

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA - *CAMPUS* MONTE CARMELO
ENGENHARIA DE AGRIMENSURA E CARTOGRÁFICA

VICTÓRIA MARIA GUERRERO

**MAPEAMENTO E AVALIAÇÃO DOS RISCOS DE INUNDAÇÃO DA
MICROBACIA DO CÓRREGO MUMBUCA - MONTE CARMELO-MG.**

MONTE CARMELO

2020

VICTÓRIA MARIA GUERRERO

**MAPEAMENTO E AVALIAÇÃO DOS RISCOS DE INUNDAÇÃO DA
MICROBACIA DO CÓRREGO MUMBUCA - MONTE CARMELO-MG.**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como pré-requisito para obtenção do título de bacharel em Engenharia de Agrimensura e Cartográfica, da Universidade Federal de Uberlândia.

Orientador: Prof. Dr. Ismarley Lage Horta
Morais.

Coorientador: Me. Tulio Alves Santana.

MONTE CARMELO

2020

VICTÓRIA MARIA GUERRERO

**MAPEAMENTO E AVALIAÇÃO DOS RISCOS DE INUNDAÇÃO DA
MICROBACIA DO CÓRREGO MUMBUCA - MONTE CARMELO-MG.**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado como pré-requisito para
obtenção do título de Bacharel em
Engenharia de Agrimensura e
Cartográfica, da Universidade Federal de
Uberlândia, e aprovado pela banca
examinadora formada por:

Monte Carmelo, 18 de dezembro de 2020.

Dr. Ismarley Lage Horta Morais.

Me. Tulio Alves Santana.

Dra. Luziane Ribeiro Indjai

RESUMO

Inundações urbanas podem causar mortes e gerar grandes prejuízos financeiros para os municípios, que precisam agir emergencialmente para apoiar a reconstrução das estruturas devastadas pela força da água. Bacias hidrográficas pequenas, como as existentes em áreas urbanas, raramente possuem dados observados de vazão, sendo então necessários métodos simplificados para sua estimativa, que representem a interação entre a precipitação e as características da bacia, que tem como resultado a vazão em um curso d'água. Tais inundações podem ser resultado da impermeabilização provocada pelo aumento da urbanização e ocupação de áreas próximas aos cursos de água. O objetivo desta pesquisa, é o mapeamento e a avaliação do risco a inundações na Bacia Hidrográfica do córrego Mumbuca localizada no município de Monte Carmelo-MG. Para avaliar o risco a inundações foram gerados mapas temáticos com diversas variáveis que influenciam a ocorrência de inundações, das quais pode-se destacar: declividade, hipsometria, precipitação, relevo, geologia, geomorfologia e uso e ocupação da terra. Após a realização desses mapas, foi realizado o mapa de risco à inundações do Córrego Mumbuca, apresentou uma área total de 35, 2825 km², sendo classificados como baixo risco a inundações uma área de 6,8534km² com um índice mais elevado à inundações classificado com médio 14, 3456 km² e pertencente a uma classe de alto risco à inundações uma área de 14,0834km². O município de Monte Carmelo não tem registro de dados históricos que caracterize a ocorrência de inundações em larga escala em seu território, porém através desse estudo é possível destacar áreas com maior risco a esse desastre natural.

Palavra-chave: Inundações, Mapeamento, Risco à inundações, Desastre Natural.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1-	Ciclo da Água	10
Figura 2-	Hierarquia Fluvial	12
Figura 3-	Estações da ANA	24
Figura 4-	Planície Fluvial	26

LISTA DE MAPAS

MAPA 1- Localização e caracterização da área de estudo.	21
MAPA 2- Declividade do Terreno.	31
MAPA 3- Hipsometria do Terreno.	32
MAPA 4- Precipitação do Terreno.	33
MAPA 5- Pedolgia do Terreno.	34
MAPA 6- Geolgia do Terreno.	35
MAPA 7- Geomorfologia do Terreno.	36
MAPA 8- Uso e Ocupação da Terra do Terreno.	37
MAPA 9- Risco à Inundação para Declividade.	39
MAPA 10- Risco à Inundação para Hipsometria.	41
MAPA 11- Risco à Inundação para Precipitação.	43
MAPA 12- Risco à Inundação para Pedologia.	45
MAPA 13- Risco à Inundação para Geologia.	47
MAPA 14- Risco à Inundação para Geomorfologia.	49
MAPA 15- Risco à Inundação para Uso e Ocupação da Terra.	51
MAPA 16- Risco à Inundação para o Córrego Mumbuca.	53

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Dados Declividade.	23
Tabela 2- Dados Hipsometrico.	23
Tabela 3- Estações da ANA.	24
Tabela 4- Dados Pluviométricos.	25
Tabela 5- Dados Pedológicos.	25
Tabela 6- Dados Geológicos.	25
Tabela 7- Dados Geomorfológicos.	26
Tabela 8- Dados Uso e Ocupação da Terra.	27
Tabela 9- Parâmetros utilizados na análise morfométrica.	28
Tabela 10- Resultados da análise morfométrica.	28
Tabela 11- Dados de Risco à Inundação para Declividade	38
Tabela 12- Dados do Risco à Inundação para Hipsometria.	40
Tabela 13- Dados Risco à Inundação para Precipitação.	42
Tabela 14- Dados Risco à Inundação para Pedologia.	44
Tabela 15- Dados Risco à Inundação para Geologia.	46
Tabela 16- Dados Risco à Inundação para Geomorfologia.	48
Tabela 17- Dados Risco à Inundação para Uso e Ocupação da Terra.	50
Tabela 18- Dados Risco à Inundação para o Córrego Mumbuca.	52

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	8
2 OBJETIVOS	9
3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	9
3.1 Hidrologia	9
3.2 Ciclo Hidrológico	10
3.3 Bacia Hidrográfica	11
3.3.1 Coeficiente de Compacidade (KC)	13
3.3.2 Fator da Forma (KF)	13
3.3.3 Densidade de Drenagem (Dd)	14
3.3.4 Tempo de Concentração (TC)	14
3.4 Uso e Ocupação do Solo	15
3.5 Influência na Urbanização na Drenagem.....	16
3.6 Chuvas Intensas	17
3.7 Monitoramento de Chuvas (Estações Pluviométricas)	18
3.8 Geoprocessamento	19
4 MATERIAL E MÉTODOS	20
4.1 Área de Estudo	20
4.2 Material	21
4.3 Métodos	22
5 RESULTADOS	28
6 CONCLUSÃO	54
REFERÊNCIAS	56

1 INTRODUÇÃO

Grandes acontecimentos sobre a ocorrência de inundação têm aumentado e tornado mais frequente a cada ano, afetando, sobretudo, áreas urbanas e ribeirinhas. No Brasil, as inundações causam perdas de 1 bilhão de dólares por ano, principalmente, em razão da ocupação desordenada das margens de rios e impermeabilização do solo de bacias urbanas (MCT/CGE, 2002).

A expansão das áreas urbanas é um fator que provoca significativas alterações no ciclo hidrológico, principalmente através de mudanças na cobertura do terreno, que modificam a permeabilidade do solo, a velocidade com que a água escoar sobre ele e a geração de sedimentos. Estas alterações são as principais causas de inundações urbanas, que são problemas comuns há diversas décadas em todo o mundo.

Inundações urbanas podem causar mortes e gerar grandes prejuízos financeiros para os municípios, que precisam agir emergencialmente para apoiar a reconstrução das estruturas devastadas pela força da água. Além destes impactos, inundações podem causar diversos outros, como congestionamento no trânsito, interrupção de atividades econômicas nas áreas inundadas, diminuição da qualidade das águas e disseminação de doenças de veiculação hídrica.

As características físicas, bióticas e o comportamento hidrológico de uma bacia hidrográfica possuem um importante papel nos processos do ciclo hidrológico, influenciando, dentre outros, a infiltração e quantidade de água produzida como deflúvio, a evapotranspiração, os escoamentos superficiais e subsuperficial. Além disso, o comportamento hidrológico de uma bacia hidrográfica também é afetado por ações antrópicas, uma vez que, ao intervir no meio natural, o homem acaba interferindo nos processos do ciclo hidrológico (TONELLO, 2005).

Bacias hidrográficas pequenas, como as existentes em áreas urbanas, raramente possuem dados observados de vazão, sendo então necessários métodos simplificados para sua estimativa, que representem a interação entre a precipitação e as características da bacia, que tem como resultado a vazão em um curso d'água. Nesse contexto, a cidade de Monte Carmelo-MG, que está inserida na bacia hidrográfica do córrego Mumbuca, já apresentou histórico de cheias e inundações. Tais inundações podem ser resultado da impermeabilização provocada pelo aumento da urbanização e ocupação de áreas próximas aos cursos de água.

Portanto, essa pesquisa tem como foco principal salientar a importância de uma bacia hidrográfica, pois conhecendo suas características, pode-se conhecer seu funcionamento e as consequências que podem ocorrer. Assim, os mapas de risco à inundação se tornam essenciais, pois através deles é possível realizar o planejamento de medidas a serem tomadas para que tais acontecimentos não acarretem prejuízos a população, à economia e ao ambiente.

2 OBJETIVOS

O objetivo da pesquisa é o mapeamento e avaliação do risco a inundação da MicroBacia Hidrográfica do Córrego Mumbuca localizada no município de Monte Carmelo-MG. Para tanto, são apresentados os seguintes objetivos específicos:

- Estudar a morfometria da bacia hidrográfica do Córrego Mumbuca;
- Elaborar os mapas temáticos: declividade, hipsometria, pluviosidade, pedologia, geologia, geomorfologia e uso e ocupação da terra, da bacia hidrográfica do Córrego Mumbuca do município de Monte Carmelo;
- Elaborar o mapa de risco de inundação;
- Identificar regiões sujeitas a inundação.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 Hidrologia

Hidrologia é a ciência natural que se trata dos fenômenos relativos à água em todos os seus estados, de sua distribuição e ocorrência na atmosfera, na superfície terrestre e no solo, e da relação desses fenômenos com a vida e com as atividades do homem (MEYER, 1948).

Sua importância é facilmente compreensível quando se considera o papel da água na vida humana. Ainda que os fenômenos hidrológicos mais comuns, como as chuvas e o escoamento dos rios, possam parecer suficientemente conhecidos, devido à regularidade com que se verificam, basta lembrar os efeitos catastróficos das grandes cheias e estiagens para constatar o inadequado domínio do homem sobre as leis naturais que regem aqueles fenômenos e a necessidade de se aprofundar o seu conhecimento (PINTO et al., 1976).

A água pode ser encontrada em estado sólido, líquido ou gasoso; na atmosfera, na superfície da Terra, no subsolo ou nas grandes massas constituídas pelos oceanos, mares e

lagos. Em sua constante movimentação, configura o que se convencionou chamar de ciclo hidrológico; muda de estado ou de posição com relação à Terra (PINTO et al., 1976).

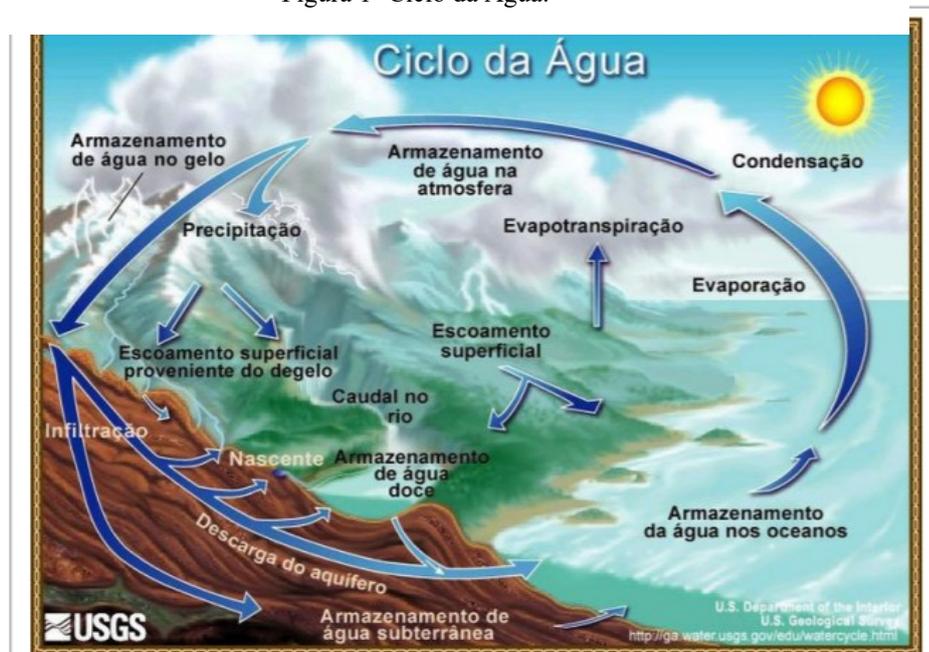
3.2 Ciclo Hidrológico

O comportamento natural da água quando à sua ocorrência, transformações de estado e relações com a vida humana é bem caracterizado por meio de conceito de ciclo hidrológico.

O ciclo hidrológico é o fenômeno global de circulação fechada da água entre a superfície terrestre e a atmosfera, impulsionado fundamentalmente pela energia solar associada à gravidade e à rotação terrestre (SILVEIRA, 1993).

Para entendimento mais satisfatório, do ciclo, pode-se visualizá-lo como tendo início com a evaporação da água dos oceanos. O vapor resultante é transferido pelo movimento das massas de ar. O vapor pode ser condensado, formando as nuvens que por sua vez podem resultar em precipitação. Esta precipitação que ocorre sobre a terra pode ser diferente de várias formas. A maior parte fica retida temporariamente no solo próximo onde caiu, que por sua vez, retorna à atmosfera através da evaporação e evapotranspiração das plantas. Uma parte da água que sobra escoam sobre a superfície do solo ou para os rios, enquanto a outra parte infiltra no solo, abastecendo o lençol d'água subterrâneo (SILVEIRA, 1993) (Figura 1).

Figura 1- Ciclo da Água.



Fonte: USGS (2010).

Embora o ciclo hidrológico possa parecer um ciclo contínuo, com a água se movendo de uma forma permanente e com uma taxa constante, é na realidade bastante diferente, pois o movimento que a água faz em cada uma das fases do ciclo ocorre de forma bastante aleatória, variando tanto no espaço como no tempo (PEDRAZZI, 2003).

3.3 Bacia Hidrográfica

Bacia hidrográfica é definida como uma área limitada por um divisor de água, que a separa das bacias adjacentes e que serve de captação natural da água de precipitação através de superfícies vertentes. Por meio de uma rede de drenagem, formada por cursos d'água, ela faz convergir os escoamentos para a seção de exutório, seu único ponto de saída (BORSATO; MARTONI, 2004).

De forma geral, a bacia hidrográfica, refere-se a uma compartimentação geográfica natural delimitada por divisores de água. Os divisores de água, são como uma espécie de fronteira em que, de um lado, escoam a água em direção a um rio e, de outro, escoam a água em direção a outro rio. Em razão da força da gravidade, as águas correm sempre do ponto mais alto da superfície em direção aos pontos com menores altitudes. Podendo concluir que as localidades mais elevadas são os divisores de água e os pontos menos elevados costumam abrigar o leito dos rios. Por este motivo, esse compartimento é drenado superficialmente por um curso d'água principal e seus afluentes.

A caracterização morfométrica de uma bacia hidrográfica é um dos primeiros e mais comuns procedimentos executados em análises hidrológicas ou ambientais. A combinação dos diversos dados morfométricos permite a diferenciação de áreas homogêneas (ANTONELLI; THOMAZ, 2007).

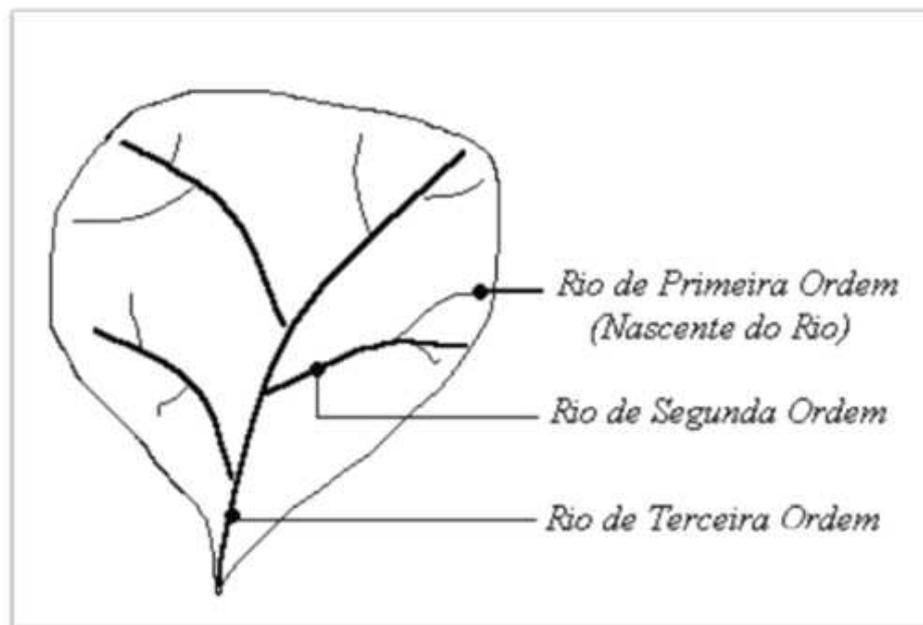
Conceitualmente, a dinâmica do processo hidrológico de uma bacia hidrográfica está diretamente ligada às suas características geomorfológicas com a sua forma, relevo, área, geologia, uso da terra, rede de drenagem, solo, tipo de cobertura vegetal, entre outros (TONELLO, 2005). Portanto, as características físicas possuem importante função nos processos hidrológicos, intervindo na infiltração de água no solo, evapotranspiração e no escoamento superficial.

Desta forma, entende-se por bacias hidrográficas, localidades da superfície terrestre separadas topograficamente entre si, cujas áreas funcionam como receptores naturais das águas da chuva. Com isto, todo o volume de água precipitado não infiltrado é automaticamente escoado por meio de uma rede de drenagem das áreas mais altas para as

mais baixas, seguindo uma hierarquia fluvial, até concentrarem-se em um único ponto, formando um rio principal (GARCEZ E ALVAREZ, 1988)

A rede hidrográfica significa um conjunto de cursos d'água (rios) dispostos em hierarquias encontrados nas bacias hidrográficas que seriam: os rios de primeira ordem correspondem às nascentes, onde o volume de água ainda é baixo; os rios de segunda ordem correspondem à junção de dois rios de primeira ordem e os rios de terceira ordem, a junção de dois de segunda; e assim sucessivamente, formando uma hierarquia (Figura 2) (SANTOS et al., 2012).

Figura 2- Hierarquia Fluvial.



Fonte: (UFSCAR, 2010).

Além das técnicas de mapeamento, a análise morfométrica também auxilia no reconhecimento de áreas propícias à inundação, especialmente em bacias hidrográficas. Os estudos morfológicos de bacias implicam em um número grande de variáveis, coeficientes e equações, algumas específicas de cada área de estudo. A forma da bacia, por exemplo, é um indicador importante na determinação de tendência à inundação, pois influencia no tempo necessário que a precipitação sobre a bacia contribua na vazão de certa seção de estudo. (FERREIRA, 2010).

Os parâmetros morfométricos que são utilizados para caracterização de uma bacia hidrográfica, alguns são diretamente relacionados aos estudos de risco de inundação, que são eles apresentados a seguir:

3.3.1 Coeficiente de Compacidade (KC)

O Coeficiente de Compacidade (KC) é um índice de forma relacionando o perímetro da bacia e a circunferência (perímetro) de um círculo de mesma área. Este coeficiente é um número adimensional, variando com a forma da bacia, independentemente de seu tamanho, sendo que quanto mais irregular for a bacia, maior será o coeficiente de compacidade.

Quanto mais próximo da unidade (KC=1) for este coeficiente, mais a bacia se assemelha a um círculo, podendo ser resumido da seguinte forma (VILLELA E MATTOS, 1975).

$$KC = \frac{0,28 * P}{\sqrt{A}}$$

Em que:

A = área da bacia, em km².

P = perímetro da bacia, em km.

Quando maior valor do coeficiente de compacidade, menor o risco de ocorrência de grandes enchentes em uma determinada bacia hidrográfica. De maneira geral podemos relacionar o valor de KC e o risco de enchentes em uma bacia da seguinte forma:

1,00 – 1,25: bacia com alta propensão a grandes enchentes;

1,25 – 1,50: bacia com tendência mediana a grandes enchentes;

>1,50: bacia não sujeita a grandes enchentes.

3.3.2 Fator da Forma (KF)

O fator forma (KF) relaciona a forma da bacia com a forma de um círculo, e é determinado pela relação entre a largura média e o comprimento axial da bacia (VILLELA E MATTOS, 1975).

$$KF = \frac{A}{L^2}$$

Em que:

A = área da bacia, em km².

L = comprimento da linha de fundo, em km.

Sendo KF entre:

1,00 – 0,75: sujeito a enchentes;

0,75 – 0,50: tendência mediana;

< 0,50: não sujeito a enchentes.

3.3.3 Densidade de Drenagem (Dd)

Um sistema de drenagem é formado pelo rio principal e seus afluentes (TONELLO, 2005). Através da densidade de drenagem podemos saber a maior ou menor velocidade com que a água deixa a bacia hidrográfica, ou melhor, a eficiência do escoamento dentro da bacia.

$$Dd = \frac{\sum L}{A}$$

Em que:

Dd = densidade de drenagem, em km⁻¹

L = comprimento de cada um dos trechos dos cursos d'água, em km.

A = área de drenagem da bacia, em km².

Em uma região com características climáticas relativamente homogêneas, a densidade de drenagem é função principalmente das características do solo e da litologia da bacia hidrográfica. Quando os solos e a litologia são mais permeáveis (tais como solos arenosos e rochas de arenito) a densidade de drenagem é baixa. (ANTONELI; THOMAZ, 2007).

3.3.4 Tempo de Concentração (TC)

O tempo de concentração é aquele necessário para que toda a água precipitada na bacia hidrográfica passe a contribuir na seção considerada. Em outras palavras, pode ser definido como o tempo de viagem da gota de água de chuva que atinge a região mais remota da bacia, desde o início de seu escoamento, até o momento em que atinge o exutório. Esse tempo depende tanto da distância total que a água deve percorrer, como da velocidade com

que a água escoar. Este tempo pode ser calculado através de dois métodos, apresentados a seguir (VILLELA E MATTOS, 1975).

Fórmula de Kirpich:

Equação – Tempo de concentração

$$TC = 57 \left(\frac{L^2}{Ieq} \right)^{0,385} .$$

Em que:

Ieq = declividade equivalente, em m/km.

L = comprimento do curso d'água, em km.

Fórmula de Picking:

Equação – Tempo de concentração

$$tc = 5,3 \left(\frac{L^2}{Ieq} \right)^{\frac{1}{3}} .$$

Em que:

L = comprimento do talvegue, em km;

Ieq = declividade equivalente, em m/m.

De maneira geral, o tempo de concentração é maior em bacias grandes, em que a água deve percorrer dezenas ou centenas de quilômetros. Além disso, o tempo de concentração é menor em bacias montanhosas do que em bacias planas.

3.4 Uso e Ocupação do Solo

Uso e ocupação do solo é o processo pelo qual os humanos tomam um espaço geográfico e realizam suas atividades nele, modificando a paisagem inicial. Isso gera impactos no ecossistema, perda de biodiversidade e poluição do ar, além de outros danos aos recursos naturais, como a água e o solo (SANTOS, 2006).

Agricultura, reflorestamento, transportes e habitação são algumas das ações humanas que modificam as condições iniciais do solo. De igual modo, as zonas costeiras e montanhosas são afetadas com as iniciativas de turismo e lazer (SANTOS, 2006).

Saber como esse território é explorado ajuda a resolver questões fundamentais ligadas aos recursos naturais, a exemplo da qualidade da água. Já o controle do uso da terra ajuda a evitar a deterioração do meio ambiente.

Quando uma cidade se depara com erosão, inundações e assoreamentos de cursos de água, provavelmente, passou por um mau uso do solo. Outras práticas humanas, como as queimadas podem contribuir para um impacto no clima. Em sentido contrário, quem faz reflorestamento está colaborando para devolver vida ao local e diminuir a quantidade de CO₂ na atmosfera (SANTOS, 2006).

O planejamento do uso desse espaço é fundamental, evitando a degradação exacerbada tanto do solo como dos recursos naturais envolvidos. Assim, garante-se que as regiões terão as condições mínimas necessárias para a sua sobrevivência. É uma forma de possibilitar um acesso democrático à terra e à qualidade de vida.

Para esse planejamento de desenvolvimento urbano são feitos levantamentos por meio de fotografias aéreas e técnicas de sensoriamento remoto (por satélites, *drones* e Veículos Aéreos Não Tripulados - vants). Geralmente, cada município tem leis de zoneamento próprio, para regular essa ocupação, explicitando quando uma atividade é permitida ou não em determinada localidade.

3.5 Influência na Urbanização na Drenagem

A bacia hidrográfica é definida como o conjunto de terras limitadas por divisores de águas contendo uma rede de drenagem que drena a água para um único ponto denominado exutório. O sistema de drenagem da bacia é composto de nascentes dos cursos de água, principais e secundários, denominados afluentes e subafluentes (TARGA, 2008).

O tempo de viagem da água da chuva que cai na região mais remota da bacia até o exutório é chamado de Tempo de concentração da bacia (T_c). O uso do solo pode alterar as características naturais, modificando as quantidades de água que infiltram, que escoam e que evaporam, alterando o tempo de viagem da água e o comportamento hidrológico de uma bacia. Algumas das mais agressivas formas de modificação do uso e ocupação de uma bacia hidrográfica consistem no desmatamento e na urbanização (TARGA, 2008).

De modo geral, a cobertura vegetal interfere nos mecanismos de transporte de água superficiais e subterrâneo, reduz a erosão e aumenta o potencial de infiltração, sendo fundamental para a recarga dos aquíferos (LIMA, 2008).

A urbanização é um processo de desenvolvimento econômico e social resultado da transformação de uma economia rural para uma economia de serviços concentrada em áreas urbanas (TUCCI, 2010).

A drenagem urbana é o conjunto de medidas que tem como objetivo minimizar os riscos que a população está sujeita, diminuir os prejuízos causados por alagamentos e possibilitar o desenvolvimento urbano de forma harmônica, articulada e sustentável (TUCCI; CRUZ, 2000).

O principal impacto que tem ocorrido na drenagem urbana é o aumento da frequência e magnitude das inundações e alagamentos. Dentre os principais impactos das inundações sobre a população estão: os prejuízos de perdas materiais e humanas, a interrupção da atividade econômica nas áreas inundadas, a contaminação por doenças de veiculação hídrica como leptospirose, cólera, entre outros e a contaminação da água pelos alagamentos de depósitos de materiais tóxicos, estações de tratamento, entre outros.

Os avanços da urbanização podem comprometer os fatores do ambiente, que se modificam profundamente em suas condições naturais. Dessa forma, à medida que se expandem as cidades o próprio homem vê suas possibilidades de existência ameaçadas pela forma desordenada pela qual traduz a sua ocupação. Observamos a saturação de canalizações e esgotos; a drenagem das áreas que poderiam representar bacias de captação; as encostas de morros e dos rios tomadas por habitações precárias, produzindo erosão e assoreamento.

O desenvolvimento urbano brasileiro tem produzido um aumento caótico na frequência dos alagamentos, na produção de sedimentos e na deterioração da qualidade da água. À medida que a cidade se urbaniza, ocorre o aumento das vazões máximas em até seis vezes devido à impermeabilização e canalização (LEOPOLD, 1968).

3.6 Chuvas Intensas

O estudo de verificação sobre as chuvas intensas baseia-se em um dos produtos mais aplicados da hidrologia. Seu uso está associado ao dimensionamento de obras hidráulicas para controle de cheias, abastecimento e condução de água para usos múltiplos, drenagem urbana e do solo e modelagem e controle da erosão do solo.

Chuvas intensas é associada a uma duração e a um tempo de retorno específico, passa a ser considerada como uma chuva de projeto, que uma vez aplicada a um modelo chuva-vazão, possibilita estimativa da vazão de projeto. Quando se necessita da chuva de projeto para localidades que não dispõem de séries históricas de precipitação, muitas vezes são utilizadas equações de locais próximos, o que pode comprometer a confiabilidade de estimativa (MELLO, 2003).

Observa que para ocorrer uma boa previsão de chuvas intensas, é necessário levar em conta a extensão da área inundada, o número de habitantes, a densidade da população e principalmente a topografia da região afetada. Destaca-se que com modelos de circulação geral (GCM) que tem limitação na resolução espacial, porém, obtêm-se melhores resultados na previsão de chuvas intensas do que com modelos de escalas menores (*Limited Area Model* – LAM), pois na sua composição leva mais em consideração a topografia da região e a atuação de sistemas de escalas maiores (BRATH, 1995).

3.7 Monitoramento de Chuvas (Estações Pluviométricas)

O desenvolvimento contínuo de cidades e suas áreas urbanas têm trazido consigo problemas consideráveis em relação às perdas de pontos de drenagem de águas de chuva e infraestruturas que consigam lidar com tal impacto natural. Alagamentos, enxurradas e deslizamentos de terra são fenômenos recorrentes em alguns locais urbanizados, e, dependendo do nível alcançado por eles, a gravidade da situação pode desenvolver uma área de risco a ser monitorada com mais frequência.

O monitoramento de chuvas no Brasil é feito, em partes, por instituições dos governos dos estados e pelo governo federal. A função dessas instituições consiste em gerar produtos e presta serviços em tecnologia e informações ambientais. Essas informações, normalmente, são customizadas a fim de atender as necessidades de cada segmento socioeconômico, seja privado ou público.

Responsável pela coordenação da Rede Hidrometeorológica Nacional (RHN), sistema este que abriga 4.641¹ pontos de monitoramento no país divididos em estações que monitoram parâmetros relacionados aos rios (1.874), como níveis, vazões, qualidade da água e transporte de sedimentos, e outros que monitoram principalmente as chuvas (2.767) (ANA, 2005).

¹ Os números se referem ao inventário de estações da ANA em 03/04/2018, podendo se alterar com certa frequência, em função da incorporação de novas estações ou de sua extinção.

3.8 Geoprocessamento

Com o avanço da tecnologia de informática, tornou-se possível armazenar e representar tais informações em ambiente computacional, abrindo espaço para o aparecimento do Geoprocessamento.

Geoprocessamento auxilia na gestão dos ambientes naturais, especialmente devido à ocupação antrópica que interfere e altera estes ambientes, causando, muitas vezes desastres de magnitude e prejuízos para a sociedade e ao ambiente, formado por soluções em *hardware* e *software*, o geoprocessamento é uma ferramenta para tomada de decisão, pois é composto pelo sistema de informação geográfica, cartografia digital, sensoriamento remoto, sistema de posicionamento global e topografia, com isso possibilita análise de informação com referência geográfica. (ROSA, 2005).

Assim como a tecnologia, o geoprocessamento aplica o tratamento e manipulação de informações espaciais, englobando técnicas de coleta e informação espacial; armazenamento da informação espacial; tratamento e análise da informação espacial e uso integrado de informação espacial (SIG). Utilizando a tecnologia de informação como ferramenta de análise espacial, tornou-se uma ferramenta em potencial através do geoprocessamento e dos Sistemas de Informações Geográficas (SIG). (FUJIHARA,2002).

O geoprocessamento focaliza, primordialmente, o levantamento e a análise de situações ambientais representadas por conjuntos de variáveis georreferenciadas e integradas em uma base de dados digitais. Necessita, por definição, contar com uma base cartográfica confiável sobre a qual coligirá seus dados, analisando relações de dependência e precedência.

Utilizar o geoprocessamento é uma forma de sistematização, análise e representação de dados de utilização crescente em todo o mundo. Por meio do cruzamento e da superposição de dados espaciais, de diferentes origens e formatos, previamente selecionados, essa ciência permite agilizar os procedimentos de mapeamentos temáticos, antes onerosos e demorados.

Um processamento muito utilizado no geoprocessamento é a análise multicritério. (ALMEIDA E COSTA, 2003) e (SILVA, 2009), compreenderam que análise consiste no conjunto de técnicas e métodos que colaboram na tomada de decisão, onde através de diversos critérios é possível o estabelecimento de uma relação entre as variáveis estudadas. A análise multicritério consiste no cruzamento de variáveis espaciais, conhecida também como *Árvore de Decisões* ou *Análise Hierárquica de Pesos*, o procedimento é baseado no mapeamento de variáveis e na definição do grau de aderência das mesmas, onde o objetivo é a construção de

um resultado baseado em todas as variáveis envolvidas, a média ponderada é empregada no método, mas há pesquisadores que utilizam lógica *Fuzzy* na atribuição de pesos e notas (MOURA, 2007).

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Área de Estudo

O estado de Minas Gerais é uma das 27 unidades da República Federativa do Brasil, sendo o quarto estado com maior área territorial, o segundo em quantidade de habitantes e o segundo mais populoso do país. Localizado na região sudeste do Brasil, com uma área total de 586 522, 122 km^2 , densidade populacional de 36,01 km^2 , possui 853 municípios e uma população estimada de 21.040.662 pessoas (IBGE, 2019).

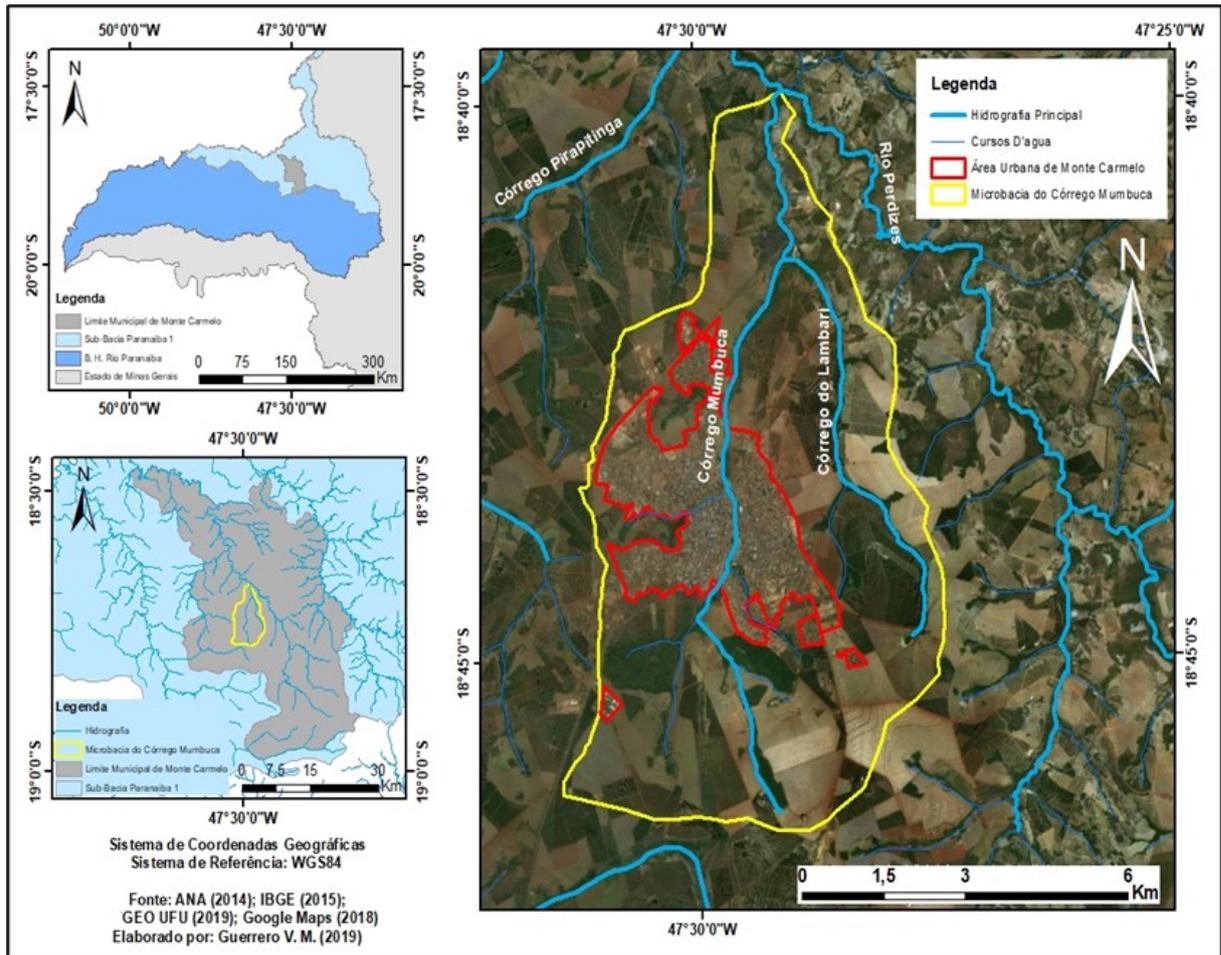
Minas Gerais limita-se ao sul com São Paulo, a oeste com Mato Grosso do Sul, a noroeste com Goiás, a norte e nordeste com a Bahia, a Leste com o Espírito Santos e a sudeste com o Rio de Janeiro.

Monte Carmelo localiza-se no noroeste do Estado de Minas Gerais, fazendo fronteira com os municípios de Uberaba, Uberlândia, Araguari e Patrocínio. A cidade possui clima predominantemente tropical com solos predominantemente do tipo latossolo e está inserido dentro do Bioma Cerrado.

Com uma população estimada, em 2020, de 47.931 habitantes, área de 1357,9 km^2 , densidade populacional estimada em 2016, em 34,08 hab/km^2 , IDH de 0,768 considerado como alto pelo Atlas Brasil de Desenvolvimento, possui Latitude 18°43'29" S, Longitude 47°29'55" W e Altitude de 870m (IBGE, 2019).

O município de Monte Carmelo é traçado pelo córrego Mumbuca, sendo ao todo 10 quilômetros de cursos d'água e passa pelos bairros Montreal, Vila Nova, Centro, Vila Dourada, Dona Quita, Campestre, Sidônio Cardoso, Santa Rita e Jardim Américo (DMAE, 2013). Ao Longo do córrego Mumbuca, encontram-se diversos poluidores que influenciam diretamente na qualidade deste curso d'água. Estes são provenientes dos resíduos domésticos, e das empresas de comércios e serviços, além disso recebe grande parte dos rejeitos oriundos do esgoto municipal. É um dos cursos d'água que mais sofre com o descaso propiciado pela carência de planejamento urbano tanto no saneamento básico quanto na conservação do meio ambiente, visto que praticamente toda a área urbana do município está inserida em sua bacia hidrográfica, como podemos observar no Mapa 1.

MAPA 1- Localização e caracterização da área de estudo.



Fonte: A autora.

4.2 Material

Para a realização desta pesquisa a escolha dos materiais e *softwares* constituiu por programas aptos e eficientes para o desenvolvimento do mesmo, bem como os que estão disponíveis nos laboratórios do curso de engenharia de Agrimensura e Cartográfica da Universidade Federal de Uberlândia - Campus Monte Carmelo. Desta forma, foram utilizados os seguintes *softwares*:

- Hidrografia extraída manualmente pela autora.
- Arquivos vetoriais *shapefile* (hidrografia, limites municipais, estaduais, federais, geologia e pedologia) disponibilizados Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM);

- Dados pluviométricos obtidos pela Agência Nacional de Água (ANA);
- Imagens *raster* (MDE - *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM) com resolução de 30 metros, obtidos a partir do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), Imagens do OLI/*Landsat 8*), obtidos a partir do Serviço Geológico Americano (USGS);
- **Software ArcGIS: Desktop 10** licenciado para UFU, no laboratório de SIG e geoprocessamento (SIGEO);

4.3 Métodos

O comportamento hidrológico de uma bacia hidrográfica é função de suas características morfológicas, ou seja, área, forma, topografia, geologia, solo, cobertura vegetal entre outros. A fim de entender as inter-relações existentes entre esses fatores de forma e os processos hidrológicos de uma bacia hidrográfica, torna-se necessário expressar as características da bacia em termos quantitativos (PAIVA, 2001).

A metodologia utilizada neste trabalho é resultado de adaptações das propostas metodológicas de SAATY, (1977), CREPANI et al (2001) e SANTOS, LOUZADA e EUGÊNIO, (2010). Estes autores aplicaram seus estudos em bacias maiores, com áreas acima de 50km², e com dados mais precisos da área de estudo.

A bacia hidrográfica do Córrego Mumbuca, apresenta uma área de 35km², e por ser considerada uma bacia pequena, adaptações das metodologias existentes tornam-se necessárias para ser possível identificar e compreender as áreas de menor à maior risco a inundações. Foram determinados os principais dados cartográficos e estes organizados em mapas temáticos como declividade, hipsometria, precipitação, pedologia, geologia, geomorfologia e uso e ocupação da terra da bacia hidrográfica do Córrego Mumbuca.

O mapa de declividade é de fundamental importância para a identificação das áreas de maior ou menor susceptibilidade à inundação, tendo às áreas mais planas maior probabilidade de risco à inundação, se comparada as áreas de maior declividade. Como podemos observar na Tabela 1.

Este mapa foi gerado a partir dos dados de imagem *raster* advinhas da missão (*SRTM- Shuttle Radar Topography Mission*) com aquisição pela plataforma *TOPODATA* do (INPE- Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) com resolução de 30 metros. O dado *raster* foi incorporado ao *ArcGis*, e utilizou-se a ferramenta *slope* para gerar os valores de declividade em porcentagem. As classes determinadas foram adaptadas da proposta da

(EMBRAPA, 1976) e (SANTOS, LOUZADA & EUGÊNIO, 2010), com objetivo de identificar as áreas mais planas.

Tabela 1- Dados Declividade.

Nível	Coefficiente	Classes (%)
Baixo	1	>20%
Médio	2	8-20%
Alto	3	0-8%

Fonte: Adaptado de (EMBRAPA,1976), (SANTOS, LOUZADA & EUGÊNIO,2010).

Devido a inexistência de dados altimétricos/declividade de maior resolução, tornou-se necessário agrupar as classes de declividade para compreender melhor a dinâmica do sistema hídrico.

Os dados hipsométricos foram obtidos através da imagem *raster SRTM TOPODATA/INPE*, de resolução de 30 metros. Diante da característica de baixa variação altimétrica observada na área de estudo, foi proposta a subdivisão de 3 classes altimétricas, tendo como principal objetivo identificar as áreas mais baixas, bem como exposto na Tabela 2 a seguir:

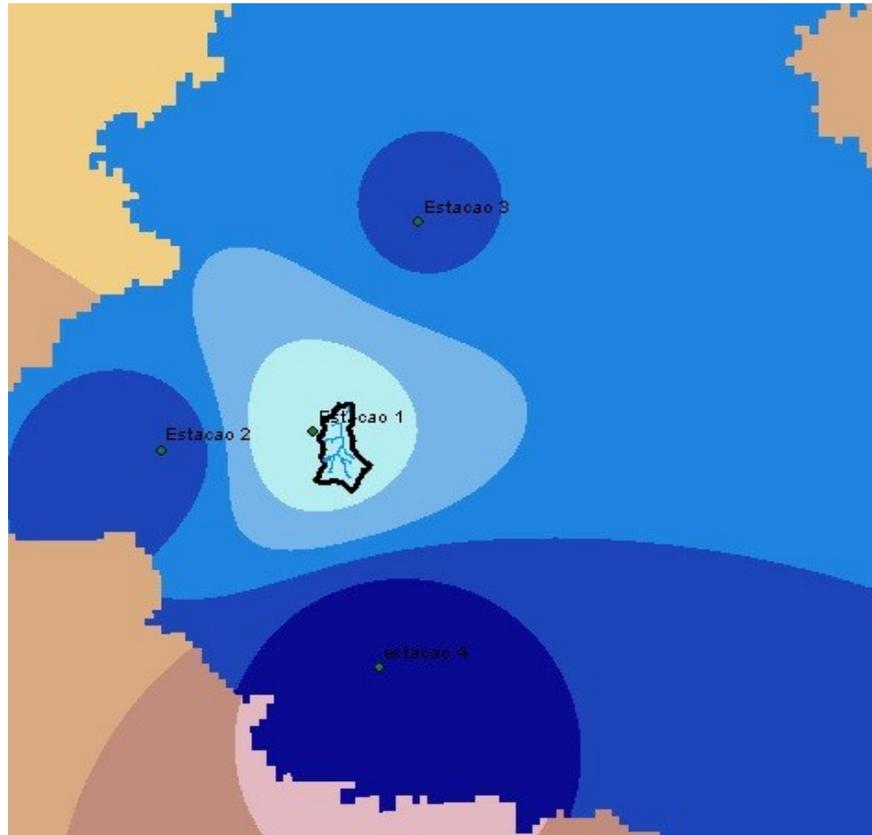
Tabela 2- Dados Hipsometrico.

Nível	Coefficiente	Classes (m)
Baixo	1	951-1029
Médio	2	890 - 950
Alto	3	833 - 890

Fonte: (ADAPTADO DE SANTOS, LOUZADA & EUGÊNIO, 2010).

Para elaboração do mapa pluviométrico foram coletadas informações de 4 estações da (ANA- Agência Nacional de Águas), como pode ser visto na (Figura 3) e distribuídas ao longo da região. Os dados foram tabelados e realizou-se o somatório mensal afim de identificar a precipitação anual, conforme Tabela 3 abaixo.

Figura 3- Estações da ANA.



Fonte: A autora.

Tabela 3- Estações da ANA.

Ano	Prefixo	Média(mm)
ANO 2019	Estação 1	1121,2
	Estação 2	2023,7
	Estação 3	1939,8
	Estação 4	2380,3

Fonte: ANA – Agência Nacional de Águas (2019).

Em seguida, estes dados foram incorporados ao (SIG - Sistema de Informações Geográficas) e realizou-se a interpolação *geoespacial* pelo método inverso da distância ponderada, a fim de compreender o comportamento pluviométrico ao longo de toda a bacia hidrográfica do Córrego Mumbuca. A partir da interpolação dos dados pluviométricos, foi possível identificar 3 coeficientes pluviométricos de menor à maior grau de contribuição ao risco de inundação, como podemos observar na tabela 4.

Tabela 4- Dados Pluviométricos.

Nível	Coefficiente	Classes (mm)
Baixo	1	1171 - 1226
Médio	2	1227 - 1340
Alto	3	1341 - 2293

Fonte: ANA – Agência Nacional de Águas (2019).

Os coeficientes pedológicos foram definidos de acordo com a EMBRAPA, a qual define os Latossolos vermelho-amarelo e Latossolo roxo como profundos e porosos ou muito porosos, portanto, baixo risco a inundação. Enquanto os Argissolos apresentam-se como solos com uma menor infiltração, se comparado ao latossolo, conforme a tabela 5.

Tabela 5- Dados Pedológicos.

Nível	Coefficiente	Classes
Baixo	1	Latossolo Vermelho-Amarelo e Roxo
Médio	2	Argissolos

Fonte: EMBRAPA (1976).

Os mapas geológico e pedológico foram elaborados a partir dos dados vetoriais disponibilizados pela (CPRM, 2014), na escala 1:100.000 e feito o recorte para a área a bacia do Mumbuca, conforme a tabela 6 abaixo.

Tabela 6- Dados Geológicos.

Nível	Coefficiente	Classes
Baixo	1	Depósitos detríticos, indiferenciados
Médio	2	Complexos MC

Fonte: A autora.

Os valores dos coeficientes atribuídos para estas classes foram determinados a partir das características litológicas e sua localização. Os depósitos detríticos indiferenciados são de origem sedimentar e caracterizados pela boa infiltração, enquanto a classe Complexo Monte Carmelo são rochas metamórficas caracterizada pela baixa infiltração, e, portanto, maior contribuição para as inundações.

Os dados geomorfológicos da bacia do Córrego Mumbuca, foram obtidos na escala original de 1:100.000, produzido pela CPRM (2014). No entanto, a escala original do mapeamento não atende de forma eficiente a realidade de uma bacia pequena, a qual a princípio identificava na área de estudo como apenas a classe de colinas amplas e suaves.

Devido a isto, tornou-se necessária a realização de adaptações neste mapeamento, com o objetivo de atender melhor a realidade da área de estudo para análise das áreas de risco a inundação mais eficiente. Como podemos observar na tabela 7.

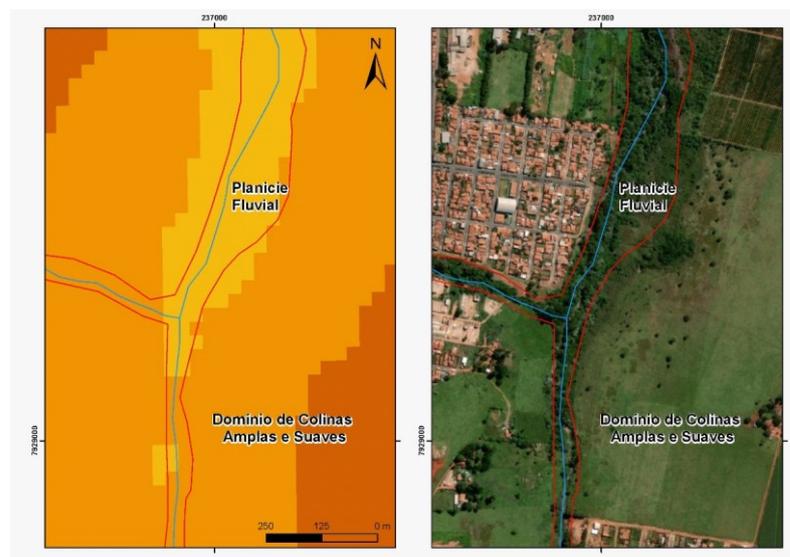
Tabela 7- Dados Geomorfologicos.

Nível	Coefficiente	Classes
Baixo	1	Domínio de Colinas Amplas e Suaves
Alto	3	Planície Fluvial

Fonte: A autora.

Desta forma, foi utilizada a metodologia proposta por Spanghero *et al.* (2018), a qual faz uso de dados hipsométricos, declividade e imagens de satélite para identificar novas classes de mapeamento. Com o objetivo de auxiliar na identificação de áreas de maior potencial a inundação, foi realizado o mapeamento das planícies fluviais do Córrego Mumbuca, como pode-se identificar na Figura 4 a seguir.

Figura 4 – Planície Fluvial



Fonte: A autora.

O mapeamento de uso e ocupação da terra do ano de 2019 na escala de 1:50.000 é resultante da interpretação visual das imagens *Landsat 8*, adquiridas gratuitamente no site do USGS (*United States Geological Survey*), com resolução espacial de 15 metros. Foi realizado o processo de composição das bandas RGB mais a banda pancromática e em seguida foi realizada a classificação de forma manual no *ArcGis*, levando em conta a textura, tonalidade e contexto. As classes definidas foram as seguintes: área urbana, agricultura, cobertura vegetal, corpo d'água e pastagem. Como podemos observar nas tabelas 8 a seguir.

Tabela 8- Dados Uso e Ocupação da Terra.

Nível	Coefficiente	Classes
Baixo	1	Cobertura Vegetal
Médio	2	Agricultura Pastagem, Área
Alto	3	Urbana, Corpo d'água

Fonte: Adaptado de SANTOS, LOUZADA & EUGÊNIO (2010).

Após a classificação e definição dos valores para cada variável trabalhada, foi utilizado a ferramenta *Raster Calculator* do software *ArcGIS* para a construção do mapa de risco à inundação da bacia hidrográfica do Córrego Mumbuca. Foram realizadas adaptações da metodologia proposta por (SANTOS, LOUZADA & EUGENIO 2010), (TUCCI, 2014), (OLIVEIRA, 2017) e (ARAUJO, 2017), onde é atribuído peso a cada classe, de modo que para cada variável estudada exista em valor de contribuição para definir as áreas de maior ou menor risco à inundação. Desta forma, o risco à inundação foi calculado pela equação a seguir:

$$\text{RISCO} = (\text{uso e ocupação do solo} \times 0,25) + (\text{geomorfologia} \times 0,26) + (\text{solo} \times 0,07) + (\text{geologia} \times 0,07) + (\text{hipsometria} \times 0,14) + (\text{precipitação} \times 0,07) + (\text{declividade} \times 0,14)$$

Os valores atribuídos ao mapeamento de uso e ocupação do solo e geomorfologia apresentam-se com maiores contribuições à inundação pelo fato de que estes dois mapas são resultantes da classificação manual realizada pelo autor na escala 1:50.000, enquanto os outros dados apresentam-se na escala acima de 1:100.000.

5 RESULTADOS

Para começar a discutir sobre os resultados apresentados a seguir, primeiramente foi estudada a morfometria da bacia hidrográfica do Córrego Mumbuca, onde foi mensurado alguns parâmetros sendo eles, a área e perímetro da bacia hidrográfica, comprimento do curso d'água principal, assim como os somatórios da extensão dos cursos d'água e extensão da linha de fundo. Abaixo na tabela 9 estão apresentados os valores.

Tabela 9- Parâmetros utilizados na análise morfométrica.

Parâmetro	Unidade	Valor
Área da bacia	Km ²	35,47
Perímetro da bacia	Km	30,32
Comprimento total dos cursos d'água	Km	25,03
Comprimento Principal	Km	9,26
Comprimento da linha de fundo	Km	10,47
Declividade Equivalente	m/Km	21,22

Fonte: A autora.

Após adquirir esses dados, foi calculado e feita uma possível análise da morfometria da bacia hidrográfica do Córrego Mumbuca e obtendo os resultados desses parâmetros sendo eles: Coeficiente de Compacidade (KC), Fator da Forma (KF), Densidade de Drenagem (Dd) e o Tempo de Concentração (TC), como pode ser observado na tabela 10 abaixo.

Tabela 10- Resultados da análise morfométrica.

Parâmetros	Unidade	Valor
Coeficiente de Compacidade (KC)	-	1,42
Fator da Forma (KF)	-	0,32
Densidade de Drenagem (Dd)	Km/Km ²	0,71
Tempo de Concentração (TC)	min	97,08

Fonte: A autora.

O coeficiente de compacidade calculado para a bacia hidrográfica do Córrego Mumbuca foi de 1,42. Este coeficiente relaciona o perímetro da bacia com o perímetro de um círculo com a mesma área da bacia. Dessa forma, um coeficiente igual à unidade corresponderia a uma bacia circular e menor seria o tempo de concentração, o que indica que a tendência à enchente de uma bacia será tanto maior quanto mais próximo da unidade for este coeficiente, portanto a bacia hidrográfica do córrego Mumbuca por ser mais alongada tem tendência mediana a grandes enchentes.

Com relação ao fator da forma, a bacia do Córrego Mumbuca apresentou KF de $0,32\text{km}^2$. Em uma bacia estreita e longa, com fator da forma baixo, significa que há menos possibilidade de enchentes cobrindo simultaneamente toda a extensão da bacia. Quanto menos o KF, mais comprida é a bacia e, portanto, menos sujeita a picos de enchentes, pois o tempo de concentração é maior, além disso, fica difícil uma mesma chuva intensa abranger toda a bacia. O fator da forma da bacia hidrográfica do córrego Mumbuca indica a não propensão da bacia à inundação, quando seu coeficiente mais se aproxima de zero.

Já o índice de densidade de drenagem para a bacia hidrográfica do córrego Mumbuca foi de $0,71\text{ km}/\text{km}^2$, o que demonstra um sistema de drenagem regular. De maneira geral, o índice de drenagem é classificado da seguinte forma:

Drenagem pobre $\rightarrow Dd < 0,5\text{ km}/\text{km}^2$

Drenagem regular $\rightarrow 0,5 \leq Dd < 1,5\text{ km}/\text{km}^2$

Drenagem boa $\rightarrow 1,5 \leq Dd < 2,5\text{ km}/\text{km}^2$

Drenagem muito boa $\rightarrow 2,5 \leq Dd < 3,5\text{ km}/\text{km}^2$

Bacias excepcionalmente bem drenadas $\rightarrow Dd \geq 3,5\text{ km}/\text{km}^2$

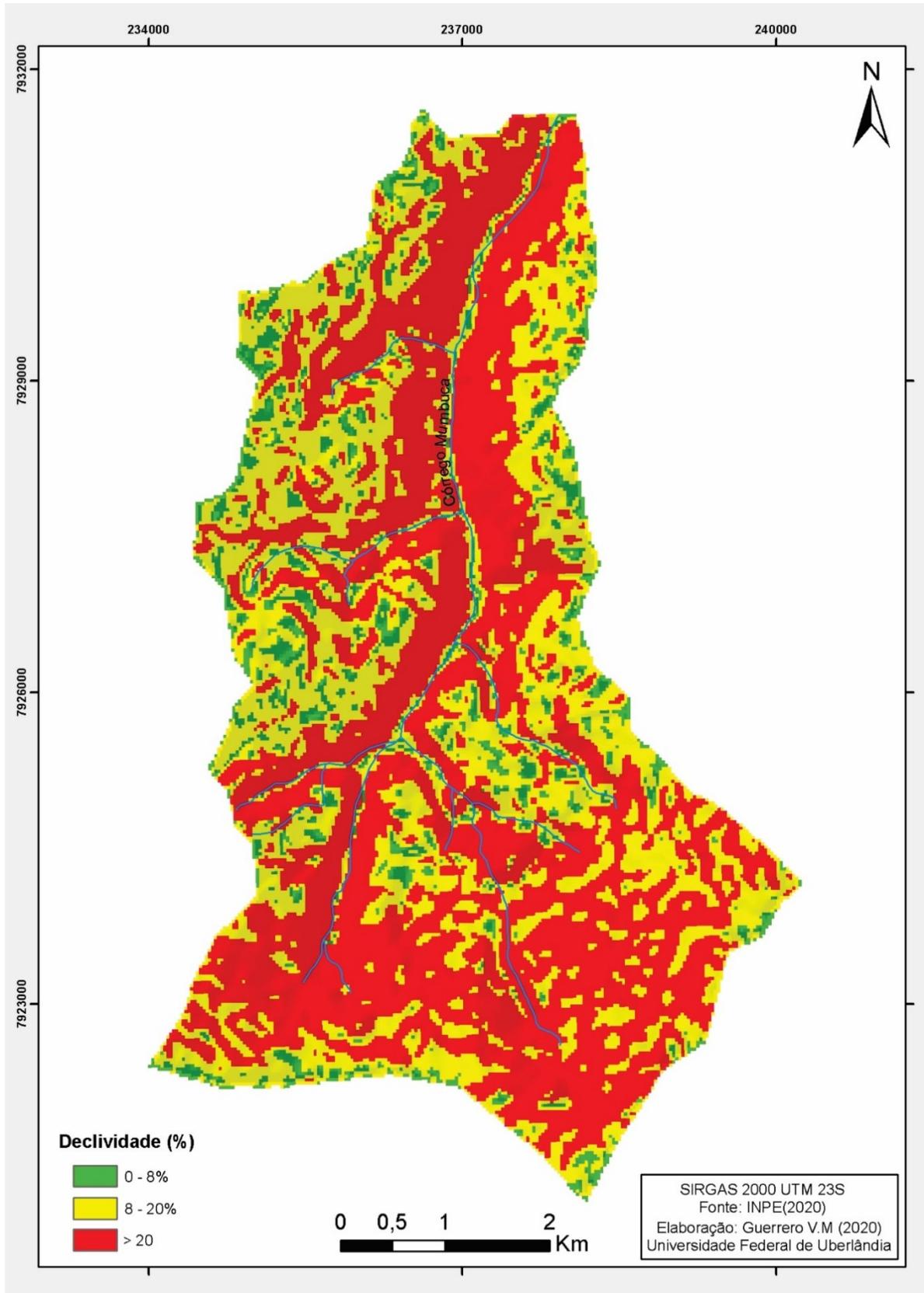
Este índice de densidade de drenagem atrelado ao clima da região, explica a necessidade da construção de açudes e barragens para que a água permaneça disponível por mais tempo no local (Villela & Mattos, 1975).

O tempo de concentração TC é o tempo que leva para toda a bacia considerada contribuir para o escoamento superficial na seção, ou seja, é o tempo para que a gota de água que cai no ponto mais distante chegue até a seção que define o limite da bacia, foi de 97,08 min da bacia hidrográfica do Córrego Mumbuca.

Após a realização da análise da morfometria da bacia hidrográfica do Córrego Mumbuca, feito os mapas relacionados a cada variável, sendo eles mapas de declividade, hipsometria, precipitação, pedologia, geologia, geomorfologia e uso e ocupação da terra. Como podemos observar nos Mapas de 2 a 8 a seguir.

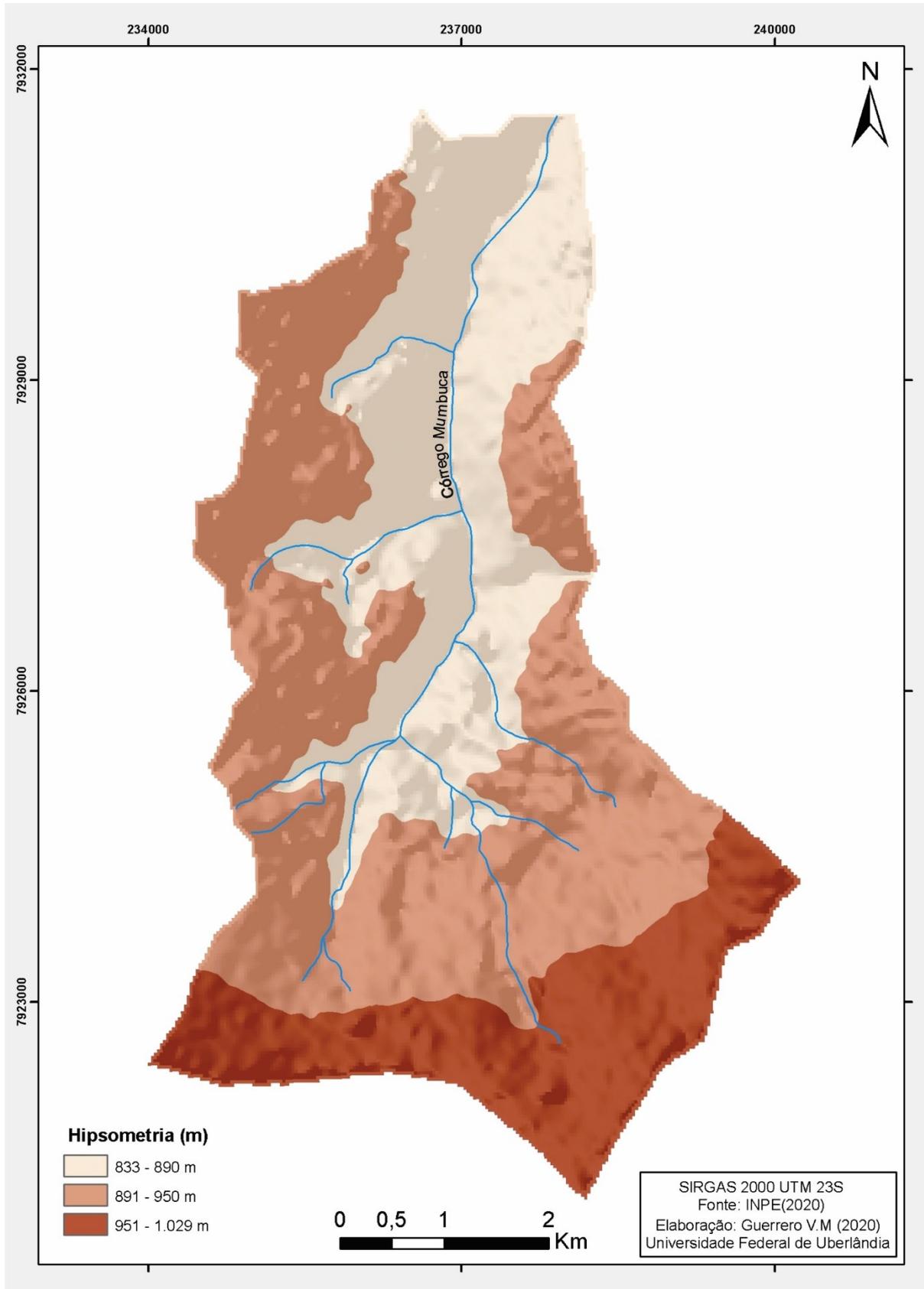
O mapa de declividade geralmente é utilizado para derivação de curvas de nível, ou seja, uma visão tridimensional do terreno representado. Portanto, é o grau de inclinação das vertentes a um eixo horizontal, e é um fator fundamental na identificação das áreas mais suscetíveis a inundação. As maiores declividades ocorrem principalmente próximo ao curso fluvial do Córrego Mumbuca, como podemos ver no MAPA 2. A hipsometria do Córrego Mumbuca varia de 833 a 1029 metros de altitude como podemos observar no MAPA 3. No geral, as maiores altitudes encontram-se na porção sul e as menores na porção norte. Já o mapa de precipitação varia de 1171 a 2293 milímetros por ano, MAPA 4. A pedologia tem uma grande responsabilidade na drenagem e infiltração da água. O solo do Córrego Mumbuca são os latossolos roxo, vermelho-escuro e o espodossolo vermelho-amarelo, sendo o mais predominante o latossolo roxo, como podemos observar no MAPA 5. Monte Carmelo possui um complexo de unidade geológica que é chamada (Complexo Monte Carmelo) que são granitos a duas micas, mas o que mais predomina no Córrego Mumbuca são os depósitos detríticos indiferenciados MAPA 6. O MAPA 7 é referente a geomorfologia do terreno, onde são classificados em duas classes o domínio de colinas amplas e suaves e as planícies fluviais. E por fim, o mapa de uso e ocupação da terra MAPA8 onde a área se concentram com maior mancha de urbanização, assim como a presença de área com vegetação rasteira e densa.

MAPA 2- Declividade do Terreno.



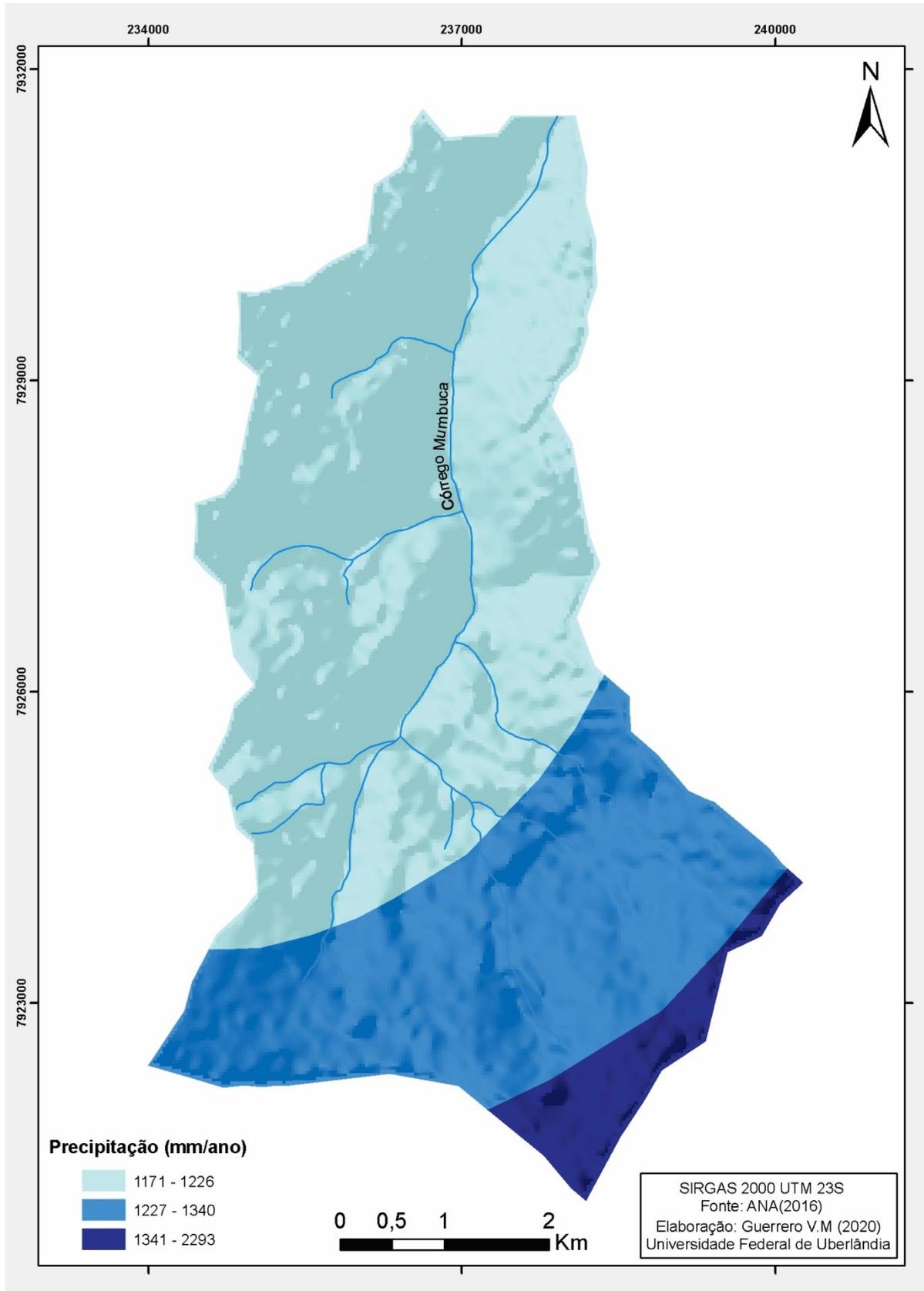
Fonte: A autora.

MAPA 3 – Hipsometria do terreno.



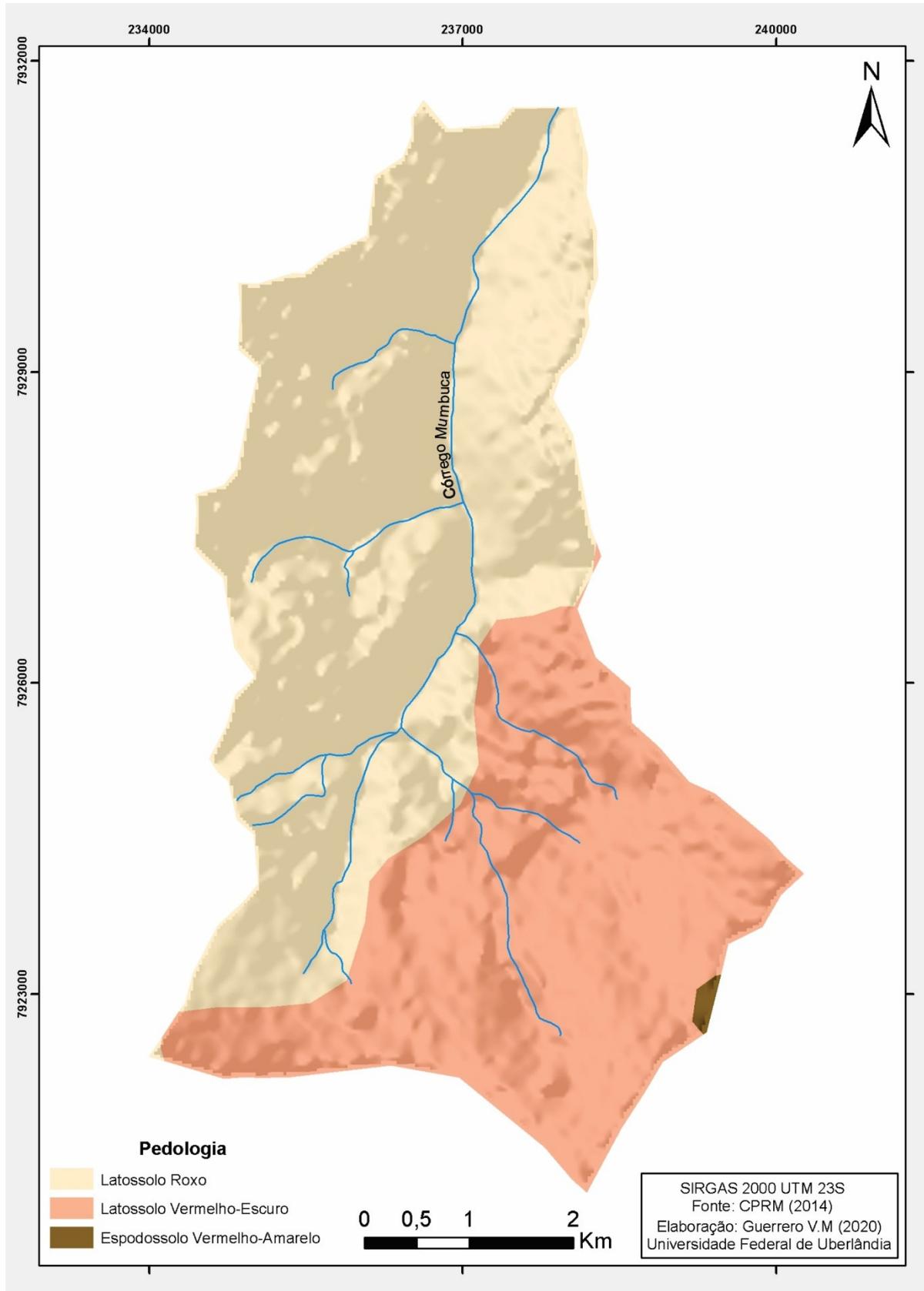
Fonte: A autora.

MAPA 4 – Precipitação do terreno.



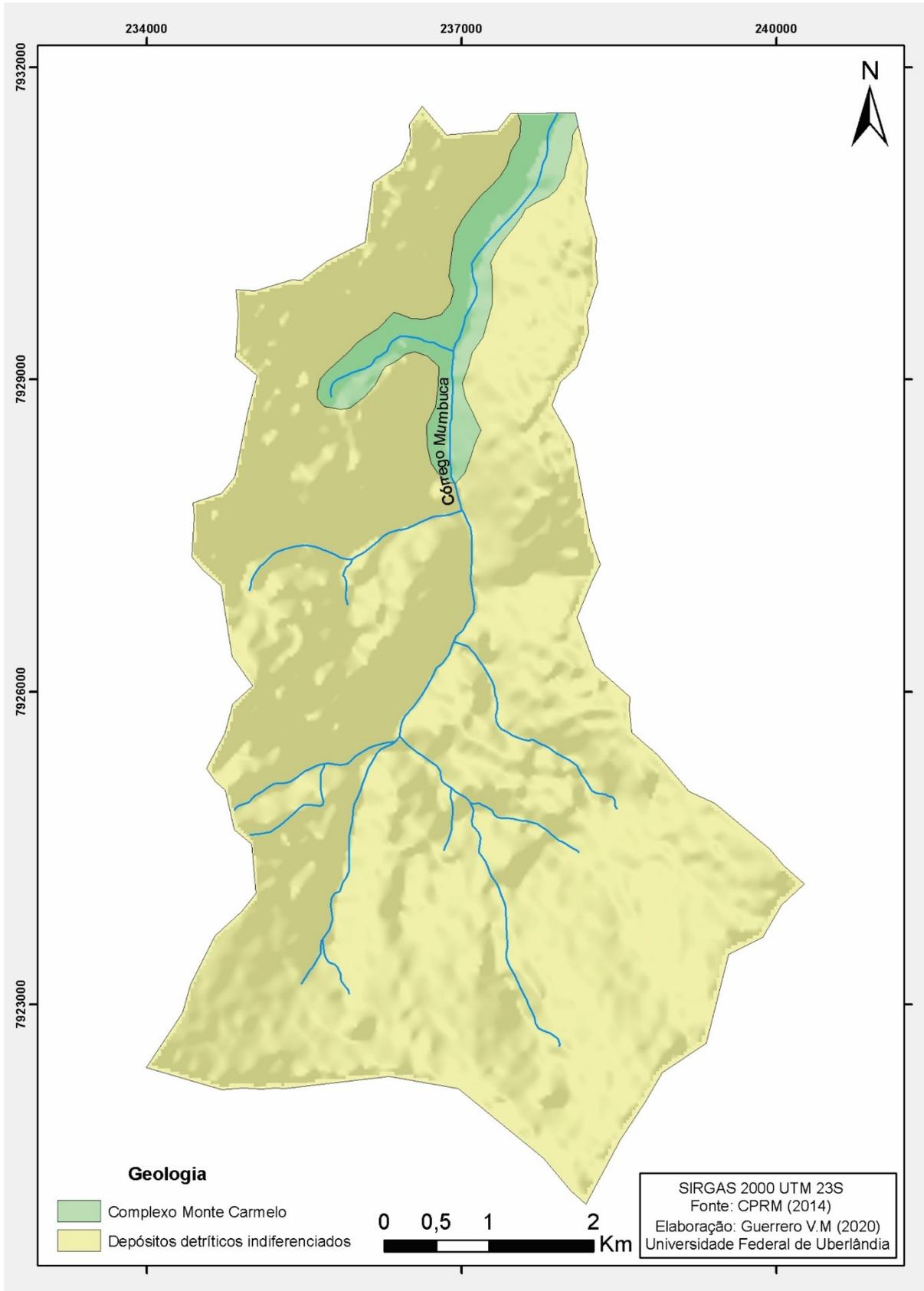
Fonte: A autora.

MAPA 5 – Pedologia do terreno.



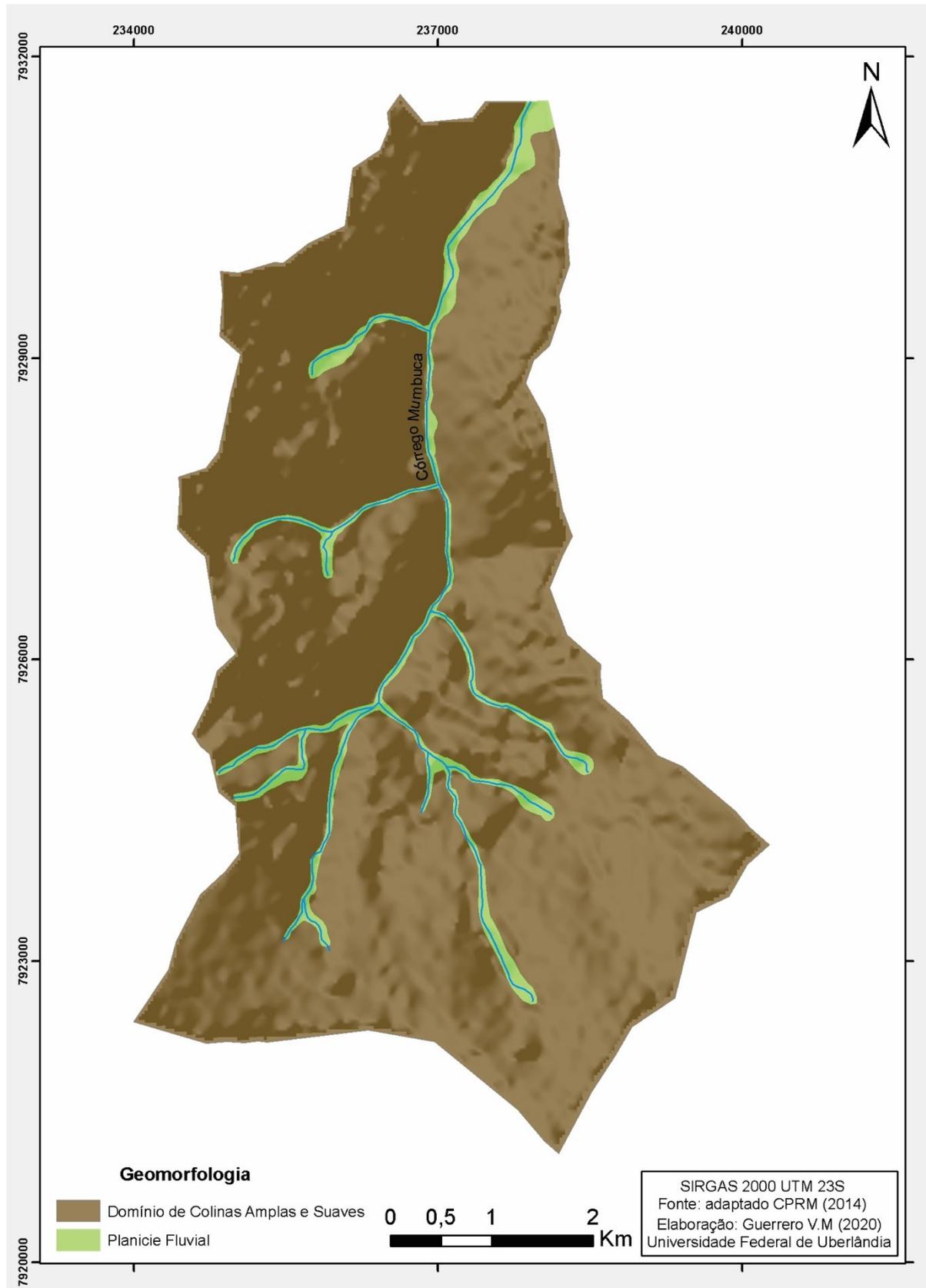
Fonte: A autora.

MAPA 6 – Geologia do terreno.



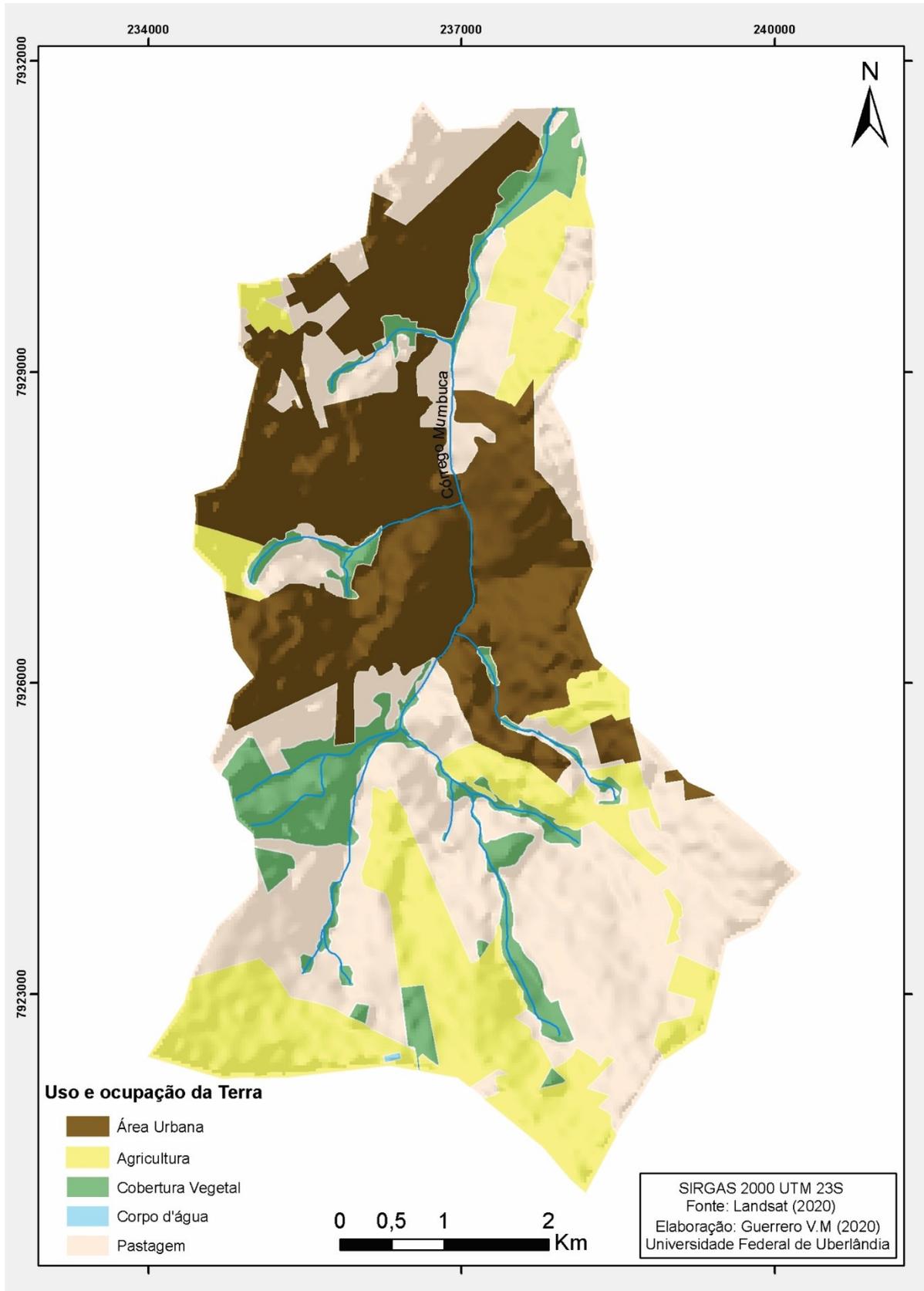
Fonte: A autora.

MAPA 7 – Geomorfologia do terreno.



Fonte: A autora.

MAPA 8 - Uso e Ocupação da Terra do terreno.



Fonte: A autora.

Gerados os mapas temáticos, e produzido mapa de risco a inundação, após a reclassificação.

A declividade do terreno ao risco de inundação do Córrego Mumbuca do município de Monte Carmelo-MG está apresentada no Mapa 9. Desse modo, áreas com menor declividade representam elevado risco à inundação e, áreas com maior declividade, menor risco. Desse modo, a variável foi classificada como baixa, médio e alta risco à inundação.

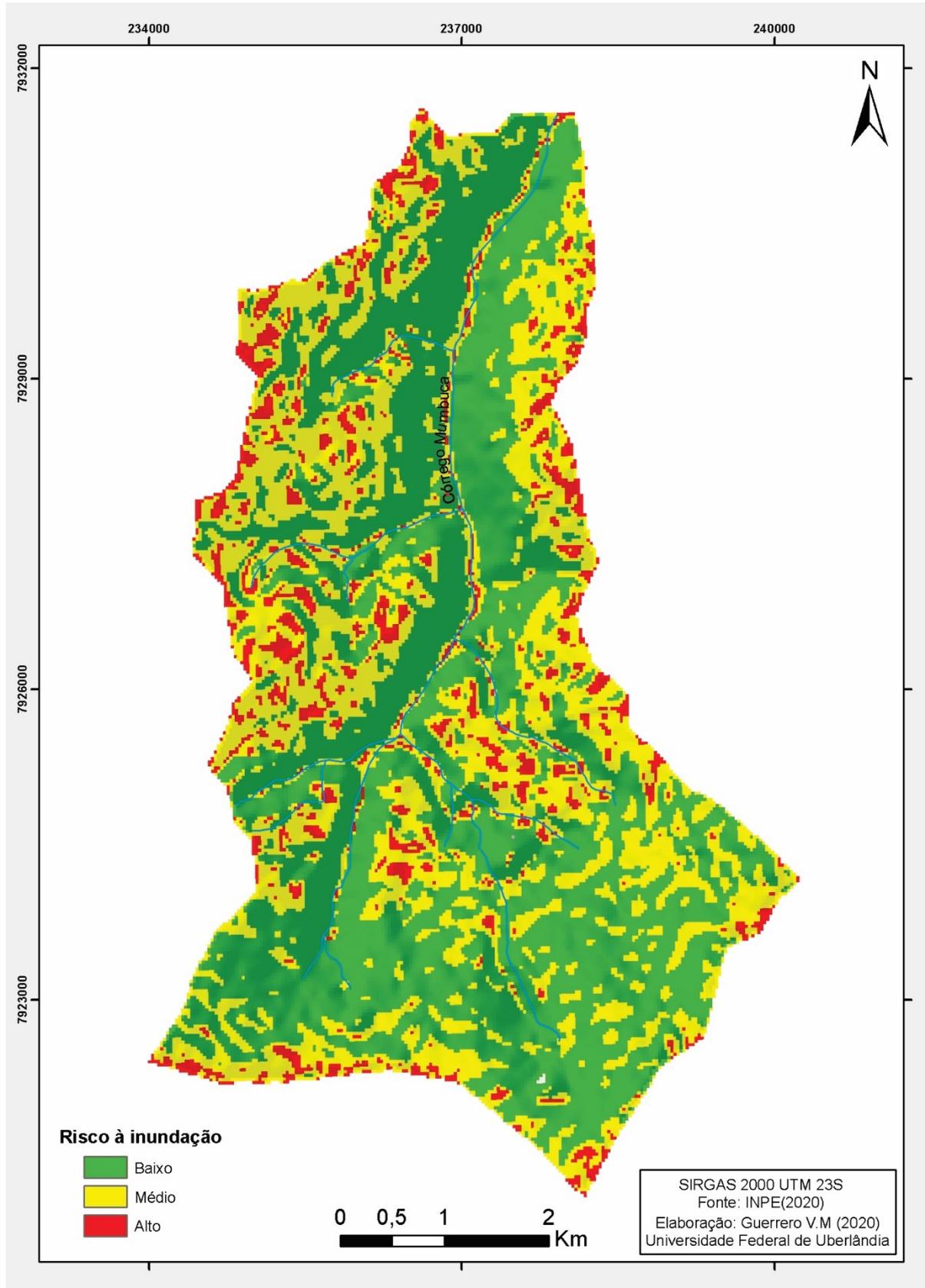
O córrego possui área total em relação a declividade de 35,41km² e sendo uma área com baixo nível à inundação de 2,99km² (8,46%), considerando médio risco à inundação com 13,05km² (36,87%) e classificado com alto risco à inundação uma área de 19,35km² (54,66%), como podemos observar na tabela 11 abaixo.

Tabela 11- Dados de Risco à Inundação para Declividade

Nível	Área (KM²)	Porcentual (%)
Baixo	2,99	8,46
Médio	13,05	36,87
Alto	19,35	54,66
Total	35,41	100

Fonte: A autora.

MAPA 9 – Risco a inundação para declividade.



Fonte: A autora.

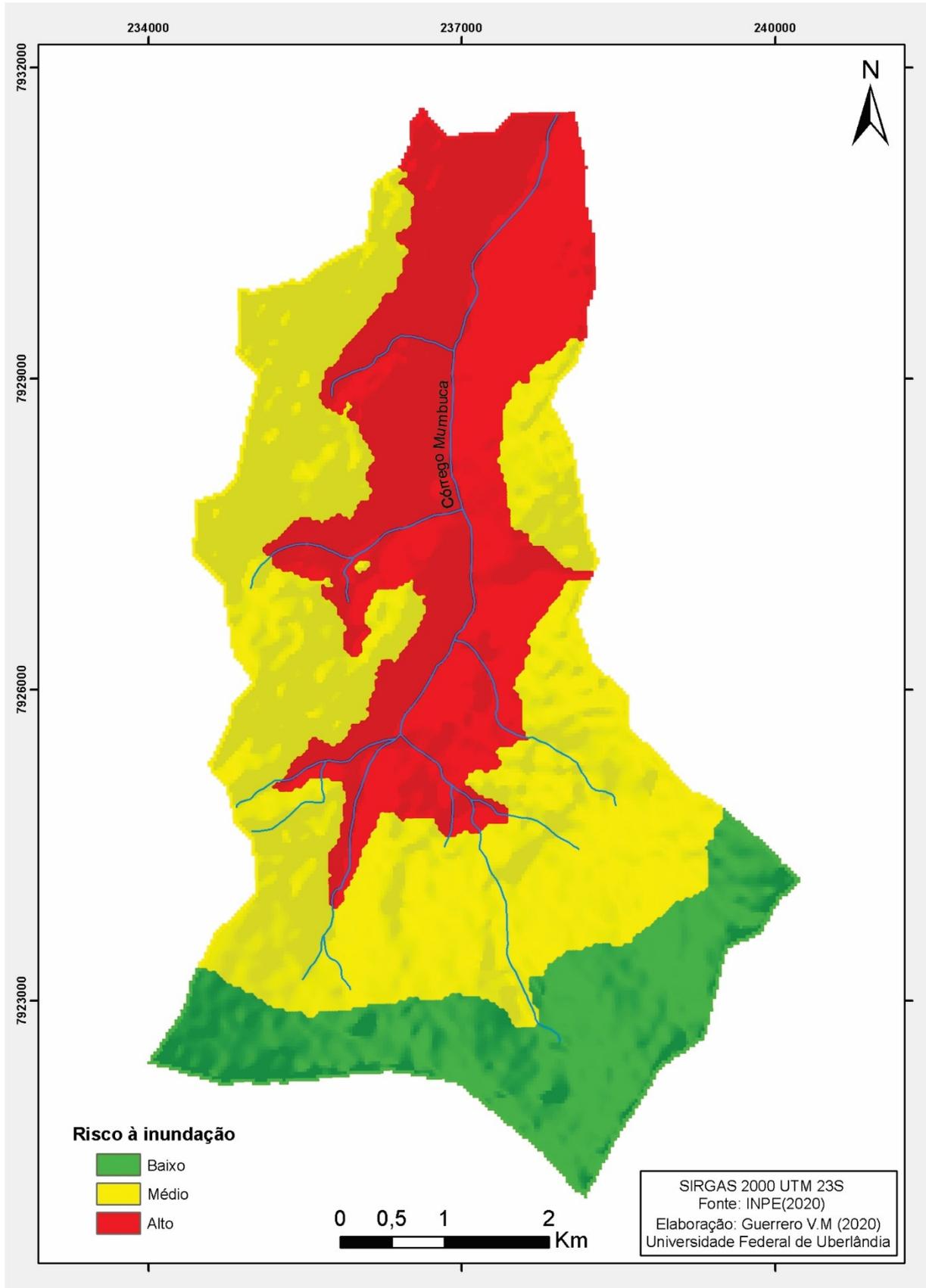
A hipsometria (altitude) ao risco à inundação da bacia hidrográfica do córrego Mumbuca está evidenciada no Mapa 10, onde possui uma área total 35,41 km² e sendo uma área de 6,71km² (18,96%) sendo baixo risco   inundação, por apresentar altitudes mais elevadas. Cerca de 16,76 km² (47,43%) classificado como médio risco   inundação, e com área de 11,93km² (33,69%) correspondendo com alto risco   inundação, como mostra na tabela 12.

Tabela 12- Dados do Risco   Inundação para Hipsometria.

Nível	�rea (KM²)	Porcentual (%)
Baixo	6,71	18,96
Médio	16,76	47,34
Alto	11,93	33,69
Total	35,41	100

Fonte: A autora.

MAPA 10 – Risco a Inundação para a hipsometria.



Fonte: A autora.

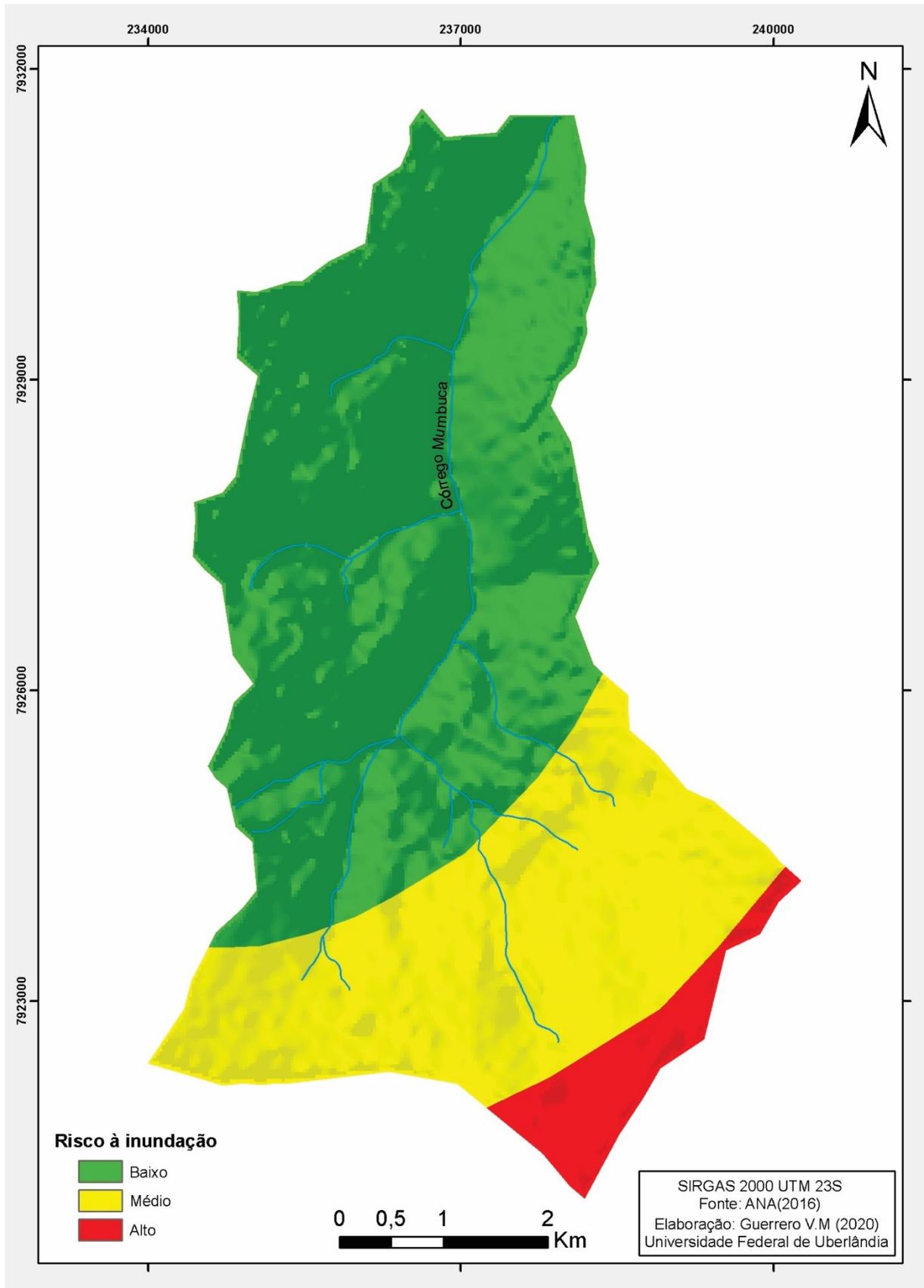
Já a precipitação em relação ao risco a inundação, para o ano de 2019, é mostrada no Mapa 11. Onde a área total é de 35,46km², sendo uma área de 22,29km² (62,86%) com baixo risco à inundação e 11, 31km² (31,91%) representando médio risco e com elevado risco à inundação correspondendo uma área de 1,85km² (5,22%), como pode-se observar na tabela 13 abaixo.

Tabela 13- Dados Risco à Inundação para Precipitação.

Nível	Área (KM²)	Porcentual (%)
Baixo	22,29	62,86
Médio	11,31	31,91
Alto	1,85	5,22
Total	35,46	100

Fonte: A autora.

MAPA 11 - Risco a Inundação para a Precipitação.



Fonte: A autora.

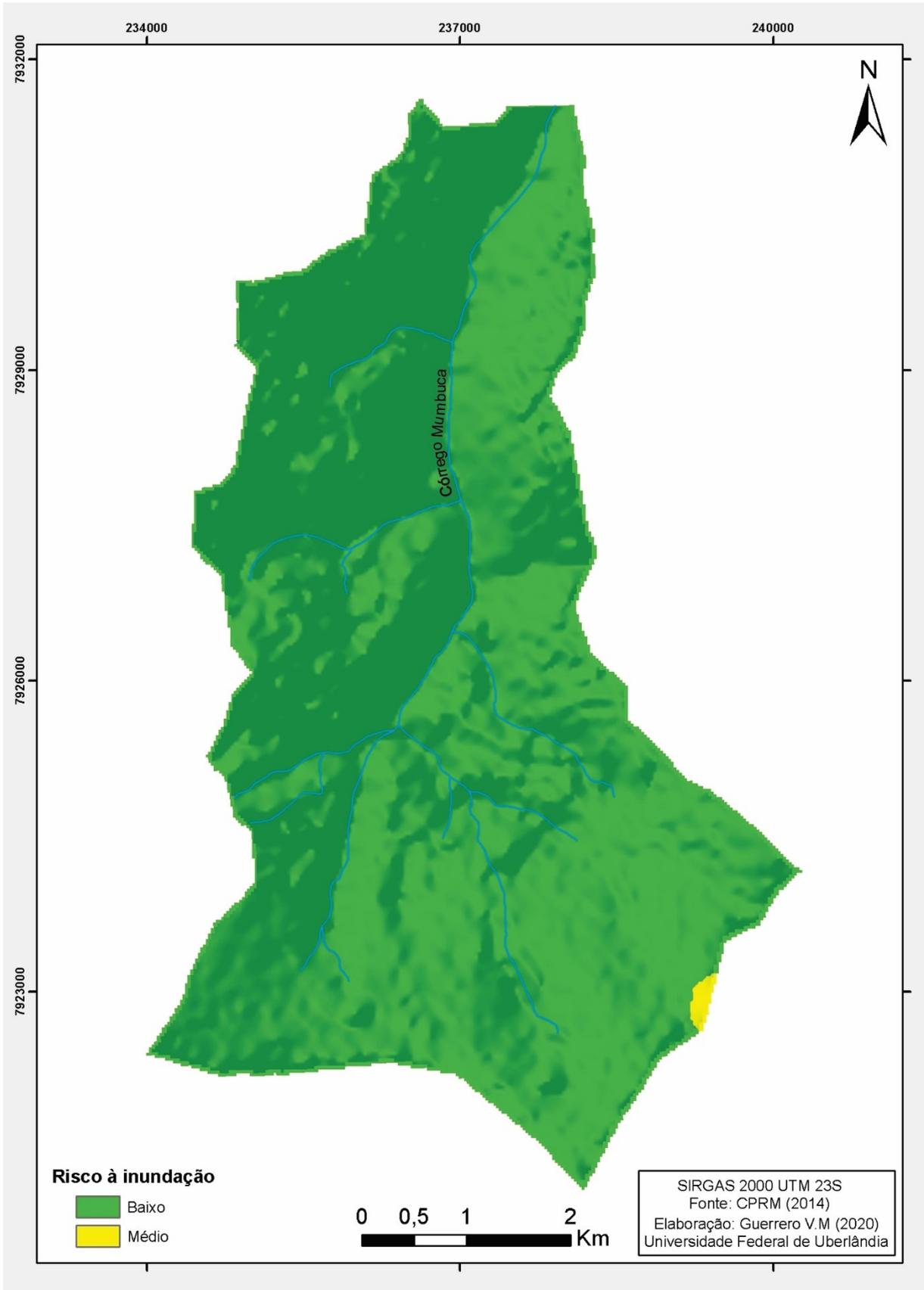
O mapa de risco à inundação para pedologia da bacia hidrográfica do córrego Mumbuca está representado no Mapa 12, onde apresenta uma área total de 35,46km², seguidos pelos latossolos com uma área de 35,38km² (99,76%) com baixo risco a inundação, com área de 0,08km² (0,23%) correspondendo a médio risco a inundação, como podemos observar na tabela 14 abaixo.

Tabela 14- Dados Risco à Inundação para Pedologia.

Nível	Área (KM²)	Porcentual (%)
Baixo	35,38	99,76
Médio	0,08	0,23
Alto	0	0
Total	35,46	100

Fonte: A autora.

MAPA 12 – Risco a Inundação para o Pedologia.



Fonte: A autora.

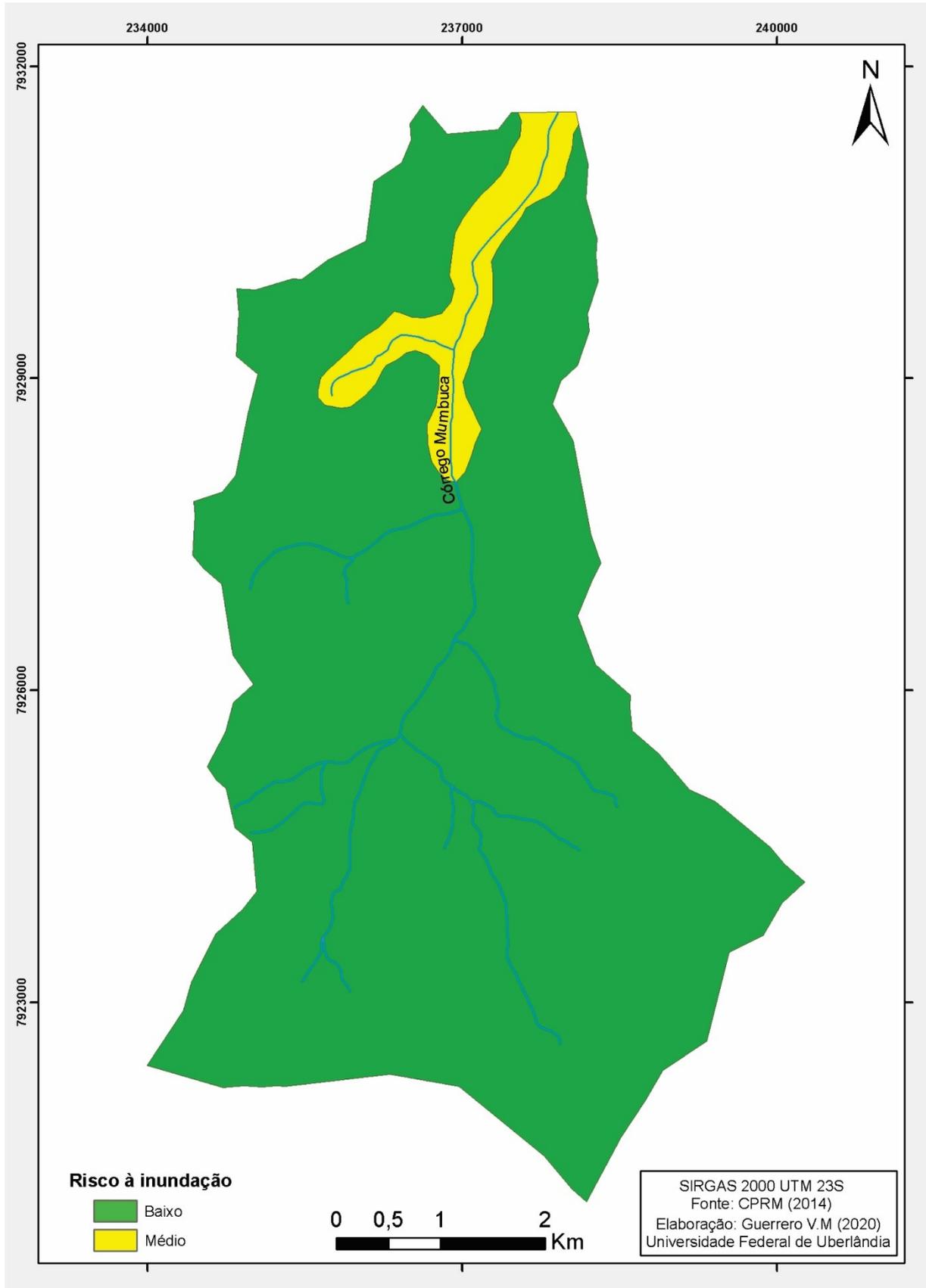
Para o risco de inundação para geologia, conforme o Mapa 13, a área total correspondente é de 35,46km², sendo uma área de baixo índice a inundação de 2,05km² (5,79%), e uma área de 33,41km² (94,20%) apresentando um médio risco a inundação e para o alto risco à inundação não apresenta no mapa de geologia, conforme podemos observar na tabela 15 abaixo.

Tabela 15- Dados Risco à Inundação para Geologia.

Nível	Área (KM²)	Porcentual (%)
Baixo	2,05	5,79
Médio	33,41	94,20
Alto	0	0
Total	35,46	100

Fonte: A autora.

MAPA 13 – Risco a Inundação para Geologia.



Fonte: A autora.

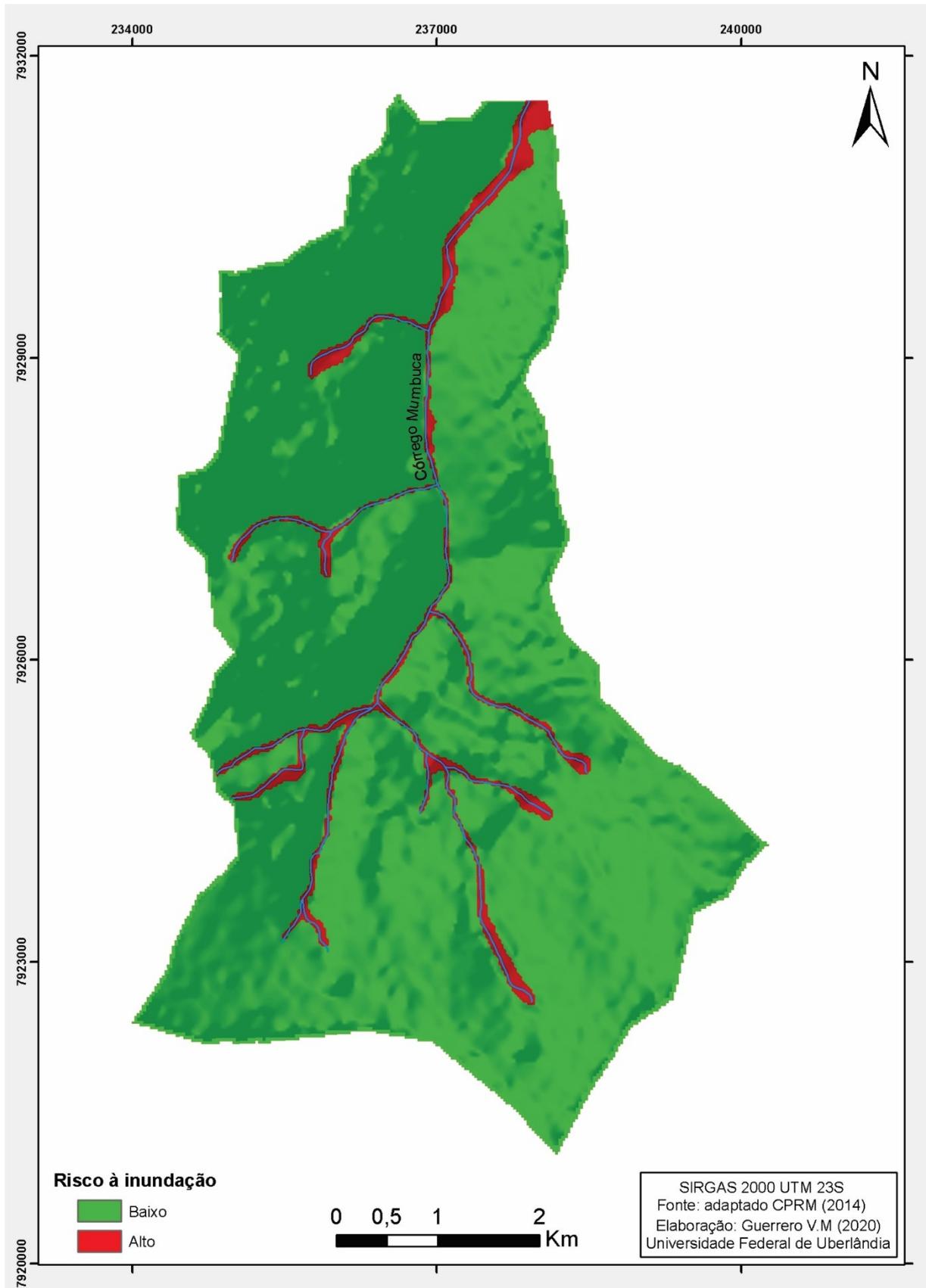
O risco a inundação predominante a geomorfologia, conforme o Mapa 14, corresponde uma área total de 35,46km², com baixo índice a inundação correspondendo a uma área de 33,57km² (94,66%), não apresenta médio risco e com uma área de 1,89km² (5,33%) apresenta alto risco a inundação, como podemos verificar na tabela 16.

Tabela 16- Dados Risco à Inundação para Geomorfologia.

Nível	Área (KM²)	Porcentual (%)
Baixo	33,57	94,66
Médio	0	0
Alto	1,89	5,33
Total	35,46	100

Fonte: A autora.

MAPA 14 – Risco a Inundação para Geomorfologia.



Fonte: A autora.

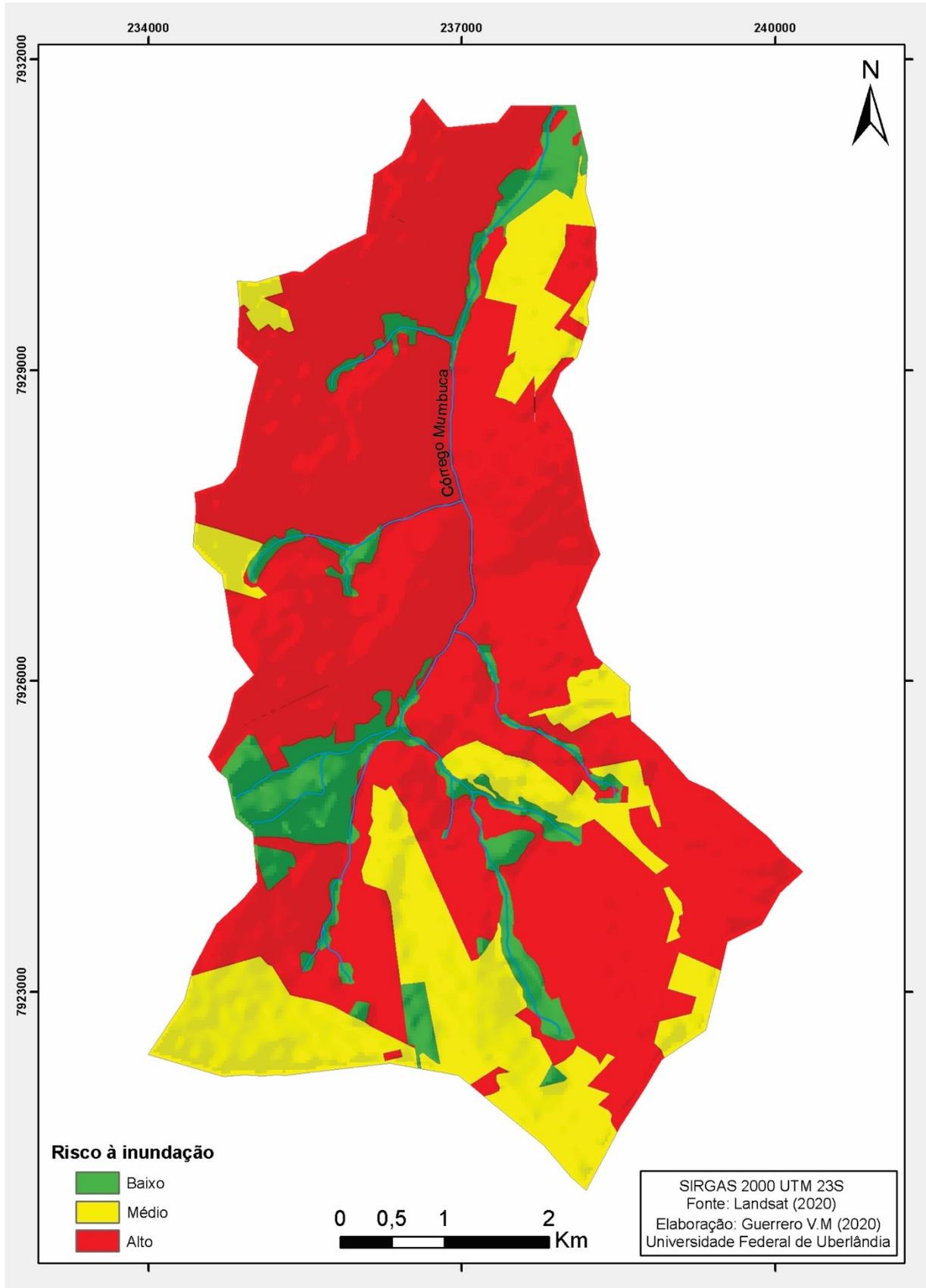
O risco a inundação ao uso e ocupação da terra conforme o Mapa 16, possuem uma área total de 35,46km², podendo classificar com baixo  ndice é inundação com uma área de 3,61km² (10,20%), com médio risco   inundação com uma área de 7,62km² (21,48) e com maior área propicio a alto risco de inundação com 24,22km² (68,31%). Como podemos observar melhor na tabela 17 a seguir.

Tabela 17- Dados Risco   Inundação para Uso e Ocupação da Terra.

Nível	�rea (KM²)	Porcentual (%)
Baixo	3,61	10,20
Médio	7,62	21,48
Alto	24,22	68,31
Total	35,46	100

Fonte: A autora.

MAPA 15 – Risco a Inundação do Uso e Ocupação da Terra.



Fonte: A autora.

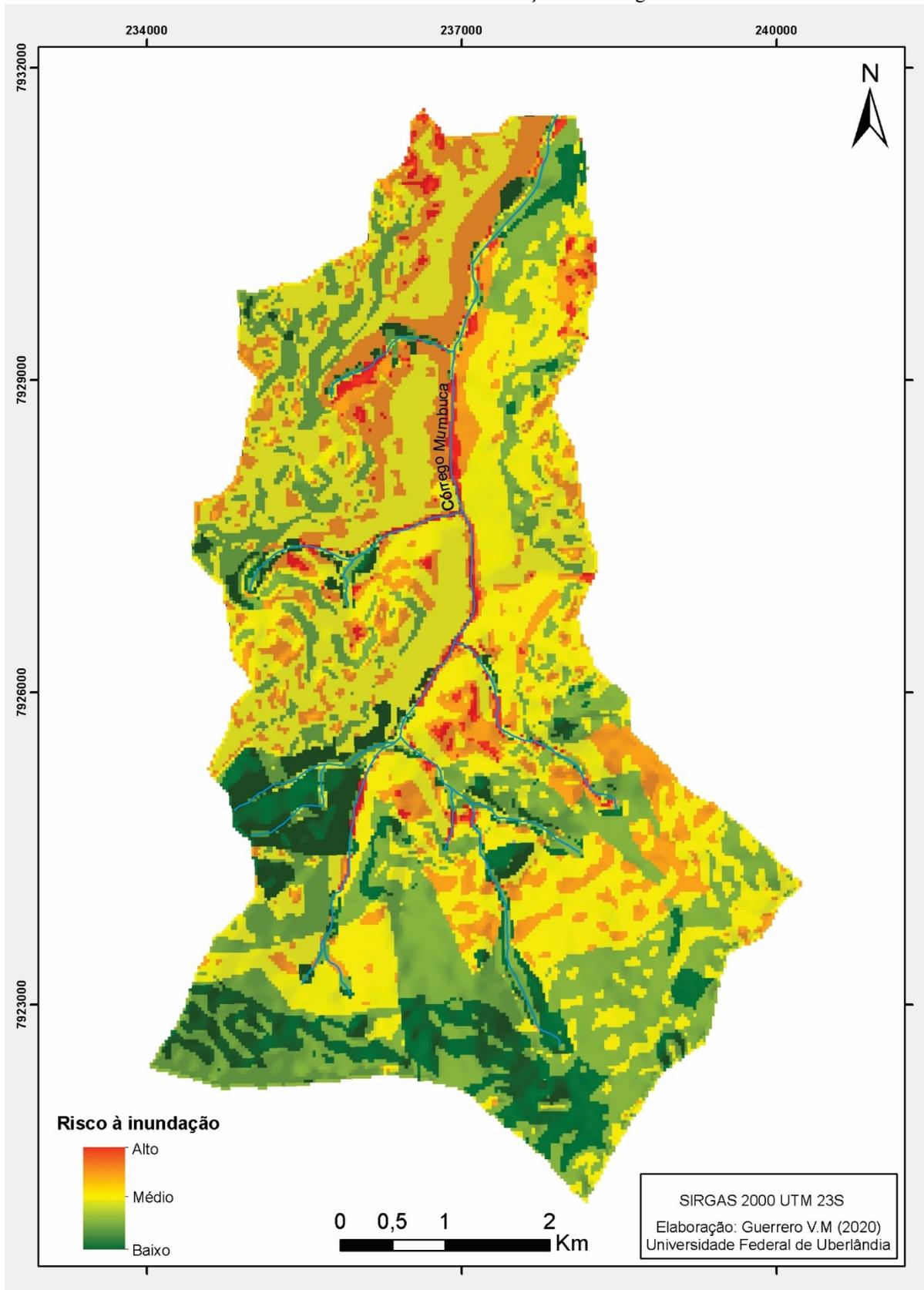
Para o Mapa 16, o de risco a inundação do Córrego Mumbuca foi feito um cruzamento de todos os outros mapas apresentados neste trabalho. O Córrego Mumbuca, apresentou uma área total de 35, 28 km², sendo classificados como baixo risco a inundação uma área de 6,85km² (19,42%), com 14, 34 km² (40,65%) um índice mais elevado à inundação classificado com médio e pertencente a uma classe de alto risco à inundação uma área de 14,08km² (39,91%), como podemos observar melhor na tabela 18 abaixo.

Tabela 18- Dados Risco à Inundação para o Córrego Mumbuca.

Nível	Área (KM²)	Porcentual (%)
Baixo	6,85	19,42
Médio	14,34	40,65
Alto	14,08	39,91
Total	35,28	100

Fonte: A autora.

MAPA 16 – Risco a Inundação do Córrego Mumbuca.



Fonte: A autora.

A classe correspondente ao risco elevado à inundação (39,91%), possui área predominante do uso e ocupação da terra, o que é um fator determinante para ocorrência de inundação, por ser uma área altamente impermeabilizada e com pouca cobertura vegetal, o que impede a infiltração da água no solo. Outro fator importante é a declividade do terreno, sendo que, na classe estudada, varia entre 0 a 20%, ou seja, são áreas mais planas e próximas aos canais fluviais.

A classe correspondente ao risco médio a inundação corresponde (40,65%) do território, a hipsometria variando entre 891 a 950 m. Tal classe se encontra ainda, em áreas da geologia, sendo a unidade depósitos detríticos indiferenciados predominante.

O restante da área (19,42%) possui baixo risco de ocorrência de inundação, por se tratar de uma área onde a precipitação variando entre 1227 a 1340 mm, geomorfologia sendo a classe predominante domínio de colinas amplas e suaves com 94,66% e a pedologia sendo os latossolos roxo e vermelho-amarelo os mais dominantes. Assim, a partir dessas três variáveis, é perceptível a classificação como baixo índice devido à alta cobertura.

6 CONCLUSÃO

Realizações de trabalho como este, tem suma importância atualmente, pois como podemos acompanhar em noticiários sempre ocorrendo inundações em bacias pequenas dentro de áreas urbanas. O estudo ainda reforça que áreas mais atingidas pelo processo de urbanização deveriam ser o foco de atenção do planejamento urbano e ambiental, pois através deles, medidas podem ser tomadas e planejadas para que tais acontecimentos não tragam prejuízos a população, à economia e ao ambiente.

Essa pesquisa teve como objetivo o mapeamento e avaliação do risco a inundação da MicroBacia Hidrográfica do Córrego Mumbuca localizada no município de Monte Carmelo-MG para identificação de possíveis áreas de inundação. Para isso, foi desenvolvido mapas temáticos onde eles foram reclassificados em relação ao risco que ocorria sobre eles, e por fim gerando o mapa final de inundação do Córrego Mumbuca.

O mapa de risco à inundação do Córrego Mumbuca, apresentou uma área total de 35, 2825 km², sendo classificados como baixo risco a inundação uma área de 6,8534km² com um índice mais elevado à inundação classificado com médio 14, 3456 km² e pertencente a uma classe de alto risco à inundação uma área de 14,0834km².

O município de Monte Carmelo não tem conhecimento de dados históricos que caracterize a ocorrência de inundações em larga escala em seu território, porém existe relatos de comunicações entre a população que já ocorreu inundações no Córrego Mumbuca e através desse estudo é possível destacar as áreas com maior risco a inundação. Algumas soluções que podem ser tomadas para estar evitando esse desastre natural seria a plantação de vegetação em torno do córrego na parte aberta, uma maneira ecológica de diminuir os alagamentos que ocorre, pois diferentemente do asfalto, o solo consegue absorver grande parte da água da chuva, evitando o transbordamento. E bueiros inteligentes na parte fechada do córrego a instalação de “cesta de lixo” entre a boca de lobo e a galeria pluvial, para reter entulhos que possam impedir o escoamento da água. Alguns modelos funcionam com IoT (internet das coisas), avisando quando a cesta está próxima da capacidade máxima.

REFERÊNCIAS

- ANA. Agência Nacional de Águas. **Ecolução da rede hidrometeorológica nacional.** / Superintendência de Administração da Rede Hidro meteorológica. – v. 1, n. 1, Brasília: ANA, 2005.
- ANA. Agência Nacional das Águas. **Sistema de Informações Hidrológicas.** Disponível em: << <http://hidroweb.ana.gov.br/>>>. Acesso em: abr. de 2019.
- ANTONELI, V; THOMAZ, E.L. Caracterização do meio físico da bacia do Arroio Boa Vista, Guamiranga-PR. **Caminhos da Geografia**, Uberlândia, v.8, n.21, p.46-58, jun. 2007.
- ARAÚJO, J. N. A. **Avaliação do risco de inundação no município de Monte Carmelo - MG.** 2017. 38 f. Monografia - Curso de Engenharia de Agrimensura e Cartografia, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2017.
- BBC BRASIL. **Brasil é o país das Américas mais afetado por desastres.** Disponível em: << https://www.bbc.com/portuguese/noticias/story/2003/07/030717_cruzvermla.shtml>> Acesso em: 23 de maio. de 2019.
- BORSATO, F. H.; MARTONI, A. M. Estudo da fisiografia das bacias hidrográficas urbanas no Município de Maringá, Estado do Paraná. **Acta Scientiarum: Human and Social Sciences**, Maringá, v. 26, n. 2, p.273-285, jun. 2004. Disponível em: <<<http://ojs.uem.br/ojs/index.php/ActaSciHumanSocSci/article/viewFile/1391/907>>>. Acesso em: maio 2019.
- BRATH, A. **Hydrometeorological aspect of the 1994 flooding in the upper Po river basin: frequency characteristics and real-time predictability.** University of Bologna. U.S.-Italy Reseach Workshop on the Hydrometeorology, ImpaCTS AND Management of Extreme Floods. 1995.
- CREPANI, E. MEDEIROS, S. J; HERNANTEZ F. P.; FLORENZANO, G.T.; DUARTE, V.; BARBOSA, C.F.C. **Sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicados ao Zoneamento Ecológico-Econômico e ao ordenamento territorial.** São José dos Campos: INPE, 2001 (INPE-8454-RPQ/72). 124 p.
- DMAE (Monte Carmelo)(Org.).**DESCRIÇÃO FUNCIONAL DO SISTEMA DE ESGOTAMENTO SANITÁRIO.** Disponível em: <http://dmae.montecarmelo.mg.gov.br/servicos/esgotos/>. Acesso em: 20 ago. 2020.
- FERREIRA, C. W. Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do Açude cachoeira, no município de serra talhada - PE, Brasil. **II Seminário Ibero Americano de Geografia Física.** Coimbra. Maio de 2010.
- GARCEZ, L. N., ALVAREZ, G. A. **Hidrologia.** 2 ed., São Paulo: Edgard Blucher Ltda, 1988.
- GIRARDI, G. Temperatura alta no mar associada a frente fria levou a chuvas intensas na Grande SP, segundo dados do **Estadão**, São Paulo, março.2019. Disponível em:

<<<https://g1.globo.com/rj/rio-de-janeiro/noticia/2019/04/09/chuva-do-rio-e-a-mais-forte-em-22-anos-segundo-dados-do-alerta-rio.ghml>>>. Acesso em: maio 2019.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística -. **Manual Técnico de Uso da Terra**. 2013. Disponível em: <<https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv81615.pdf?fbclid=IwAR2wov0e796owizL2wkXT9u6U-Mdp8Z11bjA5ZEwOZqPS9AB5D9QofrpXr0>>. Acesso em: 27 maio 2019.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia E Estatística. **IBGE – Cidades**: Monte Carmelo. Disponível em: <<<http://cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?lang=&codmun=314310&search=||info%EFicos:-informa%E7%F5es-completas>>>. Acesso em: abr. 2019.

LEOPOLD, L.B. **Hydrology for Urban Planning**. A guidebook on the Hydrologic Effects on Urban Land Use. USGS. Circ 554, 18p. 1968.

LIMA, W. P. **Hidrologia florestal aplicado ao manejo de bacias hidrográficas**. 2. ed. Piracicaba: ESALQ/USP, 2008. 245p.

LOTTERMANN, A.; TRIGUEIRO, A. Chuva do Rio é a mais forte em 22 anos, segundo dados do Alerta Rio. **Portal de notícias G1**, Rio de Janeiro, abr. 2019. Disponível em: <<<https://g1.globo.com/rj/rio-de-janeiro/noticia/2019/04/09/chuva-do-rio-e-a-mais-forte-em-22-anos-segundo-dados-do-alerta-rio.ghml>>>. Acesso em: maio 2019.

MEYER, A.F. **The elements of Hydrology**. Nova Iorque, John Wiley and Sons, 2. Ed., 6. Imp., 1948.

MCT/CGE. Ministério De Ciência E Tecnologia/ Centro De Estudos E Gestão Estratégica. **Diretrizes estratégicas para o Fundo de Recursos Hídricos de Desenvolvimento Científico e Tecnológico**. Brasília, 2002. Disponível em. Acesso em abr. 2019.

MELLO, C. R. de; SILVA, A. M.; LIMA, J. M.; FERREIRA, D. F.; OLIVEIRA, M. S. **Modelos matemáticos para predição da chuva de projeto para regiões do estado de Minas Gerais**. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v. 7, n. 1, p. 121-128, 2003.

MOURA, A. C. M.; Reflexões metodológicas como subsídio para estudos ambientais baseados em Análises Multicritérios. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13. (SBSR), 2009, Florianópolis. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2007. p. 2889-2906. Disponível em < <http://www.dsr.inpe.br/sbsr2007> >. Acesso em: maio de 2019.

OLIVEIRA, K. **Mapeamento das Áreas de Risco à Inundação no Município de Rio Grande da Serra - SP**. 2017. 45 f. Monografia - Curso de Engenharia de Agrimensura e Cartografia, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2017.

PAIVA, J.B.D.de.; PAIVA, E.M.C.D. **Hidrologia aplicada à gestão de pequenas bacias hidrográficas**. Porto Alegre: ABRH, 2001. 625 pp.

PINTO, N. L. de S; HOLTZ, A. C. T.; MARTINS, J. A.; GOMIDE, F. L. S. **Hidrologia Básica**. São Paulo: Blucher, 1976. 278 p.

PEREIRA, L. M. **Modelagem hidrológica dinâmica distribuída para estimativa do escoamento superficial em uma microbacia urbana**. 2008. 90 p. (INPE-15679-TDI/1453). Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2009.

RENNÓ, C.D.; SOARES, J.V. Conceitos básicos de modelagem hidrológica. In: MEIRELLES, M. D. P. **Geomática: modelos e aplicações ambientais**. Editores técnicos: Margareth Simões Pannelo Meirelles, Gilberto Camara e Cláudia Maria de Almeida – Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2007. 593 p.

ROSA, R. Geotecnologias na Geografia Aplicada. **Revista do Departamento de Geografia**, 16 (2005) 81-90.

SANTOS, A. R.; LOUZADA, F. L. R. O.; EUGENIO, F. C. **Elaborando um mapeamento de riscos a inundação**. In: SANTOS, A. R.; LOUZADA, F. L. R. O.; EUGENIO, F. C. *ArcGis 9.3 Total: Aplicações para dados espaciais*. Alegre: Cca-ufes, 2010. p. 135-160.

SAATY, Thomas L. A Scaling Method for Priorities in Hierarchical Structures. **Journal Of Mathematical Psychology**. Philadelphia, p. 234-281. jun. 1977. Disponível em: . Acesso em: 12 nov. 2020.

SANTOS, Ariodari Francisco dos. **PRÁTICAS DA AGRICULTURA FAMILIAR, O USO E OCUPAÇÃO DO SOLO E QUALIDADE DA ÁGUA: A BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PEQUENO - SÃO JOSÉ DOS PINHAIS – PR**. 2006. Disponível em: <https://acervodigital.ufpr.br/bitstream/handle/1884/5988/Pr%E1ticas%20d;jsessionid=9AD4A0F9A391AADD07A38B2E90285F64?sequence=1>. Acesso em: 12 set. 2020.

SANTOS, A.M., TARGA, M.S., BATISTA, G.T., NELSON, W.D. **Análise morfométrica das sub-bacias hidrográficas Perdizes e Fojo no município de Campos do Jordão, SP, Brasil**. *Revista Ambiente & Água*, Taubaté, v.7, n.3, p. 95-211, 2012.

SILVA, C. H. C. POLETO, L. J. C.; VILELA, T. A.; VIEIRA, C. A.O. Determinação de áreas de risco e simulação de intervenções através do uso de SIG na Bacia Hidrográfica do Ribeirão São Bartolomeu. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 14. (SBSR), 2009, Natal. Anais... São José dos Campos: INPE, 2009. p. 5443-5449. Disponível em < <http://www.dsr.inpe.br/sbsr2009/> >. Acesso em: maio de 2019.

SILVEIRA, A. L.L., Ciclo hidrológico e bacia hidrográfica. In: Tucci, C. E. M. **Hidrologia-Ciência e aplicação** / organizado por Carlos E. M. Tucci. – Porto Alegre: Ed. Da Universidade: ABRH: EDUSP, 1993.

SPANGHERO, Pedro. **Aplicações de Técnicas de Geoprocessamento para a Adequação Espacial do Mapeamento de Solos utilizando Informações Geomorfológicas: Caso da cidade de Alcobaça**. BA. 2018. Disponível em: <https://www.sinageo.org.br/2018/trabalhos/9/9-148-1909.html>. Acesso em: 12 nov. 2020.

TARGA, M. S. **Hidrologia e manejo de bacias hidrográficas**. Taubaté: UNITAU, 2008. 61f. 1 Apostila.

TOMINAGA, L.K; SANTORO, J.; AMARAL, S.J. (Org). **Desastres naturais conhecer para prevenir**. São Paulo: Instituto Geológico, 2008. 197 p.

TONELLO, K. C. **Análise hidroambiental da bacia hidrográfica da cachoeira das pombas, Guanhões, MG**. 2005. 85p. Dissertação. Universidade Federal de Viçosa. Disponível em: <<<http://www.ipef.br/servicos/teses/arquivos/tonello,kc-m.pdf> > > Acesso em: maio 2019.

TUCCI, C. E. M.; CRUZ, M. A. S. **Avaliação e Controle da Drenagem Urbana**. 1 ed. Porto Alegre: Editora da Universidade, 2000. 558 p.

TUCCI, E. M. T. **Modelos Hidrológicos. Colaboração da Associação Brasileira de Recursos Hídricos/ABRH**. Editora da UFRGS, 2ª edição. Porto Alegre, 2005.

TUCCI, C. E. M. Urbanização e recursos hídricos. In: BICUDO, C. E. de M.; TUNDISI, J. G.; SCHEUENSTUHL, M. C. B. **Águas do Brasil: análises estratégicas**. São Paulo: Instituto de Botânica, 2010.

VILLELA, Swami Marcondes; MATTOS, Arthur. **Hidrologia Aplicada**. 1975. Disponível em: <<https://ecivilufes.files.wordpress.com/2011/04/villela-s-m-matos-a-hidrologia-aplicada-caps-1-2-e-3.pdf>>. Acesso em: 27 maio 2019.