aos processos erosivos, principalmente por reduzir significativamente a velocidade resultante provinda da energia potencial das gotas de chuva sobre a superfície, evitando desta forma os efeitos de salpicamento e selamento do solo, fenômenos estes que potencializam o processo de erosão hídrica laminar.

As regiões de solo exposto apresentam uma maior susceptibilidade a erosão por conta da ausência de proteção frente à energia potencial e energia cinética da água proveniente de chuvas, apresentando maiores valores do Fato CP, sendo que neste caso, grande parte do solo exposto estava presente em áreas de Neossolo Quartzarênico Órtico, sendo um solo incoeso e com alto fator de erodibilidade (0,0886 ton.ha.h/ha. MJ mm), apresentando os maiores valores de perda de solo anual (>150 ton/ha.ano). (**Figura 24 e Figura 25**)

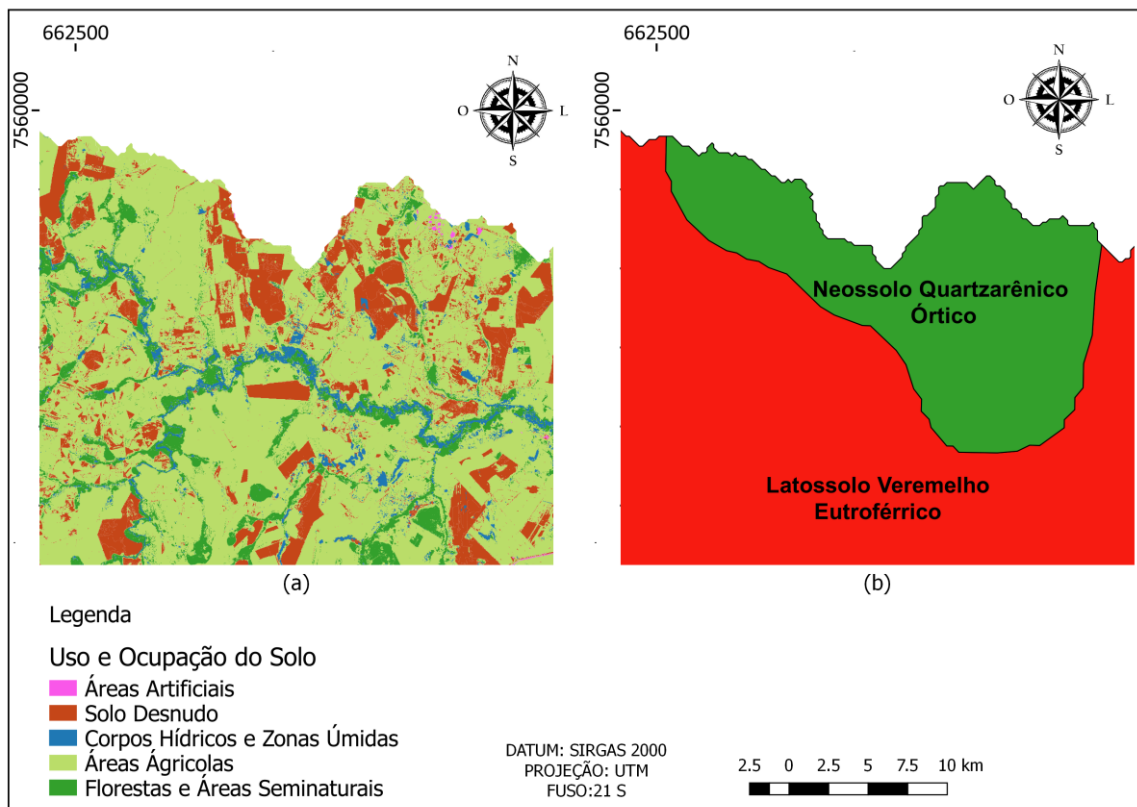


Figura 24 Comparação entre os Fatores CxP e a classificação dos solos da região (Embrapa, 2013).

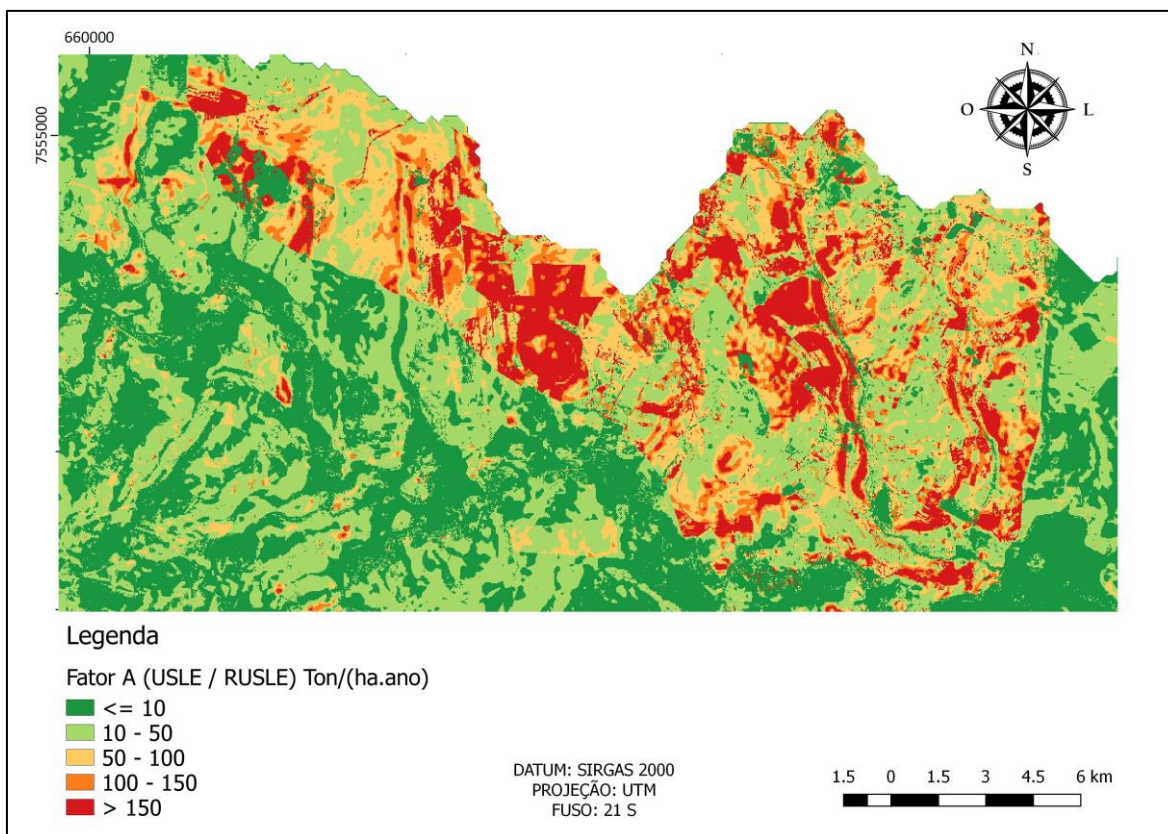


Figura 25 Fator A Perda de solo Anual Região Noroeste.

Na região sudeste da bacia hidrográfica, observou-se próximo a foz altos valores de perda de solo anual (>150 ton/ha.ano) (**Figura 27**), que pode estar relacionado ao uso e ocupação do solo (solo exposto e pequenas propriedades com ausência de vegetação natural) juntamente com a presença de solos com erodibilidade classificada como muito alta (MANNINGEL et al., 2002) e fator topográfico maior do que a predominância existente na bacia em estudo (**Figura 26**).

Em áreas com predominância de solos agrícolas ainda cabe ressaltar, conforme observado por Panachuki et al.(2011), que a capacidade de erosão está diretamente associada ao manejo de solos onde nota-se que a perda de solos é inversamente proporcional ao residual de cobertura vegetal. Para tais regiões é propícia a instalação de pontos de monitoramento com chuva simulada para uma determinação mais aferida e de caráter quantitativo relacionado à susceptibilidade do solo à erosão.

Por meio da fotointerpretação, a região sudeste da Bacia Hidrográfica do Rio Dourados apresentou baixa presença de áreas de vegetação natural, em conjunto com a presença de pequenas propriedades rurais, muitas destas demarcadas no período de

governo de Getúlio Vargas com a criação da Colônia Agrícola Nacional de Dourados - CAND (SILVA, 2016).

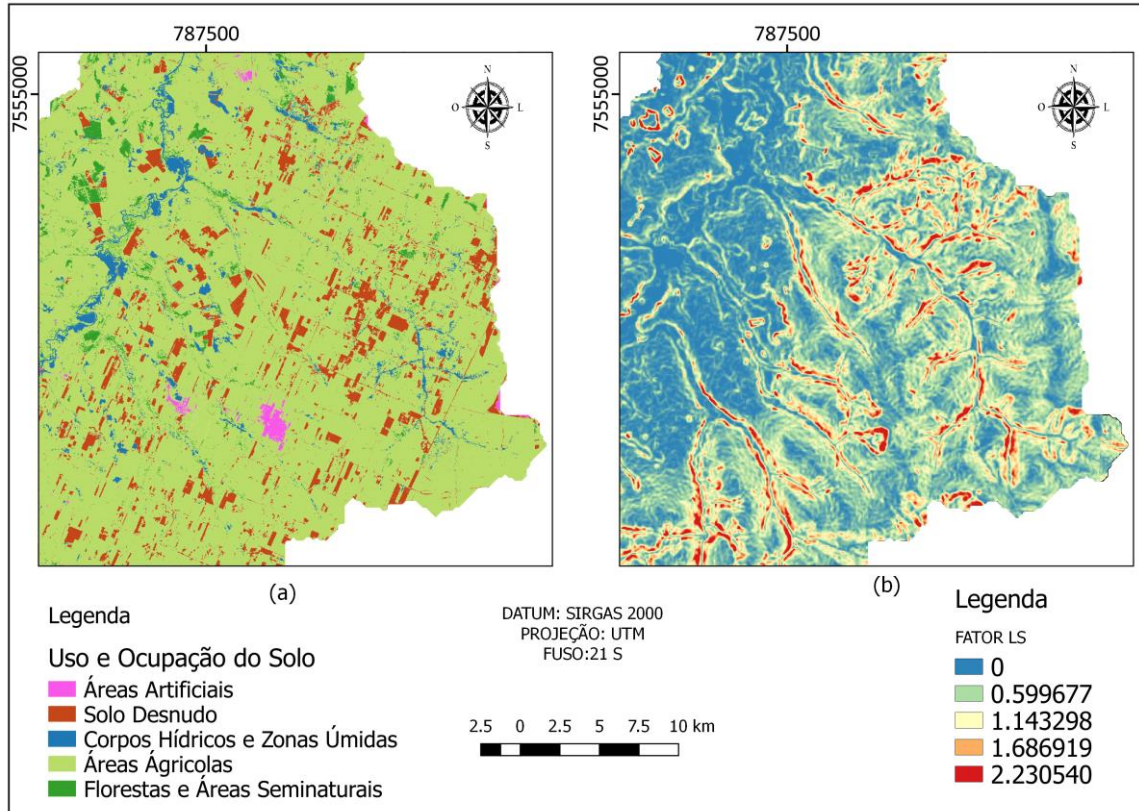


Figura 26 Fator CxP em comparação com Fator topográfico LS na região Sudeste da Bacia Hidrográfica do Rio Dourados.

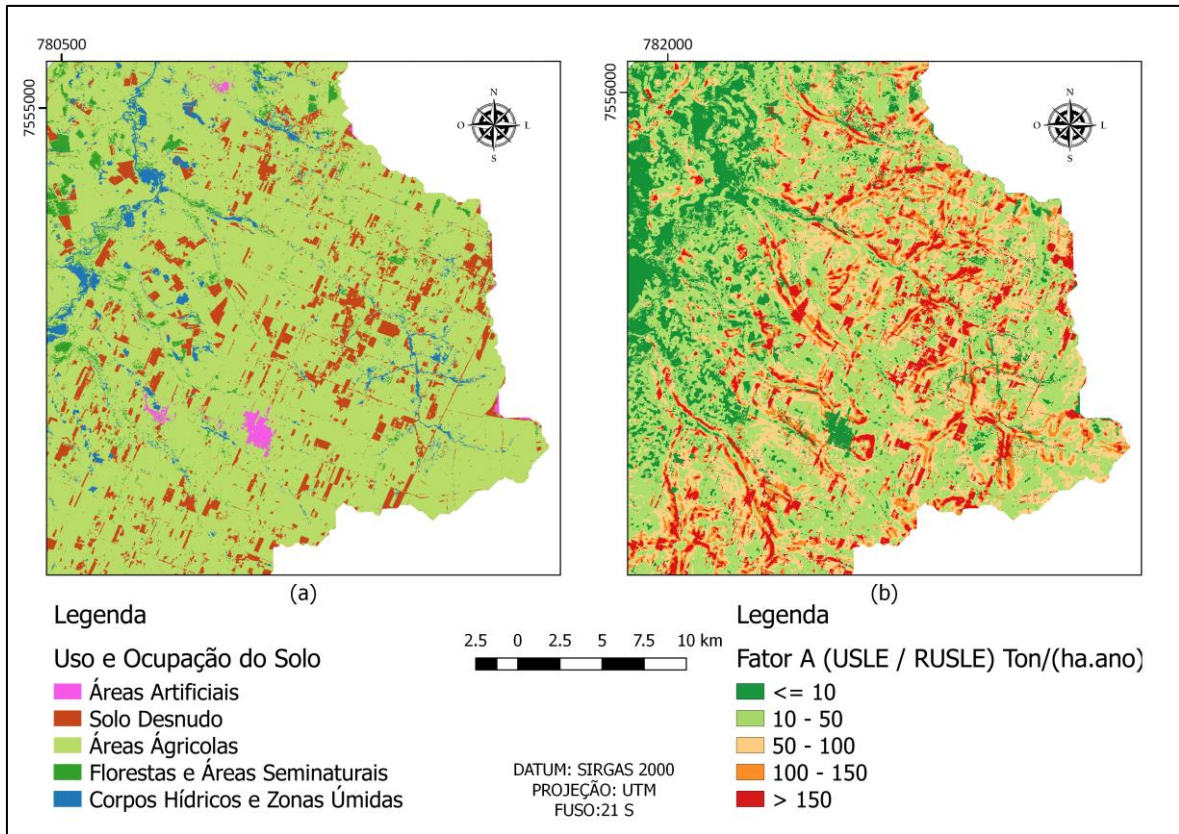


Figura 27 Comparação da Carta do Fator CxP com a carta do Fator A (perda anual de solo) na região sudeste da Bacia Hidrográfica do Rio Dourados.

Em decorrência das fontes de dados ambientais utilizados serem de média resolução espacial, e as limitações de um modelo matemático como a USLE, os valores obtidos não devem ser observados sob a ótica quantitativa, mas sim para análises qualitativas quanto às áreas potencialmente erodíveis e prioritárias da bacia hidrográfica em estudo (STEIN et al., 1987).

2.4 Conclusão

As regiões Sudeste e Noroeste da Bacia Hidrográfica do Rio Dourados apresentaram-se mais susceptíveis a perda de solo por erosão hídrica laminar frente as suas características geomorfológicas e ocupação antrópica, sendo regiões prioritárias para estudos quantitativos e ações de remediação.

O uso de dados SRTM 30 metros para obtenção de MDE e fator topográfico da USLE/RUSLE (fator LS) mostrou ser uma alternativa prática e viável, minimizando custos

e tempo de execução dos trabalhos, observado as dificuldades encontradas no gerenciamento de extensas unidades territoriais.

O uso e ocupação do solo juntamente com o fator topográfico e pedologia tem grande importância no que refere-se a perda de solo anual, no qual observa-se que regiões no qual a cobertura vegetal natural foi suprimida a tendência de perda de solo por erosão hídrica laminar é significativamente maior, frente a tendência de destruturação das características naturais do solo .

A perda de solo anual da bacia é maior em solos com maior potencial erosivo (fator K) com características topográficas específicas (maiores declives) e condições de uso e ocupação de solo desfavoráveis, sendo necessário correto manejo frente a busca de mitigação de impactos ambientais negativos (alterações na qualidade físico-química de águas superficiais, assoreamento de corpos hídricos, alterações no comportamento hidrológico, dentre outros).

A estimativa de perda de solo anual da Bacia Hidrográfica do Rio Dourados pode ser utilizada por órgãos públicos e privados para estabelecimento de áreas prioritárias para recuperação e de estudos mais aprofundados (análises quantitativas) visando proposições de manejos conservacionistas nestes locais, melhorias na qualidade das águas superficiais, bem como gerenciamento sustentável da bacia hidrográfica em questão.

2.5 Referências Bibliográficas

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Classificação Bacias Hidrográfica 5º nível.**

Disponível em:

http://metadados.ana.gov.br/geonetwork/srv/en/resources.get?id=47&fname=NIVEL_5.7z&access=private. Acesso em: 15 de nov. 2017.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação Do Solo.** São Paulo: Ícone,2008.

BLOISE, G. L. F.; CARVALHO, A. P. F.; MARTINS, E.S.; REATTO, A.; CARVALHO JUNIOR, O. A. Avaliação da Suscetibilidade Natural à Erosão dos Solos da Bacia do Olaria-DF. **Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento: Embrapa Cerrados.** Planaltina-DF, 32 p, 2001.

BORGES, K. M. R. **Avaliação da susceptibilidade erosiva da Bacia do Rio Carinhanha (MG/BA) por meio da EUPS – Equação Universal de Perda de Solos**. 2009. 80p.

Dissertação (Mestrado em Geografia). Departamento de Geografia. Universidade de Brasília. Brasília, 2009.

BRASIL, Leis. **Lei nº 9.433 de 08 de Janeiro de 1.997**. “Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei 8.001 de 13 de março de 1.990, que modificou a Lei nº 7.990 de 28 de dezembro de 1.989. Data da legislação: 08/01/1997 – Publicação DOU: 09/01/1.997.

CARVALHO, E. M. DE; PINTO, S. A. F.; SEPE, P. M.; ROSSETTI, L. A. F. G. Utilização do Geoprocessamento para Avaliação de Riscos de Erosão do Solo em uma Bacia Hidrográfica: Estudo de Caso da Bacia do Rio Passa Cinco/SP. In: Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Informação, 3, 2010, Recife. **Anais**. Recife: UFPE, 2010.

CORINE, CORINE Land Cover. CORINE – Coordination of information on the environment. **Comm of European Communities**, Bruxelas, 106 p, 1992.

CORRECHEL, V. **Avaliação de índices de erodibilidade do solo através de técnica da análise de redistribuição do “Fallout” do ¹³⁷Cs**. Tese de doutorado do Centro de Energia Nuclear na Agricultura - USP, São Paulo, 2003.

EDUARDO, E. N. **Determinação da Erodibilidade e do Fator Cobertura e Manejo do Solo Sob Condições de Chuva natural e Simulada**. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Dissertação de mestrado, 47p, 2012.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3. ed. – Rio de Janeiro: EMBRAPA-SPI, 306p., 2013

EMBRAPA. **Uso agrícola dos solos brasileiros**. Rio de Janeiro, 174 p., 2002.

EMBRAPA. **Zoneamento Agroecológico do Município de Guia Lopes da Laguna - MS** / Maria José Zaroni. Et al. Rio de Janeiro: Embrapa Solos. 66 p.,2009.

ESRI Inc. - ARC / INFO version 7.11. **Environmental Systems Research Institute Inc.** New York , 1 CD ROM, 1997.

FOSTER, G.R., L.D.; MEYER, C.A. ONSTAD. A runoff erosivity factor and variable slope length exponents for soil loss estimates. Trans. ASAE 20:683-687, 1997.

GALDINO, S.; WEILL, M. A. M. Estimativa e análise do fator topográfico (LS) da Equação Universal de Perda de Solo Revisada (RUSLE) para a bacia do Alto Taquari MS/MT. In: III Simpósio de Geotecnologias no Pantanal, Cáceres. **Anais III Simpósio de Geotecnologias no Pantanal**. Campinas : Embrapa Informática Agropecuária/INPE. p. 260-269, 2010.

GLCF - GLOBAL LAND COVER FACILITY. **CÁTALOGO SRTM 2000**. Órbita 224 ponto 75. Disponível em: <<http://glcfapp.glc.f.umd.edu:0800/esdi/index.jsp>>. Acessado em 20 junho de 2017.

HARALICK, R. M.; Ridge and valley detection on digital images. **Computer Vision, Graphics and Image Processing**, 22(1): 28-38, 1983

HEYMANN, Y., STEENMANS, C.H., CROISSILLE, G., BOSSARD, M. **CORINE land cover, technical guide**. Luxembourg, 1994.

HEYMANN, Y.; STEENMANS, C.; CROISSILLE, G. & BOSSARD, M.; CORINE Land Cover Project - **Technical Guide**. **European Commission**, Directorate General Environment, Nuclear Safety and Civil Protection, ECSC-EEC-EAEC, Brussels – Luxembourg, 136 pp, 1994.

HUDSON, N.W. Soil conservation.2.ed. **Ithaca**, Cornell University Press, 1971. 320p.

IBGE - **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**, 2015. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/.htm>>. Acesso em: 20 de junho de 2017.

LIMA,C. G. R.; CARVALHO, M. P.; SOUZA, A.; COSTA, N. R.; MONTANARI, R. Influência De Atributos Químicos Na Erodibilidade E Tolerância De Perda De Solo Na Bacia Hidrográfica Do Baixo São José Dos Dourados. **Revista Geociências**, São Paulo, 2016.

LOPES, F. B.; ANDRADE, E. M.; TEIXEIRA, A. D.; CAITANO, R. F.; CHAVES, L.C. G. Uso de geoprocessamento na estimativa da perda de solo em micro bacia hidrográfica do semiárido brasileiro. **Revista Agro@mbienteOnline**, v. 5, n. 2, p. 88-96, 2011.

LOVELAND, T., MERCHANT, J., BROWN, J., & OHLEN, D. Development of a land-cover characteristics database for the conterminous U. S. **Photogrammetric engineering and remote sensing**, Vol. 57 - 11, p. 1453-1463, 1991.

MANNINGEL, A.R.; CARVALHO, M. P.; MEDEIROS, D. M. L. R. Fator erodibilidade e tolerância de perda dos solos do Estado de São Paulo. **Acta Scientiarum**. V. 24, n. 5, Maringá, p. 1335-1340, 2002.

MCCOOL, D. K.; G. R. FOSTER, C. K.; MUTCHLER; L. D. MEYER. Revised slope length factor for the Universal Soil Loss Equation. **TRANSACTIONS of the ASAE** 32(5):1571- 1576, 1989.

MERTEN, G. H.; CAVIGLIONE, J. H.; CIACOMINI, D. C.; RUFINO, R. L.; MEDEIROS, G.; SAINTRAIN, D.; RIBAS, G. C.; DEDECEK, R.; KESSLER, C. A. **El uso del SIG del modelo USLE para determinar mapas de erosion potencial y actual em las microcuencas pilotos de Água Grande y Córrego do Pensamento, Mamborê, Paraná, Brasil**. Santiago, Chile: Proyecto Regional GCP/RLA/107/JPN, 43 P., 1995.

OLIVEIRA, P.T.S.; RODRIGUES, D.B.B.; ALVES SOBRINHO, T.; CARVALHO, D.F. & PANACHUKI, E. Spatial variability of the rainfall erosive potential in the state of Mato Grosso do Sul, Brazil. **Revista Engenharia Agrícola**, 32(1): 69-79, 2012.

PANACHUKI, E., BERTOL, I., ALVES SOBRINHO, T., TARSO SANCHES DE OLIVEIRA, P., & BUCHALA BICCA RODRIGUES, D. Perdas de solo e de água e infiltração de água em Latossolo Vermelho sob sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, Vol. 35 - 5, p. 1777-1785, 2011.

PARANHOS FILHO, A. C.; OLIVEIRA, E. F.; MIOTO, C.L. BARBOSA, A. F.; Aplicação da Equação Universal de Perda do Solo (USLE) em Softwares Livres e Gratuitos. **Anuário do Instituto de Geociências – UFRJ**. Vol. 38 - 1 /p. 170-179, 2015.

PARANHOS FILHO, A.C. Análise Geo-Ambiental Multitemporal : O estudo de Caso da Região deCoxim e Bacia do Taquarizinho. **Tese de doutoramento**. Curso de Pós Graduação em Geologia - UFPR. 2000. 213 p.

PARANHOS FILHO, A.C.; MIOTO, C. L.; JUNIOR, J. M.; TORRES, T.G. **Geotecnologias em Aplicações Ambientais**. Campo Grande-MS: UFMS, 2016.

PETROPOULOS, G.P.; VADREVU, K. P.; XANTHOPOULOS, G.; KARANTOUNIAS, G.; SCHOLZE, M. A comparison of spectral angle mapper and artificial neural network classifiers combined with landsat tm imagery analysis of obtaining burnt área mapping. **Sensors**, 2010.

QGIS Development Team. QGIS 2.18.13 Lisboa. **Geographic Information System**. Open Source Geospatial Foundation Project, 2017.

RENARD, K.G., FOSTER, G.R., WEESIES G.A. Predicting Soil Erosion by Water: A guide to conservation planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE). USDA **Agricultural Handbook** No. 703, 404 pp, 1997. Disponível em: [http://www.ars.usda.gov/SP2UserFiles/ Place/64080530/RUSLE/AH_703.pdf](http://www.ars.usda.gov/SP2UserFiles/Place/64080530/RUSLE/AH_703.pdf). Acesso em 12 de dez. de 2017

RUTHES, J.M.; TOMAZONI. J.C.; GUIMARÃES. E.; GOMES.T.C. Uso de Sistema de Informação Geográfica na Determinação do Fator Topográfico da Bacia do Rio Catorze, Sudoeste do PR. **Revista Brasileira de Geografia Física**. v. 5, p. 1099 – 1199. 2012.

SEMAGRO. **Resolução n. 648 de 15 de agosto de 2017**. Estabelece os períodos de semeadura e do vazio sanitário vegetal para a cultura da soja, assim como dispõe sobre as excepcionalidades, a qual se refere as regras da Lei Estadual n. 3.333 de 21 de dezembro de 2006. – Publicação DOE: 18 ago. 2017.

SILVA, W. G. A estratégia de integração do sul do estado de Mato Grosso ao território nacional durante o governo Vargas uma análise a partir da criação da Colônia Agrícola

Nacional de Dourados em 1943, **Revista do Departamento de Geografia Universidade de São Paulo**. Vol. 31 – 1 p. 26-42, 2016.

STEIN, D.P.; DONZELLI, P.; GIMENEZ, A.F.; PONÇANO, W.L.; LOMBARDI NETO, F. Potencial de erosão laminar natural e antrópica na bacia do Peixe-Parapanema. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE CONTROLE DE EROSÃO, 4, Marília, 1987. **Anais**, Marília, p. 105-135, 1987.

USGS. LANDSAT 8 TM. **Imagem de Satélite**. Canais 8, 5, 4, 2. Disponível em <http://earthexplorer.usgs.gov>. Órbita/Ponto 224/75, 224/76, 225/75/225/76. Acessado em 20 junho de 2017.

WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning. Washington, DC: **USDA**, (Agriculture handbook, 537), 1978.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo mostrou-se como potencial ferramenta a ser utilizada, com custos reduzidos, por Comitês de bacias hidrográficas e órgãos públicos e privados no que se refere ao gerenciamento ambiental de recursos hídricos e do manejo de bacias hidrográficas, mais especificamente, sobre a questão de erosão hídrica laminar, em que observa-se que características topográficas, de uso e ocupação do solo, classificação pedológica e pluviometria são fatores cruciais para determinação qualitativa da perda de solo na Bacia Hidrográfica do Rio Dourados.

Com a determinação dos locais considerados críticos, observa-se um leque de oportunidades para elaboração de estudos promovedores de análises quantitativas de perda de solo, utilizando-se de métodos que possibilitem uma precisa resposta frente aos processos erosivos provenientes de erosão hídrica laminar.

A partir dos resultados obtidos, verificou-se a importância do controle do uso e ocupação do solo em áreas que apresentam características geomorfológicas específicas e mais frágeis, em que, a partir de um manejo sustentável, os impactos ambientais negativos provenientes de ações antrópicas (erosão hídrica laminar potencializada) podem ser significativamente mitigados.

O controle e monitoramento das bacias hidrográficas por meio de métodos eficientes, inovadores e principalmente menos onerosos, como o caso das geotecnologias, apresentou-se como instrumento viável, tendo grande potencial para suporte ao planejamento de curto, médio e longo prazo.

Salienta-se da necessidade de futuras pesquisas frente à obtenção de maiores dados a campo para validação e uso de métodos que abranjam questões como locais de perda de solo juntamente com a apresentação dos locais de posterior acúmulo, sendo informações limitantes com a utilização da Equação Universal de Perda de Solo.

Assim, nota-se grande importância da pesquisa e aplicação de métodos de estimativas integrados ao geoprocessamento, envolvendo a obtenção de dados, processamento geoespacial e principalmente a análise e interpretação dos resultados por meio de usuários qualificados, buscando desta forma a solução para problemas ambientais juntamente com tomadas de decisão e estabelecimento de políticas públicas que visam à manutenção e correto manuseio destes recursos naturais de forma sustentável.

Bibliografia

BISWAS, A. K. Integrated Water Resources Management: A Reassessment. **Water International**. Vol 29, n° 2: 248-256, 2006.

BRASIL, Leis. **Lei n° 9.433 de 08 de Janeiro de 1.997**. “Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1° da Lei 8.001 de 13 de março de 1.990, que modificou a Lei n° 7.990 de 28 de dezembro de 1.989. Data da legislação: 08/01/1997 – Publicação DOU: 09/01/1.997.

FARR, T. G.; ROSEN, P. A.; 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. **Revista Geophys**, n. 45. RG2004, doi:10.1029/2005RG000183. 33 p., 2007. Disponível em <<http://www.agu.org/pubs/crossref/2007/2005RG000183.shtml>>. Acessado em 20 junho de 2017.

PARANHOS FILHO, A. C.; OLIVEIRA, E. F.; MIOTO, C.L. BARBOSA, A. F. Aplicação da Equação Universal de Perda do Solo (USLE) em Softwares Livres e Gratuitos. **Anuário do Instituto de Geociências – UFRJ**. Vol. 38 - 1 / 2015 p. 170-179, 2015.

PARANHOS FILHO, A.C.; MIOTO, C. L.; JUNIOR, J. M.; TORRES, T.G. **Geotecnologias em Aplicações Ambientais**. Campo Grande-MS: Editora UFMS, 2016.

PEREIRA, L.S.; OWEIS, T.; ZAIRI, A. Irrigation management under water scarcity. **Agriculture Water Management**. Vol. 57: 175-206,2002.

SANESUL, Empresa de Saneamento do Estado de Mato Grosso do Sul. Campo Grande/MS: **Publicação Interna**, 2012.

SILVA, A. L. M. Direito do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais. São Paulo: Editora **Revista dos Tribunais**. v.2, 2005.

SPATTI JUNIOR, E. **Avaliação Ambiental, Caracterização da Qualidade de Água e Transporte de Sedimentos na Bacia Hidrográfica do Ribeirão Monjolo Grande (SP)**. Dissertação de Mestrado, 2011.

TUCCI, C.E.M. **Hidrologia: ciência e aplicação**. 2.ed. Porto Alegre: ABRH, 1997.

WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning. Washington, DC: **USDA**, (Agriculture handbook, 537), 1978.