

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
INSTITUTO DE GEOGRAFIA
ENGENHARIA DE AGRIMENSURA E CARTOGRÁFICA

RAFAEL GUSTAVO SILVA TEIXEIRA DOS SANTOS

**MAPEAMENTO DE RISCO DE INCÊNDIO NO MUNICÍPIO DE MONTE
CARMELO – MG**

MONTE CARMELO

2017

RAFAEL GUSTAVO SILVA TEIXEIRA DOS SANTOS

**MAPEAMENTO DE RISCO DE INCÊNDIO NO MUNICÍPIO DE MONTE
CARMELO – MG**

Monografia apresentada para obtenção do título de Engenheiro Agrimensor e Cartógrafo, pelo Instituto de Geografia, da Universidade Federal de Uberlândia, Campus Monte Carmelo.

Orientadora: Prof^a. Dra. Mirna Karla A. da Silva

MONTE CARMELO

2017

RAFAEL GUSTAVO SILVA TEIXEIRA DOS SANTOS

**MAPEAMENTO DE RISCO DE INCÊNDIO NO MUNICÍPIO DE MONTE
CARMELO – MG**

Monografia aprovada para obtenção do título de Engenheiro Agrimensor e Cartógrafo, pelo Instituto de Geografia, da Universidade Federal de Uberlândia, Campus Monte Carmelo, pela banca examinadora formada por:

Monte Carmelo, 12 de julho de 2017.

Mirna Karla Amorim da Silva

Prof^a. Dra. Mirna Karla Amorim da Silva (UFU)

Luziane Santos Ribeiro

Prof^a. Dra. Luziane Santos Ribeiro (UFU)

Pedro

Prof. Dr. Pedro Eduardo Ribeiro de Toledo (UFU)

RESUMO

O Município de Monte Carmelo-MG possui características topográficas, climáticas e de ocupação do espaço geográfico favoráveis a ocorrências de incêndios, as quais podem causar severos danos ambientais, sociais e econômicos. Este estudo teve como objetivo elaborar um mapa de risco de incêndio, por meio de fatores analisados que influenciam o risco de incêndio, tais como: altitude, declividade, orientação de vertentes, proximidade de rodovias, temperatura, precipitação e uso e ocupação do solo. O mapeamento desses fatores, se torna possível, em virtude das imagens de satélites e de dados climáticos. Para atingir o objetivo do estudo, foram utilizados os *softwares ArcGis Desktop 10.5*, versão Estudantil (SIG) e o *Envi Classic 5.0* (Processamento Digital de Imagens), sendo que o *Envi* foi utilizado para elaborar a classificação supervisionada da imagem de satélite Landsat 8, da data de 14 de julho de 2016, e o *ArcGis* para elaborar, gerar e confeccionar os mapas dos fatores analisados. Para cada fator analisado, foi gerado um mapa de risco ao fogo, com classes variando entre alto, médio e baixo. E, assim, foram consideradas como áreas de alto risco a incêndio aquelas que apresentaram as seguintes condições: altitude inferiores a 615 metros; declividade superiores a 20%; exposição do terreno voltadas para as direções norte, nordeste e noroeste; próximas a rodovias; temperatura superiores a 27°C; precipitação inferiores a 500 mm do período de janeiro a setembro de 2016; e, ocupadas com as categorias de uso de cobertura vegetal campestre e pastagem. O mapa de risco de incêndio, se associa a uma análise de multicritérios e a uma sobreposição ponderada dos mapas temáticos, através de um modelo matemático. O resultado do mapa de risco de incêndio do município de Monte Carmelo-MG, possibilitou uma análise espacial e temporal preventiva, indicando a necessidade de ações estratégicas de prevenção e conscientização nas áreas susceptíveis e vulneráveis ao risco de incêndio.

Palavras-chave: Mapeamento. Sensoriamento Remoto. SIG. Risco de Incêndio.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Esquema do triângulo do fogo	15
Figura 2 - Triângulo do comportamento do fogo formado pelos fatores	15
Figura 3 - Fluxograma dos procedimentos operacionais da elaboração do Mapa de Risco de Incêndio de Monte Carmelo-MG.....	27
Figura 4 - Áreas dos níveis de risco de incêndio para o fator hipsométrico.....	36
Figura 5 - Áreas dos níveis de risco de incêndio para o fator clinográfico	37
Figura 6 - Áreas dos níveis de risco de incêndio para o fator orientação de vertentes... 39	
Figura 7 - Áreas dos níveis de risco de incêndio para o fator proximidade de rodovias	40
Figura 8 - Áreas dos níveis de risco de incêndio para o fator temperatura	42
Figura 9 - Áreas dos níveis de risco de incêndio para o fator precipitação.....	43
Figura 10 - Áreas dos níveis de risco de incêndio para o fator uso e ocupação do solo	45
Figura 11 - Áreas de risco de incêndio de Monte Carmelo-MG	46

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Porcentagem das áreas em relação ao risco de incêndio para a hipsometria	35
Tabela 2 - Porcentagem das áreas em relação ao risco de incêndio para a declividade	37
Tabela 3 - Porcentagem das áreas em relação ao risco de incêndio para a orientação de vertentes.....	38
Tabela 4 - Porcentagem das áreas em relação ao risco de incêndio para a proximidade de rodovias.....	40
Tabela 5 - Porcentagem das áreas em relação ao risco de incêndio para a temperatura	41
Tabela 6 - Porcentagem das áreas em relação ao risco de incêndio para a precipitação	43
Tabela 7 - Porcentagem das áreas em relação ao risco de incêndio para o uso e ocupação do solo	44
Tabela 8 – Porcentagem das áreas de risco de incêndio de Monte Carmelo-MG.....	46

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Classes originais, níveis de risco e os coeficientes do fator natural topográfico hipsométrico para a área de estudo	21
Quadro 2 - Classes originais, níveis de risco e os coeficientes do fator natural topográfico declividade para a área de estudo.....	21
Quadro 3 - Classes originais, níveis de risco e os coeficientes do fator natural topográfico orientação de vertentes para a área de estudo	22
Quadro 4 - Classes originais, níveis de risco e os coeficientes do fator de proximidade de rodovias para a área de estudo	22
Quadro 5 - Classes originais, níveis de risco e os coeficientes do fator natural temperatura para a área de estudo.....	23
Quadro 6 - Estações pluviométricas do entorno da área de estudo	24
Quadro 7 - Classes originais, níveis de risco e os coeficientes do fator natural precipitação para a área de estudo	24
Quadro 8 - Classes originais, níveis de risco e os coeficientes do fator uso e ocupação do solo para a área de estudo	25
Quadro 9 - Fatores e pesos dos fatores analisados	26

LISTA DE MAPAS

Mapa 1 - Localização geográfica da área de estudo	19
Mapa 2 - Hipsometria do terreno de Monte Carmelo-MG.....	28
Mapa 3 - Declividade do terreno de Monte Carmelo-MG	29
Mapa 4 - Orientação de vertente do terreno de Monte Carmelo-MG	30
Mapa 5 - Proximidade de rodovias de Monte Carmelo-MG.....	31
Mapa 6 - Temperatura de Monte Carmelo-MG	32
Mapa 7 - Uso e ocupação do solo de Monte Carmelo-MG.....	34
Mapa 8 - Risco de Incêndio para a hipsometria	35
Mapa 9 - Risco de Incêndio para a declividade.....	36
Mapa 10 - Risco de Incêndio para a orientação de vertentes	38
Mapa 11 - Risco de Incêndio para a proximidade de rodovias	39
Mapa 12 - Risco de Incêndio para a temperatura	41
Mapa 13 - Risco de Incêndio para a precipitação.....	42
Mapa 14 - Risco de Incêndio para o uso e ocupação do solo.....	44
Mapa 15 - Risco de Incêndio para Monte Carmelo-MG.....	45
Mapa 16 - Foco de incêndio	48

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	9
2	OBJETIVOS	10
2.1	OBJETIVO GERAL	10
2.2	OBJETIVOS ESPECIFICOS	10
3	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	10
3.1	SENSORIAMENTO REMOTO	10
3.2	PROCESSAMENTO DIGITAL DE IMAGENS	12
3.3	GEOPROCESSAMENTO	13
3.4	CONCEITO DO FOGO	14
3.5	FATORES QUE AFETAM O COMPORTAMENTO DO FOGO	15
3.5.1	Combustível	16
3.5.2	Condições Atmosféricas	16
3.5.3	Topografia do Terreno	17
3.6	CONCEITOS DE INCÊNDIOS	17
3.6.1	Risco de Incêndio	18
4	MATERIAL E PROCEDIMENTOS OPERACIONAIS	18
4.1	LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	18
4.2	MATERIAL	20
4.3	PROCEDIMENTOS OPERACIONAIS	21
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	27
5.1	FATORES ANALISADOS PARA O RISCO DE INCÊNDIO	27
5.2	RECLASSIFICAÇÃO DOS FATORES PARA O RISCO DE INCÊNDIO	34
5.3	RISCO DE INCÊNDIO	45
5.4	FOCO DE OCORRÊNCIA DE INCÊNDIO	47
6	CONCLUSÃO	48
	REFERÊNCIAS	50

1 INTRODUÇÃO

Mapear o risco de incêndio tem como propósito identificar áreas susceptíveis ao incêndio em um determinado local. Os mapas de risco de incêndio são o resultado de interações de fatores que influenciam na ação ou na propagação do fogo. Esses fatores são analisados de acordo com sua distribuição espacial do local, com o auxílio de um Sistema de Informação Geográfica (SIG) (VETTORAZZI; FERRAZ, 1998).

Grande parte das florestas e matas de espécies nativas vem sendo reduzidas ao longo do tempo devido ao fator humano relacionados com as práticas agrícolas que, em muitos casos, se atrela ao uso do fogo para a limpeza do pasto. No município de Monte Carmelo, essa realidade não é diferente, muitos agricultores limpam suas reservas ou matas com o uso do fogo, praticando um ato ilegal e destruindo o meio ambiente, tudo isso para aumentarem as áreas de plantio e seus lucros.

No Brasil, devido ao fator natural, o clima seco no inverno contribui de forma significativa para os acontecimentos de incêndios. Segundo o INPE (2016), no ano de 2015, em todo o território do país, ocorreram cerca de 230 mil focos ativos de queimadas e incêndios e, no Estado de Minas Gerais, cerca de 11 mil focos, detectados por imagens de satélites.

O incêndio pode ser definido como o fogo sem controle sobre a vegetação provocado pela ação do homem, podendo ser intencional e até mesmo por um descuido, ou por causas dos fatores naturais. As queimadas são práticas agropastoris, onde o fogo, de certa forma, é controlado, atuando como um fator de produção (ICMBio, 2016).

Dessa forma, os impactos ambientais causados pelos incêndio e queimadas interferem na biodiversidade, ecologia e saúde humana. Os danos e efeitos acarretados pelo fogo podem ser diretos e indiretos, tais como: destruição das florestas e matas; perda da biodiversidade; perda da fertilidade dos solos; poluição atmosférica; queda na qualidade e quantidade de recursos hídricos; perda de patrimônio; perda de vidas humanas em casos extremos.

Este estudo, tem como justificava a contribuição das informações contidas na metodologia para a identificação e avaliação do risco de incêndio na área de estudo. Além disso, o município de Monte Carmelo apresenta fatores naturais e antrópicos propensos para a ocorrência desse tipo de risco, necessitando de pesquisas que contribuam com informações estatísticas e espaciais para a área de estudo.

Assim, a hipótese desta pesquisa considerou que a partir dos fatores naturais (topografia do terreno, precipitação e temperatura) e antrópicos (proximidade de rodovias e uso e ocupação do solo) é possível mapear o risco de incêndio utilizando imagens de satélites e programas computacionais de geoprocessamento.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo geral da pesquisa é elaborar um mapa de risco de incêndio, para o município de Monte Carmelo, Estado de Minas Gerais.

2.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

Os objetivos específicos, por sua vez, estão definidos por:

- Identificar os focos de ocorrências de incêndios na área de estudo no período de 6 anos;
- Identificar e elaborar os mapas dos fatores relevantes à ocorrência de incêndios;
- Cruzar os mapas reclassificados dos fatores analisados para determinar as áreas de risco de incêndios; e
- Gerar um mapa da área de risco de incêndio para o município de Monte Carmelo-MG.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 SENSORIAMENTO REMOTO

Para o INPE (2016), o sensoriamento remoto é definido como a utilização de sensores para a aquisição de informações sobre objetos ou fenômenos, sem que haja contato direto entre eles. Portanto, é necessário definir dois fatores primordiais para a aquisição das informações, o sensor e a energia. O sensor é o equipamento capaz de coletar energia proveniente do objeto, transformá-la em sinal passível de ser registrado e

apresentá-la em forma adequada à extração de informações. A energia, na grande maioria das vezes, é a energia eletromagnética ou radiação eletromagnética. Portanto, especificando a definição de sensoriamento remoto, é um conjunto de atividades relacionadas à aquisição e à análise de dados de sensores remotos.

Dentre os diversos produtos gerados pelo sensoriamento remoto, temos as imagens de satélite obtidas por sensores óticos, radar, entre outros, a exemplo das imagens de radar *Shuttle Radar Topographic Mission* (SRTM) através do modelo TOPODATA e as imagens da plataforma *LandSat 8*.

A missão SRTM teve como objetivo mapear o relevo da área continental da Terra. O mapeamento foi compreendido entre as latitudes 60°N e 56°S, o que corresponde à aproximadamente 80% das áreas emersas do planeta. Para a aquisição dos dados altimétricos foi utilizado o método de interferometria, com o radar de abertura sintética (InSar). Os dados disponibilizados apresentam uma resolução espacial de 90 metros (GROHMANN, 2008).

As imagens SRTM podem ser adquiridas em diferentes níveis de processamento, com o projeto TOPODATA. O processamento dos dados do projeto passou por um tratamento na resolução espacial de 90 metros para 30 metros, por meio de interpolação pelo método de krigagem. O projeto TOPODATA oferece o modelo digital de elevação (MDE) e suas derivações locais básicas (VALERIANO; ROSSETTI, 2009).

O satélite *LandSat 8* é o mais recente da série satélites *LandSat* de Observação da Terra, da *LandSat Data Continuity Mission* (LDCM). Lançado em fevereiro de 2013, com o objetivo de continuar a estender a missão de imageamento da superfície terrestre ao longo de 4 décadas (USGS, 2017).

O *LandSat 8* leva 16 dias para imagear toda a extensão do globo terrestre sendo necessárias 233 orbitas, o seu posicionamento é heliossíncrona a uma altitude de aproximadamente 705 km. Este satélite opera com 2 instrumentos imageadores: *Operational Land Imager* (OLI) e *Thermal Infrared Sensor* (TIRS). O instrumento OLI consiste de nove bandas multiespectrais com resolução espacial de 30 metros (1 a 7 e 9). O TIRS é para o fornecimento de dados da temperatura da superfície global e os dados são coletados no pixel de 100 metros (USGS, 2017). As imagens deste satélite são disponibilizadas de forma totalmente gratuita, incentivando pesquisadores a desenvolver aplicações práticas dos dados *LandSat*.

As imagens fornecidas por satélites orbitais fornecem uma visão sinóptica (de conjunto) e multitemporal (dinâmica) de grandes porções da superfície terrestre. Estas mostram os ambientes e a sua transformação, destacando os impactos causados por fenômenos naturais e pela intervenção do homem através do uso e da ocupação do espaço. Dessa forma, com o uso das imagens de satélite é possível detectar, calcular e monitorar o crescimento de áreas desmatadas, atingidas pelo fogo, impermeabilizadas, submetidas a processos de erosão, inundadas, e outros afins (FLORENZANO, 2002).

Dentro deste contexto, o sensoriamento remoto tornou-se um grande aliado para a identificação de incêndios. Dessa forma, as determinações da probabilidade de incêndio através de imagens de satélites, em conjunto com estações meteorológicas na terra, possibilitando a elaboração de mapas de risco de incêndios, sendo assim um sistema de alerta de incêndio (FREIRE et al., 2002 apud VENTURI, 2006).

3.2 PROCESSAMENTO DIGITAL DE IMAGENS

O processamento digital de imagens de sensoriamento remoto tem como objetivo fornecer ferramentas para facilitar a identificação e a extração de informações contidas nas imagens, para posterior interpretação. Nesta situação, os sistemas dedicados de computação são utilizados para atividades interativas de análise e manipulação das imagens brutas. O resultado desse processo é a produção de outras imagens, estas já contendo informações específicas, extraídas e realçadas a partir das imagens brutas (SILVA, 2001).

De acordo com Meneses e Almeida (2012), grande parte dos programas computacionais especializados em processamento digital de imagens do sensoriamento remoto, é dividida em duas técnicas de processamento digital: realce e classificação.

Para Assad e Sano (1998), a classificação de imagens se baseia na demonstração de um método de decisão no qual uma porção de *pixels* é definido como pertencente a uma determinada classe do espaço físico terrestre. Neste sentido, os sistemas de computadores ajudam o usuário na interpretação das imagens de satélites.

Ainda de acordo com os autores Assad e Sano (1998), os métodos de classificação digital de imagens podem ser associados em função do acompanhamento ou não de uma fase de testes onde o analista interage com o computador, ou seja, uma classificação não supervisionada, quando o analista não coleta amostras de *pixels* e os algoritmos computacionais realizam a classificação com base na estatística, ou

classificação supervisionada, onde o analista tem o conhecimento da área e coleta uma porção de amostras de *pixels* e os algoritmos classificadores operam na base de distribuição de probabilidade de cada classe coletada.

A classificação supervisionada de imagens de sensoriamento remoto necessita de um treinamento no qual o analista irá determinar, através de amostras, as características do objeto ou espaço físico que deseja mapear. Esses objetos ou classes deverão ser definidos *a priori* e sua identificação é limitada pelas características espaciais e espectrais do sensor utilizado. Pode-se usar como área de treinamento uma região delimitada pelo usuário ou algumas regiões da imagem segmentada, já que estas, anteriormente, determinaram regiões homogêneas, segundo o critério de semelhança utilizado. Entre essas amostras de treinamento serão calculados, com base na estatística, os parâmetros para cada classe (CORREIA et al., 2007).

Ainda de acordo com os autores Correia et al. (2007), o método classificador de Máxima Verossimilhança (Maxver) é o mais aplicado no sensoriamento remoto. Consiste em uma classificação pontual, baseada nos valores radiométricos do *pixel* e em parâmetros da distribuição Gaussiana de cada uma das classes de amostras.

3.3 GEOPROCESSAMENTO

O geoprocessamento é definido com uma tecnologia que através da localização e do processamento de dados geográficos, integra variáveis disciplinas, equipamentos, *softwares*, processos, entidades, dados metodológicos, e pessoas capacitadas para a coleta, tratamento, análise e apresentação de informações associada ao mapa digital georreferenciado (ROCHA, 2000).

Dentre as inúmeras ferramentas utilizadas em geoprocessamento de dados, a análise multicritério se destaca como um método empregado para a tomada de decisão (planejamento de dados). Essa abordagem, envolve a utilização de dados georreferenciados em um ambiente participativo, manipulação de dados e conceitos com base em regras de decisão específicas. Ela destina-se ao desenvolvimento de estudos caracterizadores da realidade vigente prevendo situações (NASCIMENTO; MOURA, 2008).

A análise multicritério é um procedimento metodológico de cruzamento de fatores amplamente aceito nas análises espaciais. Ela é também conhecida como análise hierárquica de pesos. O procedimento se baseia no mapeamento de fatores por plano de

informação e na definição do grau de pertinência de cada plano de informação e de cada um de seus componentes de legenda para a construção do resultado final. A matemática empregada é a simples média ponderada (MOURA, 2007).

O cruzamento entre diferentes fatores de informações em *softwares* SIG tem sido um dos procedimentos mais usados para o desenvolvimento desse tipo de estudo. Assim, técnicas como a abordagem da análise multicritério têm sido realizadas no SIG, como ferramentas de apoio à susceptibilidade e a sua gestão.

A utilização da técnica da análise multicritério, deve ocorrer, necessariamente, em um ambiente que permita a visualização, o processamento e as análises dos dados espaciais necessários à pesquisa, a exemplo dos SIG's.

O SIG é construído com um banco de dados digitais gerenciados para facilitar a atualização e a aplicação dos dados georreferenciados de inúmeras informações para o planejamento e para otimização de certas tarefas. O SIG é empregado na integração e análise de dados proveniente de fontes dispersas, como imagens digitais de satélites, mapas digitais de usos e tipos de solo, topografia, hidrologia, vegetação, floras e fauna, cartas climatológicas, e outros. Sua principal função é armazenar, recuperar, analisar e gerar mapas em um sistema computacional (LIU, 2007).

Para Venturi (2006), as informações são elementos críticos para o processo de identificar, analisar e planejar as atividades voltadas ao controle e supressão dos incêndios. Dessa forma, o SIG oferece um ambiente para armazenamento e recuperação de grande quantidade de informações, como as geográficas, provenientes de levantamentos topográficos ou por sensores espaciais, até dados estatísticos vindos de banco de dados meteorológicos e dados cadastrais.

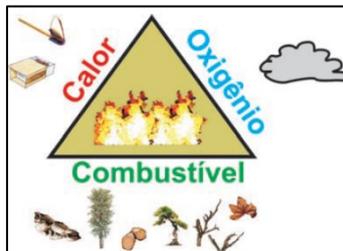
A elaboração de mapas de risco de incêndio, nos dias de hoje, é facilitada, pelo advento do SIG, devido à facilidade de introdução de dados, a rapidez no processamento e dinamismo do cruzamento das informações, assim se tornando uma ferramenta indispensável em estudos com este (FERREIRA, 2010).

3.4 CONCEITO DO FOGO

O fogo é o termo dado ao resultado do fenômeno químico da oxidação que ocorre rapidamente e com liberação calórica e luminosa, proveniente da combinação entre oxigênio, combustível e a fonte de calor (ICMBio, 2016). O fogo é formado pela ocorrência de três elementos, o oxigênio (comburente), o combustível e o calor. Este

processo é denominado de triângulo do fogo, conforme mostrado na Figura 1 (VENTURI, 2006).

Figura 1 - Esquema do triângulo do fogo



Fonte: ICMBio (2016).

Segundo Venturi (2006), o combustível é tudo aquilo que está sujeito a se incendiar, sendo responsável pela propagação do fogo como madeira, mato seco, ou outro tipo de material que possibilita iniciar o fogo. O comburente é toda substância que, ao entrar em contato com algum tipo de combustível, faz com que ocorra uma reação química chamada de combustão. O oxigênio, por si só, é o principal comburente pelo fato de provocar a oxidação, que é essencial para desencadear as chamas. O terceiro elemento é o calor, que é a existência de uma fonte de energia para que a combustão passe a se processar. O calor é a primeira etapa para que o oxigênio e o combustível entrem em ação.

3.5 FATORES QUE AFETAM O COMPORTAMENTO DO FOGO

Existe um conjunto de fatores que influenciam na propagação de um incêndio. Estes fatores são relacionados ao material combustível, a topografia do terreno, e a condições atmosféricas (meteorologia). A Figura 2 é chamada de triângulo do comportamento do fogo (ICMBio, 2016).

Figura 2 - Triângulo do comportamento do fogo formado pelos fatores



Fonte: ICMBio, 2016.

3.5.1 Combustível

Segundo o Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (2016), são combustíveis de incêndios, plantas e os restos vegetais presentes no solo. Existem vários fatores que devem ser levados para analisar a vegetação e sua influência no comportamento do fogo: umidade, tamanho, quantidade, relação superfície-volume, distribuição, continuidade, compactidade e composição da flora. Ou seja, fatores como a proximidade de solo exposto na beira das rodovias e uso e ocupação do solo.

- A quantidade, a continuidade, a relação superfície-volume, o arranjo espacial das plantas, agem em conjunto com a composição das espécies que são considerados componentes estruturais dos diferentes tipos de vegetação;
- A condição ou estado da vegetação, nada mais é que o teor de umidade presente nas plantas e nos restos vegetais;
- E a quantidade e a compactação, são os restos dos vegetais acumulados no solo.

3.5.2 Condições Atmosféricas

Os incêndios, de modo geral, são afetados pelas condições atmosféricas do local e pelas condições específicas do microclima, onde se encontra a vegetação (LIU, 2007). Os fatores utilizados no estudo são: precipitação e temperatura do ar.

- **Precipitação:** é a quantidade de precipitação líquida e a sua distribuição tem grande influência na intensidade de inflamação dos materiais. A quantidade de precipitação atinge a umidade do material combustível e também a temperatura e a umidade do ar;
- **Temperatura do ar:** de influência indireta na propagação e surgimento do fogo, afeta a umidade relativa que está intimamente ligada ao grau de inflamabilidade do combustível e ao comportamento do fogo. Uma pequena ligação entre temperatura do ar e o fogo deve-se levar em consideração a constituição do material combustível, o seu grau de secagem e ação dos ventos. Os combustíveis de diferentes constituições apresentam diferentes capacidades de armazenamento de água, quanto

mais água no combustível, mais complicada será sua combustão. A secagem do combustível é variável e depende da qualidade do material.

3.5.3 Topografia do Terreno

A topografia é a forma que o terreno tem sobre a superfície física terrestre. É de fácil entendimento prever as influências do fogo no terreno, observando as características de: configuração, exposição, altitude e inclinação, ou seja, os fatores analisados são: hipsométrico, declividade do terreno e orientação de vertentes (ICMBio, 2016).

- A configuração é o relevo, que tem um propósito importante sobre o microclima da região;
- A exposição é a posição do terreno em relação à radiação solar, que afeta o desenvolvimento da vegetação, tornando-as mais secas ou úmidas e sua condição como combustível;
- A altitude influencia no desenvolvimento das vegetações, em geral, as vegetações em baixas altitudes tendem a ter mais folhas contribuindo para o aumento de combustível;
- A inclinação é o fator mais importante da topografia do terreno, afetando diretamente na velocidade de propagação do fogo, ou seja, terrenos mais íngremes o fogo propaga com mais velocidade.

3.6 CONCEITOS DE INCÊNDIOS

O incêndio florestal foi definido como todo fogo sem controle que incide sobre qualquer forma de vegetação, podendo ser provocado tanto pela ação do homem (intencional ou negligência), como por causas naturais (ICMBio, 2016).

Ainda de acordo com o ICMBio (2016), os incêndios são classificados através do combustível afetado. Existem três tipos de incêndios: subterrâneo, de superfície e de copas. De modo geral, o incêndio subterrâneo afeta as raízes, turfas e outros que se encontram sob o solo, normalmente não têm chamas, a propagação é lenta, porém, é letal para a vegetação. O incêndio de superfície se propaga consumindo a vegetação

existente sobre o solo da floresta, devastando pastos e ervas. O incêndio de copa, por fim, se propaga por meio das copas das árvores, e apresenta um poder de destruição violento. O poder de destruição depende da umidade das folhas das árvores, quanto mais seco, maior é sua destruição.

3.6.1 Risco de Incêndio

Segundo Soho (1999) risco de incêndio é representado pela chance de um incêndio começar em função da ocorrência de agentes que possibilitem a ignição do fogo, e o perigo de incêndio é composto pelo risco de incêndio acrescido pelas variáveis climáticas, topográficas e condições dos materiais combustíveis.

O risco de incêndio é considerado a medida da probabilidade da ocorrência de incêndios em determinadas áreas em certo período específico de tempo (VETORAZZI, FERRAZ, 1998).

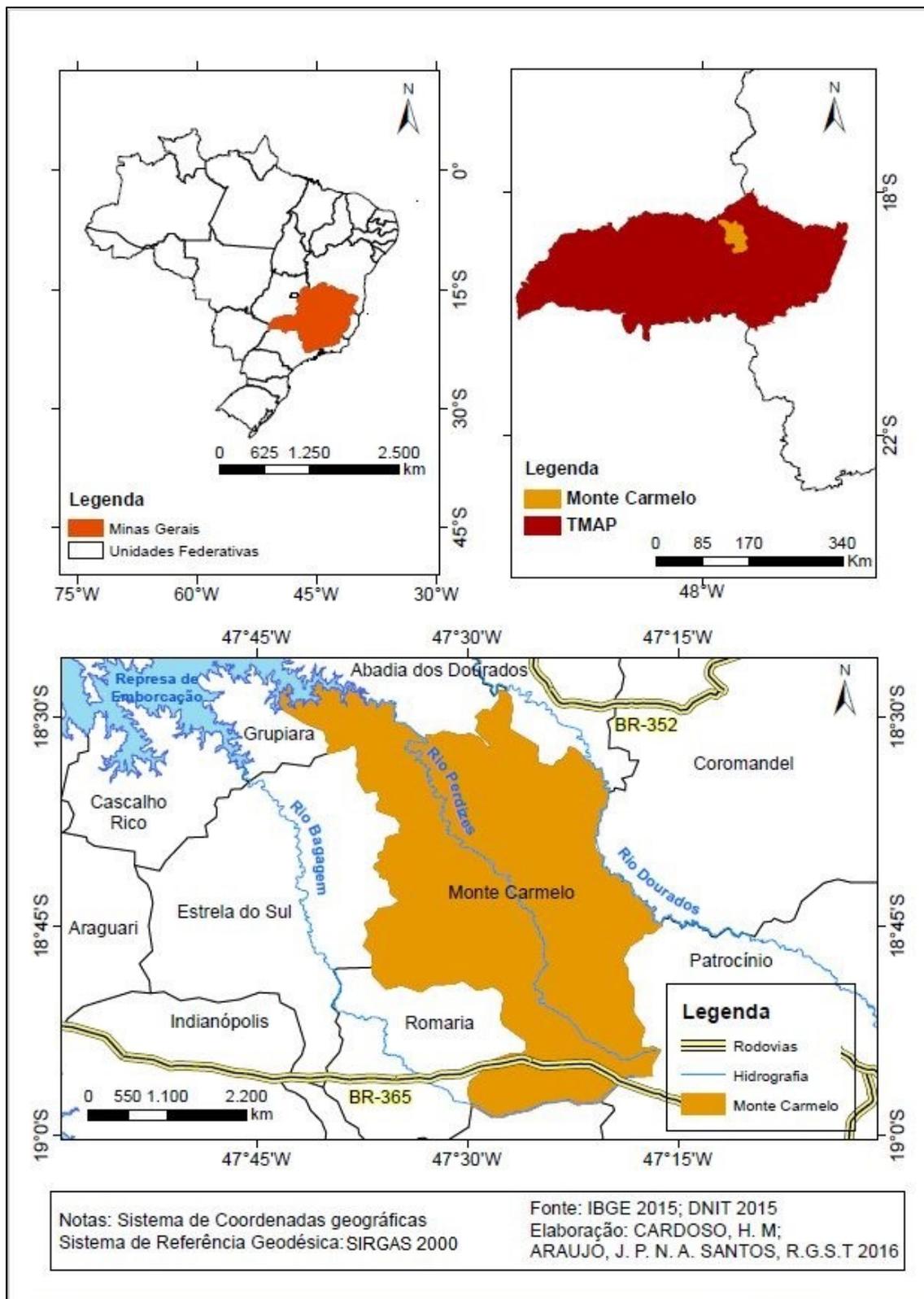
4 MATERIAL E PROCEDIMENTOS OPERACIONAIS

4.1 LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O estudo foi realizado no município de Monte Carmelo, no Estado de Minas Gerais, localizado na mesorregião do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba, microrregião de Patrocínio. O município tem, aproximadamente, 1.340 km², com uma população estimada em 48.100 habitantes, e está situado entre as coordenadas geográficas de 18° 32' Sul e 47° 45' Oeste, 19° 00' Sul e 47° 15' Oeste, e de altitude média 890 metros (IBGE, 2016).

O Mapa 1, mostra a localização do município de Monte Carmelo, as principais hidrografias, rodovias e municípios vizinhos.

Mapa 1 - Localização geográfica da área de estudo



Elaboração: O autor.

O município de Monte Carmelo tem sua cobertura vegetal nativa representada por espécies pertencentes ao bioma cerrado e a mata atlântica, clima tropical com

temperatura média entre 17°C e 23°C, relevo formado por planaltos, constituídos de morros e montes. Sua economia gira em torno das indústrias de cerâmica e do agronegócio, destacando a produção de leite e, principalmente, o café (CIDADE-BRASIL, 2016).

4.2 MATERIAL

Para a realização desta pesquisa foram utilizados os seguintes materiais:

- Imagem SRTM do projeto TOPODATA/INPE, baixada no *site* da INPE com resolução espacial de 30 metros, e de formato GEOTIFF, de 32 bits. A imagem está situada na carta SE-23-Y-A, folha 18S48_ZN, com sistema de coordenadas geográficas, Sistema Geodésico de Referência (WGS 84), unidade de altitude em metros e articulação compatível com a escala de 1:250 000;
- Imagem orbital do satélite *LandSat* 8, com resolução espacial com bandas multiespectrais de 30 metros, e de formato GEOTIFF, da data do dia 14 de julho de 2016. Baixada do *site* do INPE e disponibilizada gratuitamente;
- *Software ArcGis Desktop* 10.5, versão Estudantil, utilizado para o processamento dos dados e para a elaboração dos mapas (fatores);
- *Software Envi Classic* 5.0 utilizado para a classificação do mapa de uso e ocupação do solo (fator). Disponibilizado e licenciado para fins acadêmicos da Universidade Federal de Uberlândia, campus Monte Carmelo, no laboratório de SIG e Geoprocessamento (SIGEO);
- Arquivos vetoriais *shapefile* (limite municipal, estadual, nacional), disponibilizado pelo Departamento Nacional de Infraestruturas e Transportes - DNIT;
- Arquivos vetoriais *shapefile* (malha viária estadual e federal), baixados no *site* do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes - DNIT;
- Dados de precipitação, baixados no *site* da Agência Nacional das Águas (ANA), na plataforma HidroWeb, a partir das estações pluviométricas da mesma.

4.3 PROCEDIMENTOS OPERACIONAIS

Os procedimentos operacionais utilizados para o mapeamento de risco de incêndio foram delineados pelas pesquisas de Prudente (2015) e Santos, Louzada e Eugênio (2010) e adaptados para a área de estudo de Monte Carmelo.

O mapa hipsométrico foi gerado a partir da classificação do modelo digital de elevação (MDE) da imagem SRTM. Esta classificação destaca com cores os intervalos das altitudes do MDE. Em seguida, realizou-se a reclassificação através da ferramenta *Reclassify* do *software ArcMap*. A reclassificação permite atribuir coeficientes do nível de risco de incêndio do fator gerado. O coeficiente 1 é para o risco baixo, o coeficiente 2 é para o risco médio e o coeficiente 3 é para o risco alto. Dessa forma, o Quadro 1, mostra as classes originais expressas em metros, os níveis de risco de incêndio e os coeficientes do nível de risco de incêndio para o fator natural topográfico hipsométrico.

Quadro 1 - Classes originais, níveis de risco e os coeficientes do fator natural topográfico hipsométrico para a área de estudo

Classes (m)	Nível de Risco de Incêndio	Coeficiente
> 1000	Baixo	1
900 - 1000	Baixo	1
800 – 900	Médio	2
700 – 800	Médio	2
< 700	Alto	3

Fonte: Adaptado de Prudente (2015).

O mapa clinográfico foi elaborado através da imagem SRTM, por meio da ferramenta *Slope* do *software ArcMap*. Este processamento extrai a declividade contida no MDE, que em seguida, foi reclassificada. Dessa forma, o Quadro 2, mostra as classes originais expressas em porcentagem, os níveis de risco de incêndio e os coeficientes do nível de risco de incêndio para o fator natural topográfico declividade.

Quadro 2 - Classes originais, níveis de risco e os coeficientes do fator natural topográfico declividade para a área de estudo

Classes (%)	Relevo	Nível de Risco de Incêndio	Coeficiente
≤ 3	Plano	Baixo	1
3 – 8	Suave Ondulado	Baixo	1
8 – 12	Médio Ondulado	Médio	2
12 – 20	Ondulado	Médio	2
> 20	Forte Ondulado	Alto	3

Fonte: Adaptado de EMBRAPA (1979) apud CEIVAP (2017).

O mapa de orientação de vertentes foi elaborado através da imagem SRTM, por meio da ferramenta *Aspect*, do *software ArcMap*. Este processamento extrai as direções da superfície do terreno exposto, e em seguida, foi realizada a reclassificação. O Quadro 3, mostra as classes originais das direções do terreno, os níveis de risco de incêndio e os coeficientes do nível de risco de incêndio para o fator natural topográfico orientação de vertentes.

Quadro 3 - Classes originais, níveis de risco e os coeficientes do fator natural topográfico orientação de vertentes para a área de estudo

Classes	Nível de Risco de Incêndio	Coefficiente
Plano	Baixo	1
Sul	Baixo	1
Sudeste	Baixo	1
Sudoeste	Baixo	1
Leste	Médio	2
Oeste	Médio	2
Norte	Alto	3
Nordeste	Alto	3
Noroeste	Alto	3

Fonte: Adaptado de Prudente (2015).

Para elaborar o mapa de proximidade de rodovias, foi necessário utilizar as *shapefiles* das rodovias federais e estaduais da área de estudo. Foi realizado um *Buffer* de 50 metros das rodovias por meio da ferramenta *buffer*, do *software ArcMap*, e em seguida, foi realizada a reclassificação deste fator. Dessa forma, o Quadro 4, mostra as classes originais expressas em metros, os níveis de risco de incêndio e os coeficientes do nível de risco de incêndio para o fator de proximidade de rodovias.

Quadro 4 - Classes originais, níveis de risco e os coeficientes do fator de proximidade de rodovias para a área de estudo

Classes (m)	Nível de Risco de Incêndio	Coefficiente
≤ 50	Alto	3
> 50	Baixo	1

Fonte: Adaptado de Santos, Louzada e Eugênio (2010).

Para gerar o mapa de temperatura, foi utilizada a banda 11 pertencente ao instrumento imageador *Thermal Infrared Sensor* (TIRS) das imagens do *LandSat* 8. Para extrair a temperatura em graus Celsius da banda 11, foi necessário realizar algumas

conversões. A primeira conversão foi dos níveis de cinza da banda 11 em radiância espectral, por meio da Equação (1) (URGS, 2017).

$$L\lambda = M_L * Q_{cal} + A_L \quad (1)$$

Onde:

$L\lambda$ = Radiância espectral ($W/m^2*sr*\mu m$);

M_L = Fator multiplicativo de redimensionamento da banda (3,3420E-04);

Q_{cal} = Valor quantificado e calibrado do pixel em nível de cinza (DN);

A_L = Fator aditivo de redimensionamento da banda (0,1000).

Em seguida, foi convertida em temperatura em graus Celsius através da Equação (2).

$$T = K2 / \ln\left(\frac{K1}{L\lambda} + 1\right) - K \quad (2)$$

Onde:

T = Temperatura (Celsius);

$K1$ = Constante de calibração 1 (480,89);

$K2$ = Constante de calibração 2 (1201,14);

$L\lambda$ = Radiância espectral ($W/m^2*sr*\mu m$);

K = Constante da temperatura de Kelvin (273,15).

Os processamentos das conversões foram realizados por meio da calculadora Raster do *software ArcMap*. Assim, após as conversões foi obtido a temperatura em graus Celsius da banda 11, e foi gerado o mapa de temperatura. Com os valores da temperatura, foi realizado a reclassificação do mesmo. Dessa forma, o Quadro 5, mostra as classes originais expressas em graus Celsius, os níveis de risco de incêndio e os coeficientes do nível de risco de incêndio para o fator natural temperatura.

Quadro 5 - Classes originais, níveis de risco e os coeficientes do fator natural temperatura para a área de estudo

Classes (°C)	Nível de Risco de Incêndio	Coefficiente
≤ 23	Baixo	1
23 – 25	Baixo	1
25 – 27	Médio	2
27 – 29	Alto	3
> 29	Alto	3

Fonte: Adaptado de Santos, Louzada e Eugênio (2010).

O mapa de precipitação foi gerado a partir dos dados de precipitação das estações da ANA. Foi realizado a somatória total dos valores de precipitação entre os meses de janeiro a setembro, do ano de 2016. Foram utilizadas 11 estações pluviométricas ao entorno de Monte Carmelo, como mostra o Quadro 6.

Quadro 6 - Estações pluviométricas do entorno da área de estudo

Estação	Código da Estação	Quantidade de chuva (mm)
Abadia dos Dourados	1847003	611,2
Cascalho Rico	1847007	793,8
Charqueada de Patrocínio	1846002	588,1
Coromandel	1847008	830,5
Estrela do Sul	1847001	857,9
Guimarania	1846004	849,3
Iraí de Minas	1847010	1072,1
Monte Carmelo	1847000	705,4
Pantano	1846006	854,8
Ponte João Cândido	1947006	630,5
Três Ranchos	1847006	677,3

Fonte: HidroWeb/ANA.

Dessa forma, foram atribuídos os valores da precipitação na tabela de atributos das estações utilizadas, e em sequência, realizada a interpolação dos valores. O interpolador utilizado foi Inverso da Distância Ponderada (*IDW*), disponível pelo *software ArcGis*, por meio da ferramenta Interpolação, e assim gerado o mapa de precipitação. E, logo após, realizada a reclassificação de acordo com as informações da interpolação.

O Quadro 7, mostra as classes originais expressas em milímetros, os níveis de risco de incêndio e os coeficientes do nível de risco de incêndio para o fator natural precipitação.

Quadro 7 - Classes originais, níveis de risco e os coeficientes do fator natural precipitação para a área de estudo

Classes (mm)	Nível de Risco de Incêndio	Coeficiente
>1000	Baixo	1
900 – 1000	Baixo	1
800 - 900	Médio	2
700 – 800	Alto	3
< 700	Alto	3

Fonte: Adaptado de Prudente (2015).

O mapa de uso e ocupação do solo foi elaborado através da imagem orbital do *LandSat 8* com o auxílio do *software Envi Classic 5.0*. Neste programa, foram realizadas as composições das bandas e a classificação da imagem composta. A composição gerada foi no espectro do infravermelho, compondo a banda 5 no *Red*, a 4 no *Green* e a 3 no *Blue*, que resultou uma melhor visibilidade dos itens a serem classificados. A classificação foi realizada de modo supervisionado, onde são necessárias coletas de amostras, de pixel a pixel (pontual), da imagem. O classificador utilizado foi o *Maximum Likelihood* (Máxima Verossimilhança). O índice *Kappa* da classificação foi de 0,8440, um índice relativamente bom para este tipo de estudo.

As classes do Mapa de uso e ocupação foram divididas em cinco, sendo elas: Vegetação campestre e Pastagem (campo sujo e campo limpo); Vegetação Arbórea (mata de galeria, mata de encosta, cerrado); Agricultura (culturas diversificadas); Hidrografia (corpos d'água); e Área Urbana.

Após a classificação do uso e ocupação do solo utilizando o *software Envi*, foi necessário organizar as informações e reclassificar no *software ArcMap*. O Quadro 8, mostra as classes originais, os níveis de risco de incêndio e os coeficientes do nível de risco de incêndio para o fator do uso e ocupação do solo da área de estudo.

Quadro 8 - Classes originais, níveis de risco e os coeficientes do fator uso e ocupação do solo para a área de estudo

Classes Originais	Nível de Risco de Incêndio	Coeficiente
Vegetação Campestre e Pastagem	Alto	3
Vegetação Arbórea	Médio	2
Agricultura	Baixo	1
Hidrografia	Baixo	1
Área Urbana	Baixo	1

Fonte: Adaptado de Prudente (2015).

Posteriormente, foram adotados pesos para cada um dos fatores. O peso é o grau de importância para cada um dos fatores analisados, expressas em porcentagem numa escala até 100%.

O Quadro 9, mostra os fatores e pesos dos fatores analisados da área de estudo.

Quadro 9 - Fatores e pesos dos fatores analisados

Fatores	Pesos
Hipsometria	10
Declividade	10
Orientação De Vertente	10
Proximidade De Rodovias	20
Temperatura	15
Precipitação	15
Uso e Ocupação do Solo	20

Fonte: Adaptado de Santos, Louzada e Eugênio (2010).

Finalmente, de posse dos fatores reclassificados, foi desenvolvido o seguinte modelo matemático para elaborar o mapa de risco de incêndio para a área de estudo, como mostra a Equação (3):

$$RIF = ((USO*20) + (DEC*10) + (ROD*20) + (CHU*15) + (TEMP*15) + (HIPS*10) + (ORI*10)) / 100 \quad (3)$$

Onde:

RIF = Mapa de Risco de Incêndio;

USO = Risco de Incêndio para o mapa de uso e ocupação do solo;

DEC = Risco de Incêndio para o mapa clinográfico;

ROD = Risco de Incêndio para o mapa de proximidade de rodovias;

CHU = Risco de Incêndio para o mapa de precipitação;

TEMP = Risco de Incêndio para o mapa de temperatura;

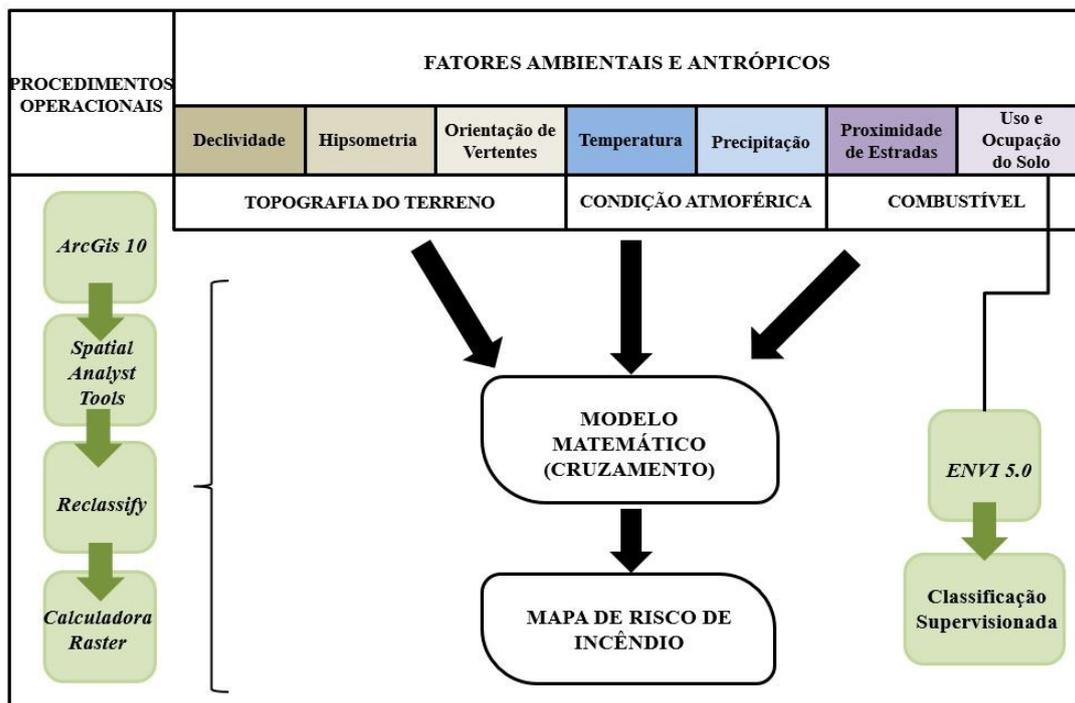
HIPS = Risco de Incêndio para o mapa hipsométrico;

ORIE = Risco de Incêndio para o mapa de orientação de vertentes.

Assim, para cruzar estes fatores, através do modelo apresentado, e gerar o mapa de risco de incêndio foi utilizado a ferramenta a calculadora raster disponível no *software ArcGis*. Esta ferramenta permitiu gerar o mapa, através do modelo matemático indicado.

A Figura 3, mostra de forma sintetizada, o fluxograma dos procedimentos operacionais realizados para a elaboração do mapa de risco de incêndio de Monte Carmelo-MG.

Figura 3 - Fluxograma dos procedimentos operacionais da elaboração do Mapa de Risco de Incêndio de Monte Carmelo-MG



Elaboração: O autor.

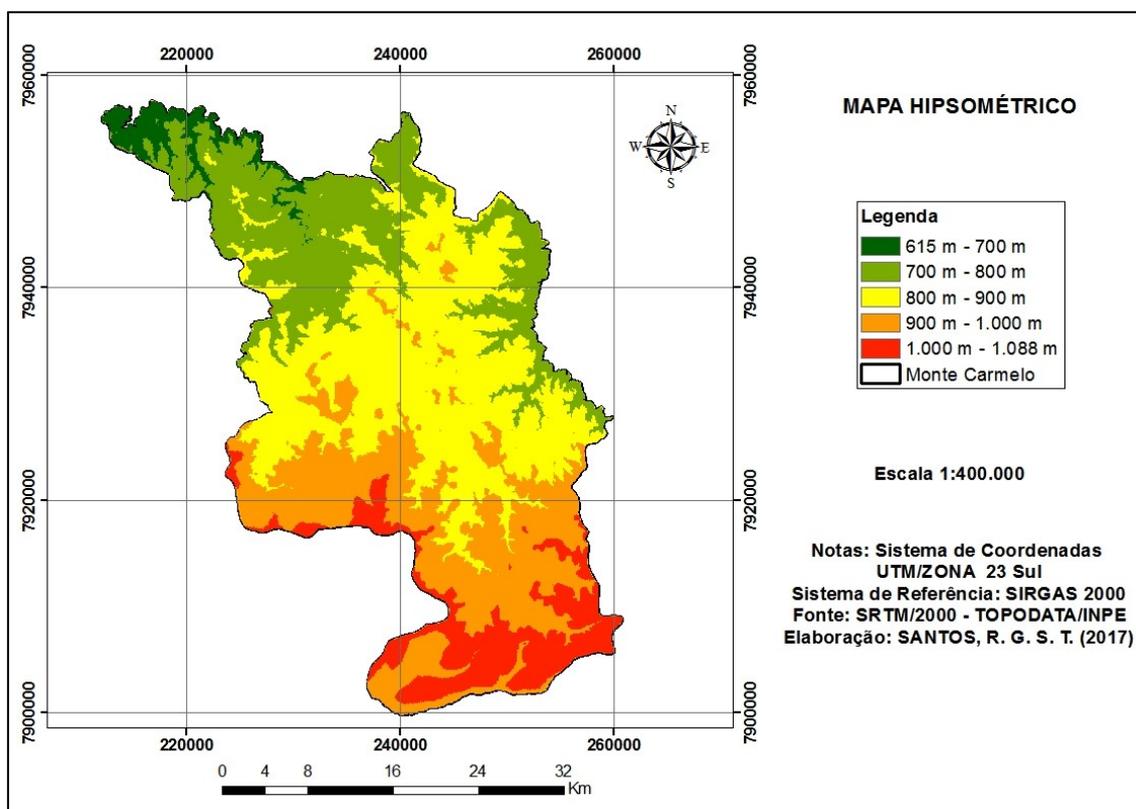
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 FATORES ANALISADOS PARA O RISCO DE INCÊNDIO

Primeiramente, os resultados obtidos foram os mapas temáticos associados aos fatores antrôpicos e naturais, analisados para o risco de incêndio.

A hipsometria do terreno é o primeiro fator natural topográfico analisado para o mapeamento de risco de incêndio de Monte Carmelo (Mapa 2).

Mapa 2 - Hipsometria do terreno de Monte Carmelo-MG

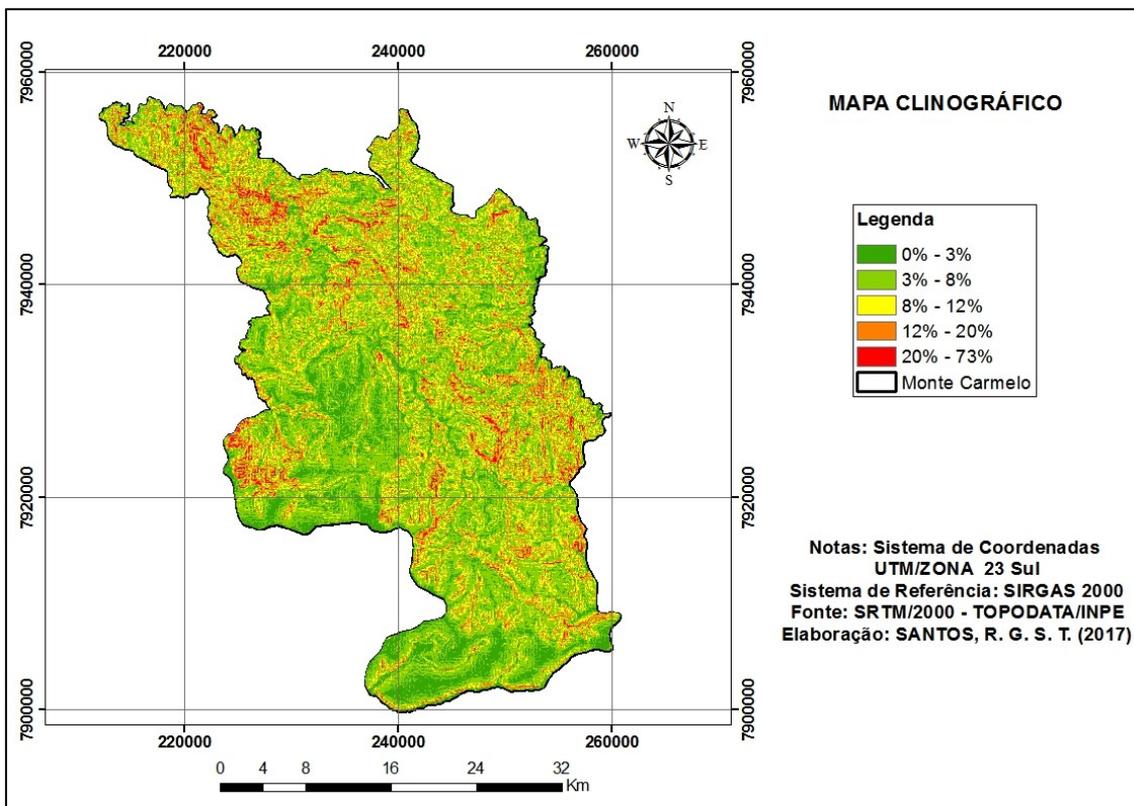


Elaboração: O autor.

O mapa hipsométrico representa a variação da altitude de Monte Carmelo, variando de 615 metros de altitude até 1.088 metros. É notável que as menores altitudes estão localizadas nas direções noroeste do mapa, e a maior altitude estão no extremo norte do município de Monte Carmelo.

A declividade do terreno, foi o segundo fator natural topográfico analisado para o mapeamento de risco de incêndio para a área de estudo (Mapa 3).

Mapa 3 - Declividade do terreno de Monte Carmelo-MG



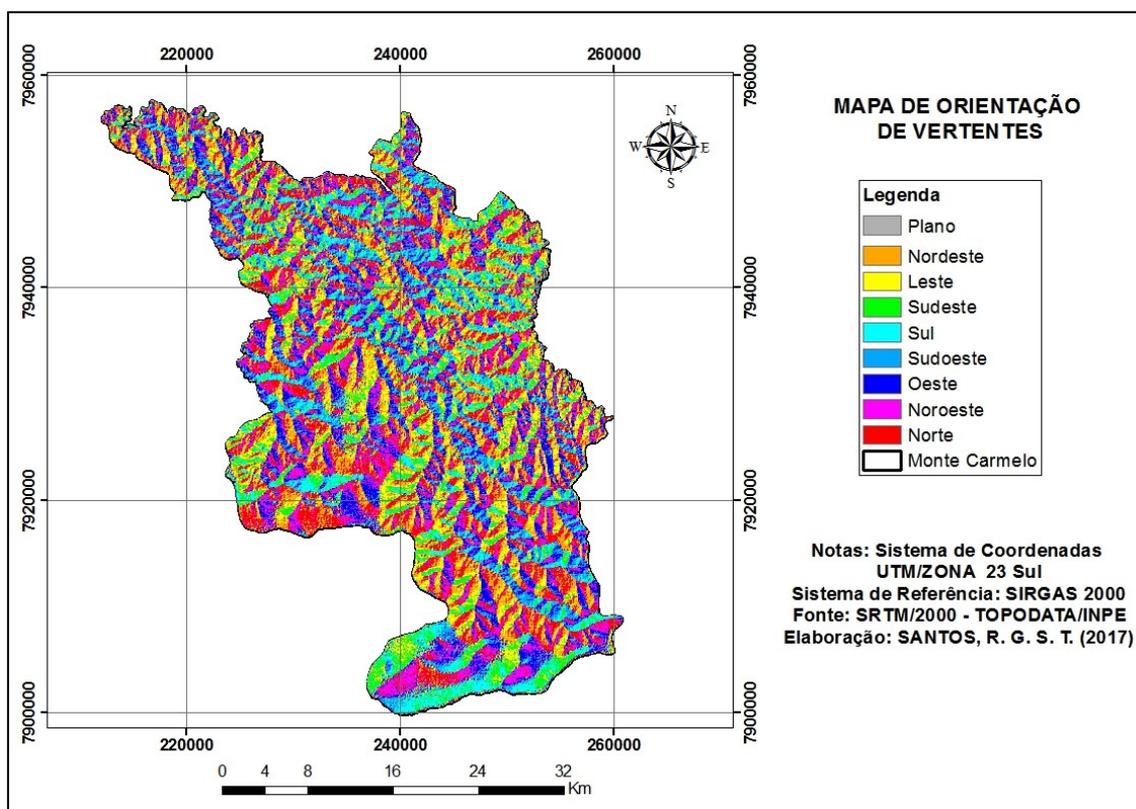
Elaboração: O autor.

O mapa clinográfico apresenta a declividade do terreno de Monte Carmelo, que varia de 0% até 73%. De acordo com a legenda deste mapa, as cores verdes representam a declividade de porcentagem mais baixa, e as cores avermelhadas a porcentagem mais alta.

É notável, que a declividade que se destaca na área de estudo é a declividade moderada, representada pela cor verde. E, uma pequena porção de área, de declividade elevada.

A orientação de vertentes do terreno foi o terceiro fator natural topográfico analisado para o mapeamento de risco de incêndio para a área de estudo (Mapa 4).

Mapa 4 - Orientação de vertente do terreno de Monte Carmelo-MG

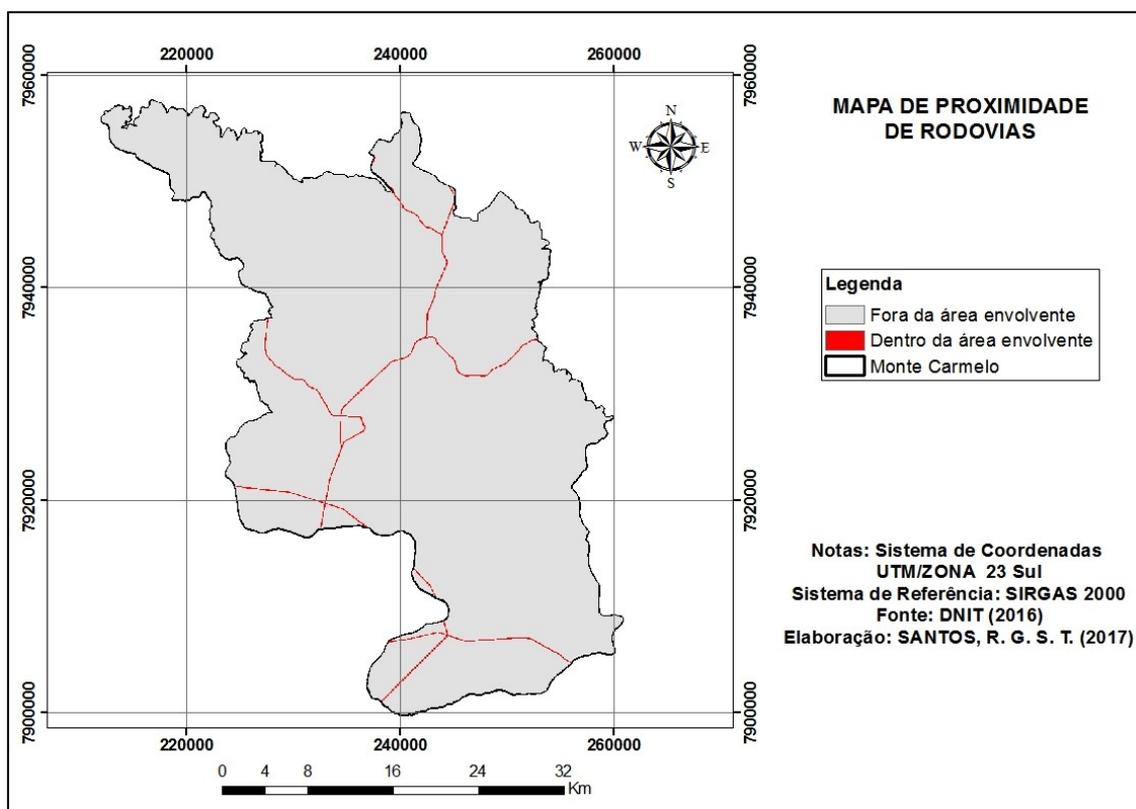


Elaboração: O autor.

O mapa de orientação de vertentes apresenta as direções para onde as vertentes do terreno, da área de estudo, estão inclinadas. A exposição das direções do terreno é essencial para este tipo de estudo, pois a incidência de raios solares no terreno deixa a superfície mais vulnerável ao risco de incêndio.

A proximidade de rodovia foi o quarto fator analisado para o mapeamento de risco de incêndio para a área de estudo (Mapa 5).

Mapa 5 - Proximidade de rodovias de Monte Carmelo-MG

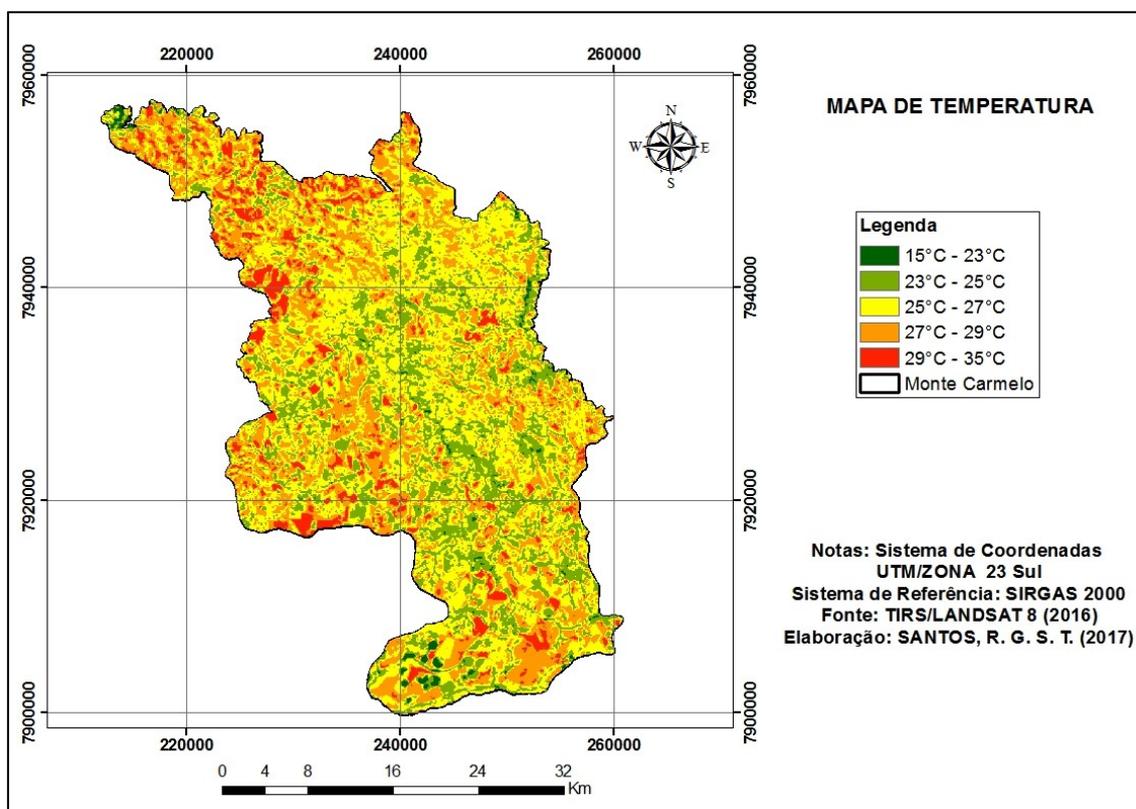


Elaboração: O autor.

O mapa de proximidade de rodovias, apresenta as principais rodovias que atravessam o município de Monte Carmelo. De acordo com a legenda, a cor cinza representa áreas que estão fora do risco de incêndio, e a cor vermelha as áreas que estão dentro do risco de incêndio envolvente. Sabe-se que grande parte dos incêndios começam por imprudência dos motoristas fumantes que jogam a ponta do cigarro aceso, e assim, este mapa é um dos principais fatores a ser analisado.

A temperatura foi o quinto fator analisado para o mapeamento de risco de incêndio da área de estudo (Mapa 6).

Mapa 6 - Temperatura de Monte Carmelo-MG

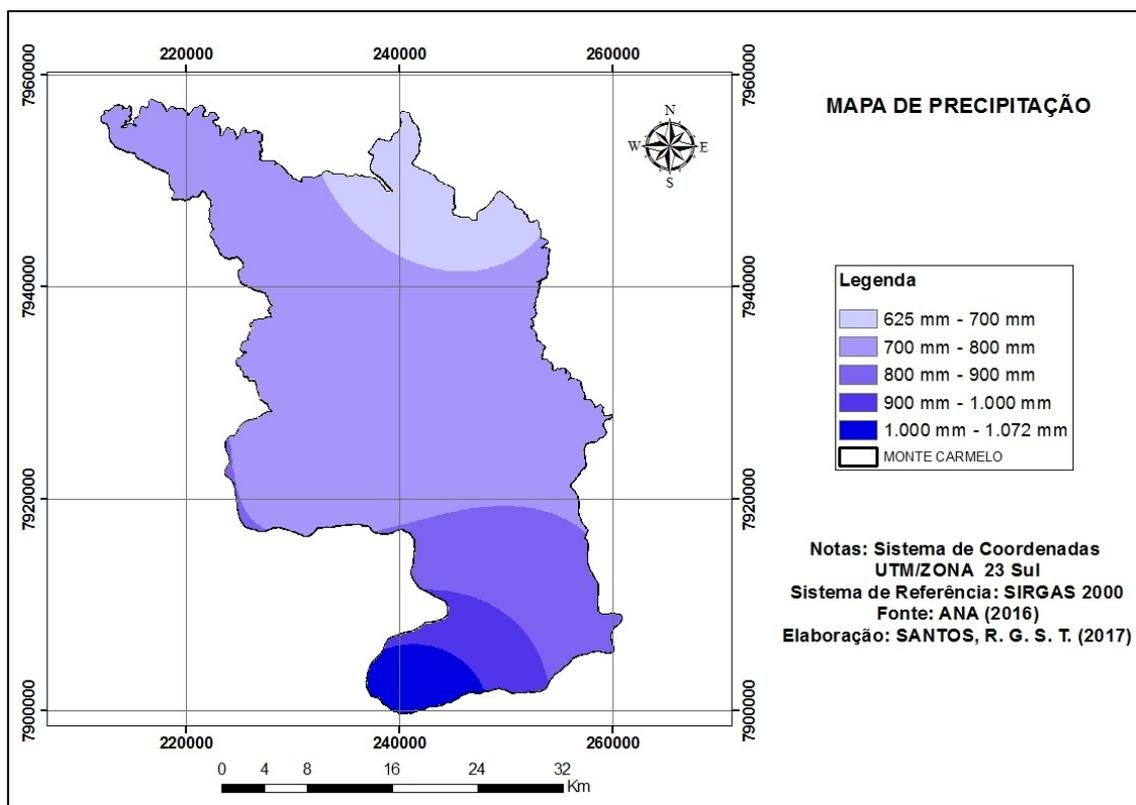


Elaboração: O autor.

O Mapa 6, apresenta a temperatura da área de estudo, no ano de 2016. A temperatura varia de 15 graus Celsius até 35 graus Celsius. Este mapa é um dos fatores primordiais para o estudo.

A precipitação foi o sexto fator analisado para o mapeamento de risco de incêndio da área de estudo (Mapa 7).

Mapa 7 – Precipitação de Monte Carmelo-MG

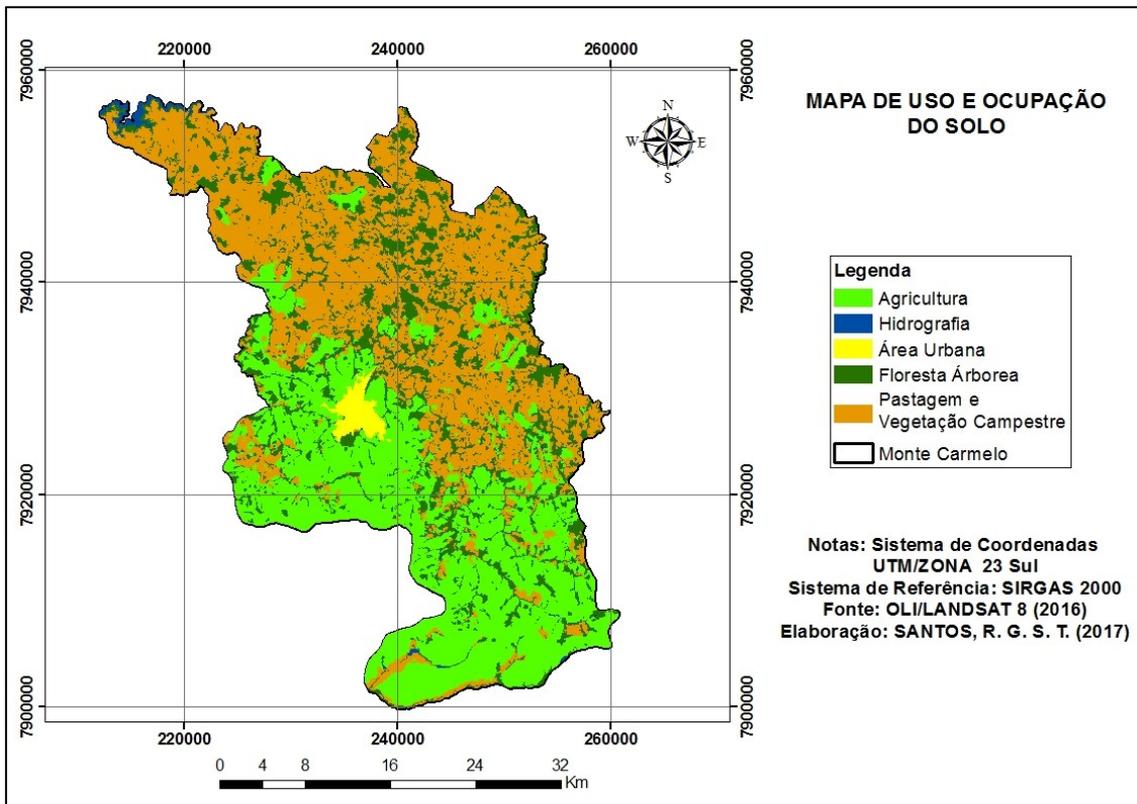


Elaboração: O autor.

O Mapa 7, apresenta a precipitação do município de Monte Carmelo. Este mapa trata-se da quantidade de chuva de janeiro a setembro de 2016. É notável que na extremidade sul do município a quantidade de chuva é maior do que no entorno da cidade.

O uso e ocupação do solo foi o sexto fator analisado para o mapeamento de risco de incêndio da área de estudo (Mapa 8).

Mapa 7 - Uso e ocupação do solo de Monte Carmelo-MG



Elaboração: O autor.

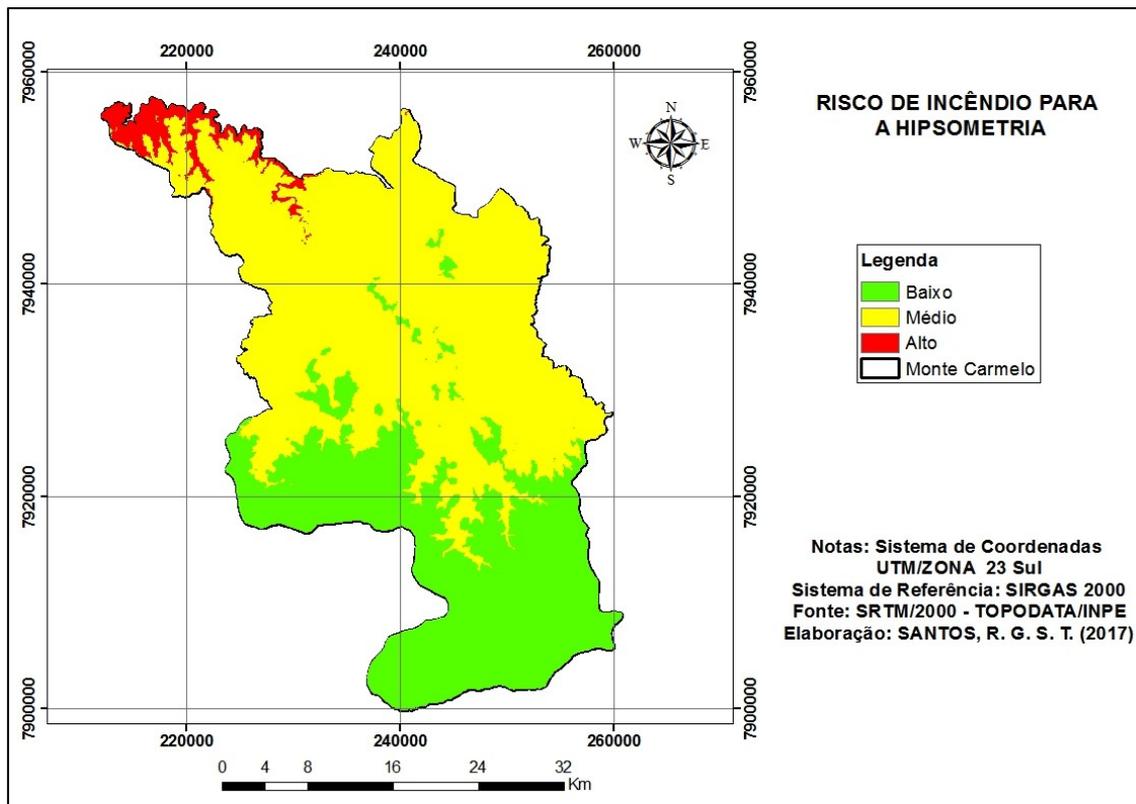
O Mapa 7, apresenta o uso e ocupação do solo do município de Monte Carmelo. Este mapa, demonstra o que está sendo ocupado e utilizado pelo homem no espaço geográfico do município e o que ainda existe de vegetação nativa.

5.2 RECLASSIFICAÇÃO DOS FATORES PARA O RISCO DE INCÊNDIO

Nesta etapa foram elaborados os mapas de risco de incêndio para cada um dos fatores analisados de acordo com a reclassificação, assim como os gráficos com os valores quantitativos da área, em hectares, dos níveis de risco de incêndio para cada um dos fatores analisados.

O Mapa 8 mostra o risco de incêndio para o fator hipsométrico, onde para as altitudes mais baixas, o nível de risco de incêndio é mais elevado, e para as altitudes mais altas, o nível de risco de incêndio é mais baixo. Isto é, quando a altitude é mais elevada a temperatura é mais baixa, proporcionando risco baixo de incêndio. É notável, apenas uma pequena porção de área tem o risco elevado para o incêndio, que está destacada em vermelho.

Mapa 8 - Risco de Incêndio para a hipsometria



Elaboração: O autor.

A Tabela 1, mostra a porcentagem das áreas dos níveis de risco de incêndio para o fator hipsométrico. Dessa forma, nota-se que apenas 3,21% tem o risco de incêndio alto, 60,67% tem o risco de incêndio médio e 36,12% tem o risco de incêndio baixo.

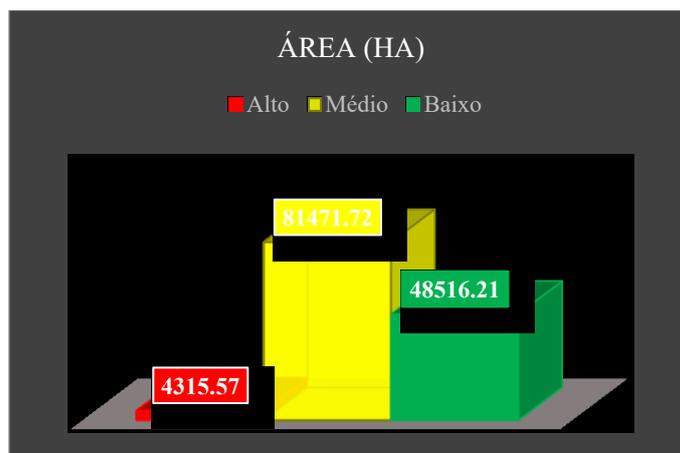
Tabela 1 - Porcentagem das áreas em relação ao risco de incêndio para a hipsometria

Nível de Risco de Incêndio	Área (%)
Alto	3,21
Médio	60,67
Baixo	36,12

Elaboração: O autor.

A Figura 4, apresenta as distribuições das áreas, em hectares, em relação ao risco de incêndio para a hipsometria. Percebe-se que, o risco baixo obteve 48516,21 hectares, o risco médio obteve 81471,72 hectares e o risco alto obteve 4315,57 hectares, em um total de 134303,50 hectares do município de Monte Carmelo.

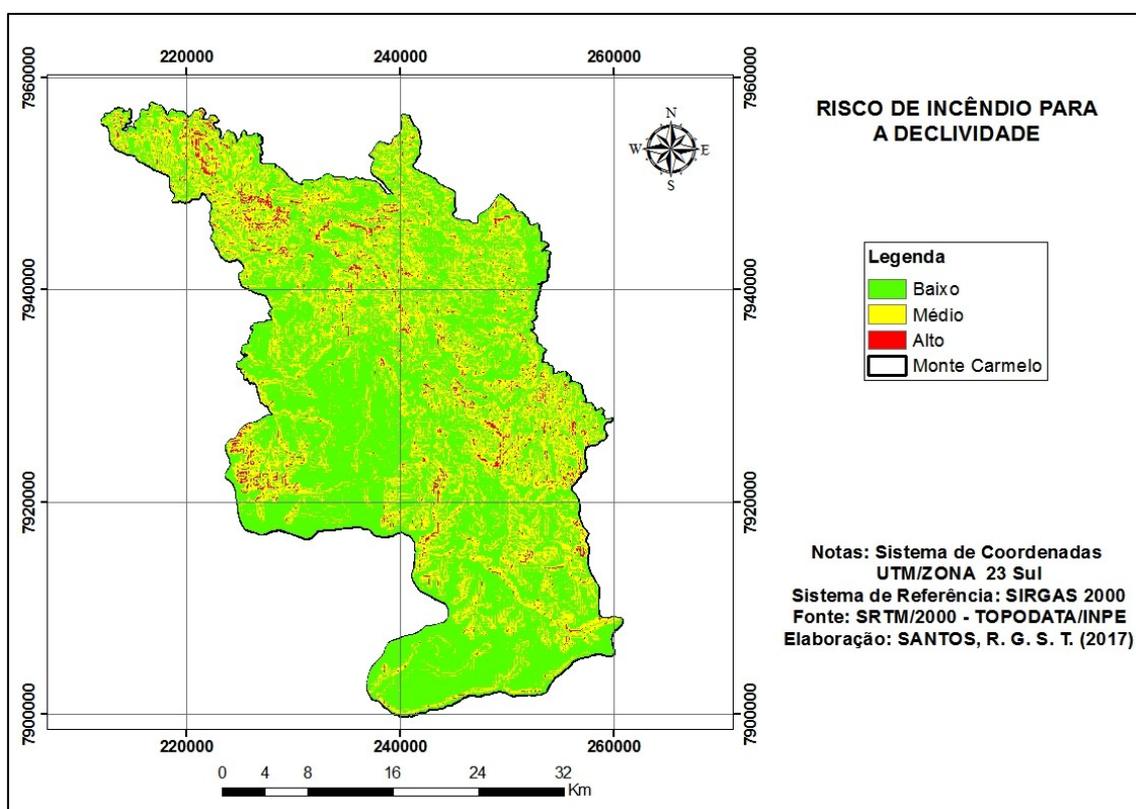
Figura 4 - Áreas dos níveis de risco de incêndio para o fator hipsométrico



Elaboração: O autor.

O Mapa 9, mostra o risco de incêndio para o fator clinográfico, onde o declive é menos íngreme, o risco de incêndio é mais baixo, e para o declive mais íngreme, o risco é mais elevado. Dessa forma, com a declividade mais íngreme o fogo se propaga com mais velocidade.

Mapa 9 - Risco de Incêndio para a declividade



Elaboração: O autor.

A Tabela 2, mostra a porcentagem das áreas dos níveis de risco de incêndio para o fator clinográfico. Dessa forma, nota-se que apenas 2,63% tem o risco de incêndio alto, 34,61% tem o risco de incêndio médio e 32,76% tem o risco de incêndio baixo.

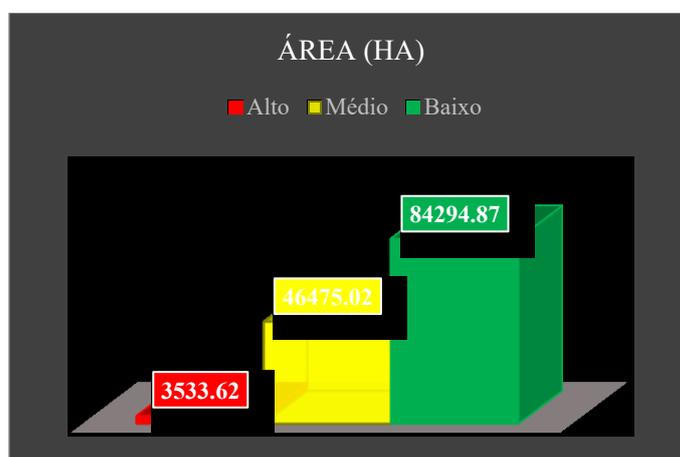
Tabela 2 - Porcentagem das áreas em relação ao risco de incêndio para a declividade

Nível de Risco de Incêndio	Área (%)
Alto	2,63
Médio	34,61
Baixo	62,76

Elaboração: O autor.

A Figura 5, apresenta as distribuições das áreas, em hectares, em relação ao risco de incêndio para a declividade. Percebe-se que, o risco baixo ocorreu em 84294,87 hectares, o risco médio obteve 46475,02 hectares e o risco alto obteve 3533,62 hectares, totalizando 134303,50 hectares, do município de Monte Carmelo.

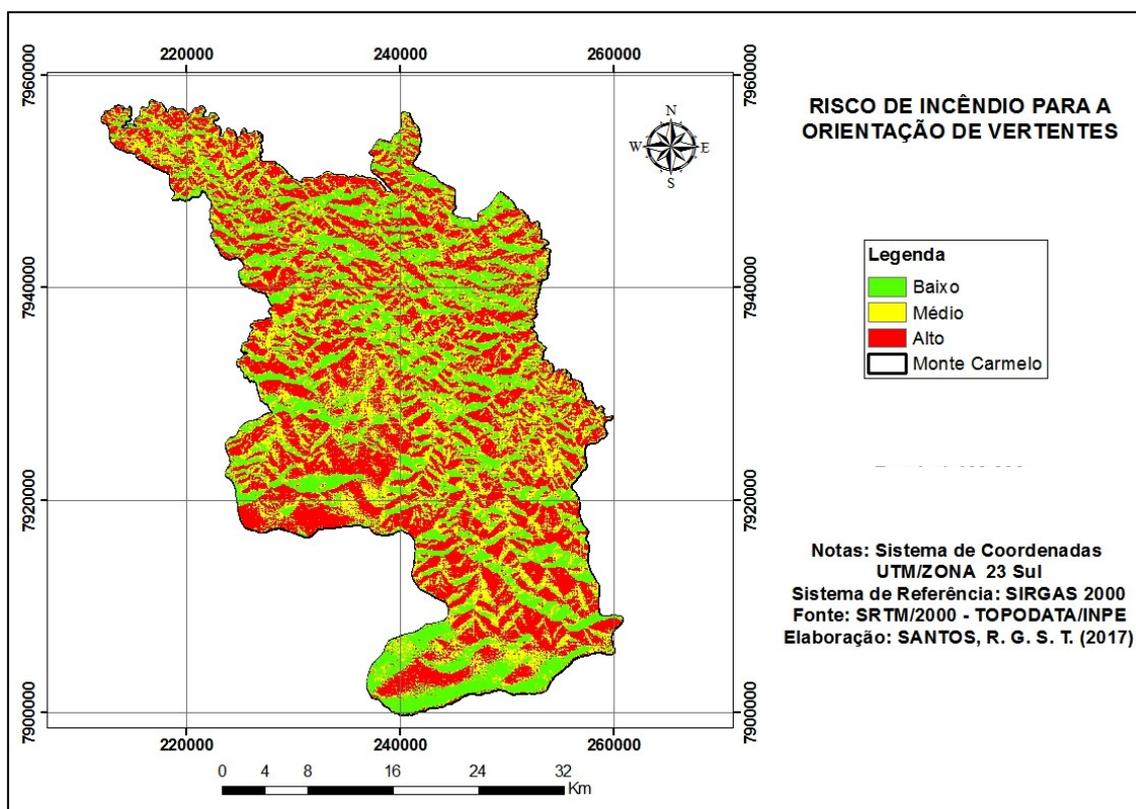
Figura 5 - Áreas dos níveis de risco de incêndio para o fator clinográfico



Elaboração: O autor.

O Mapa 10, apresenta o risco de incêndio para o fator orientação de vertentes, onde as direções de exposições Norte, Nordeste e Noroeste obtiveram os níveis de risco elevado, as direções de exposições Leste e Oeste obtiveram os níveis de risco médio e as direções de exposições Sul, Sudeste e Sudoeste obtiveram os níveis de risco baixo.

Mapa 10 - Risco de Incêndio para a orientação de vertentes



Elaboração: O autor.

A Tabela 3, mostra a porcentagem das áreas dos níveis de risco de incêndio para o fator orientação de vertentes. Dessa forma, nota-se que 43,68% tem o risco de incêndio alto, 26,48% tem o risco de incêndio médio e 29,84% tem o risco de incêndio baixo.

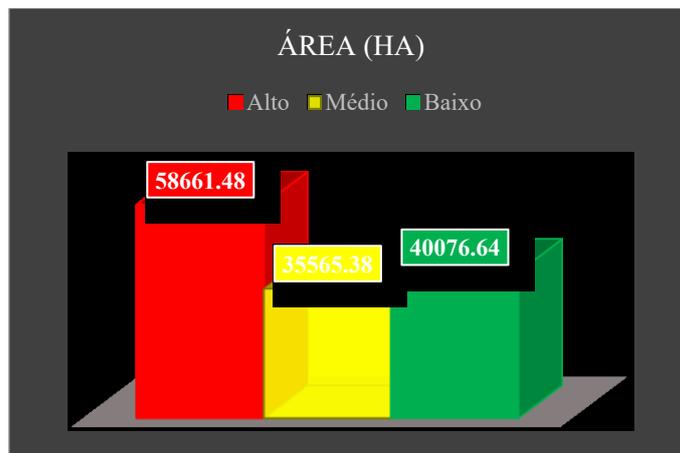
Tabela 3 - Porcentagem das áreas em relação ao risco de incêndio para a orientação de vertentes

Nível de Risco de Incêndio	Área (%)
Alto	43,68
Médio	26,48
Baixo	29,84

Elaboração: O autor.

A Figura 6, apresenta as distribuições das áreas em hectares em relação ao risco de incêndio para a orientação de vertentes. Percebe-se que, o risco baixo obteve 40076,64 hectares, o risco médio obteve 35565,38 hectares e o risco alto obteve 58661,48 hectares, em um total de 134303,50 hectares do município de Monte Carmelo.

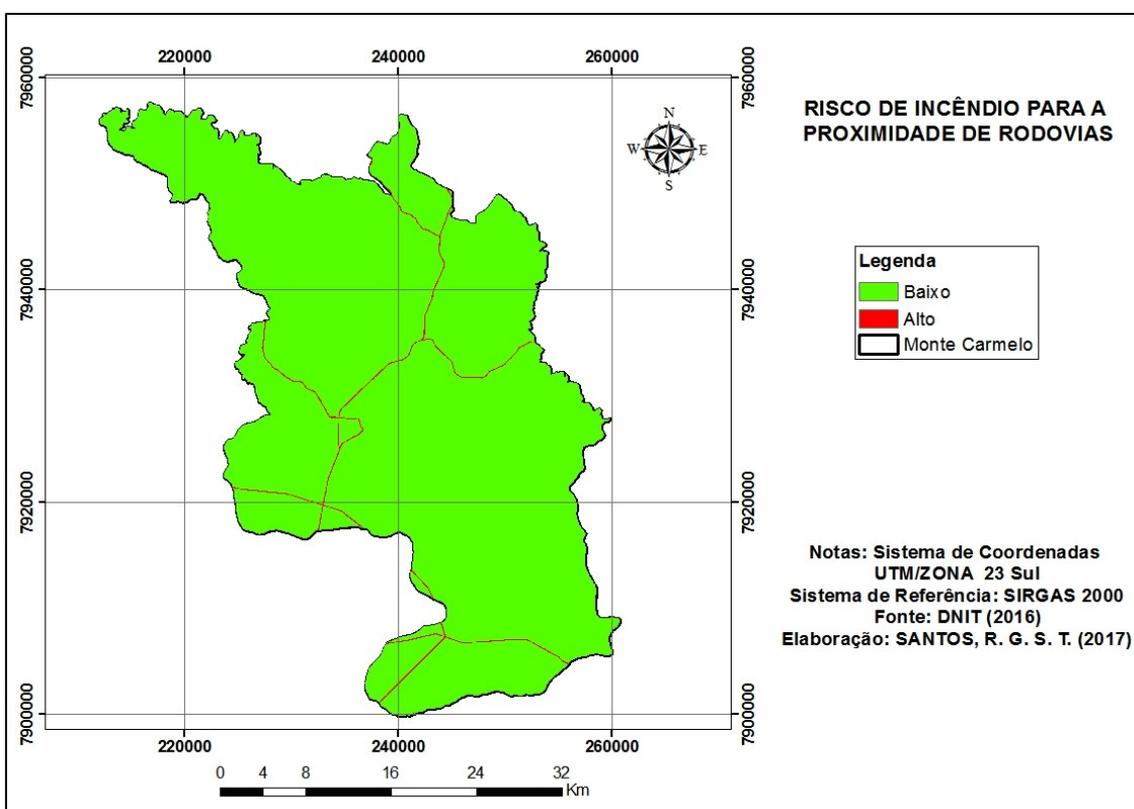
Figura 6 - Áreas dos níveis de risco de incêndio para o fator orientação de vertentes



Elaboração: O autor.

O Mapa 11, apresenta o risco de incêndio para o fator proximidade de rodovias. De acordo com o mapa, a cor vermelha representa um *buffer* de 50 metros da rodovia sinalizando que, dentro dessa área, o nível de risco de incêndio é elevado, e fora dessa área o risco de incêndio é baixo, indicada com a cor verde.

Mapa 11 - Risco de Incêndio para a proximidade de rodovias



Elaboração: O autor.

A Tabela 4, mostra a porcentagem das áreas dos níveis de risco de incêndio para o fator proximidade de rodovias. Dessa forma, nota-se que apenas 0,90% tem o risco de incêndio alto e, a maior parte da área de estudo (99,10%) tem risco de incêndio baixo.

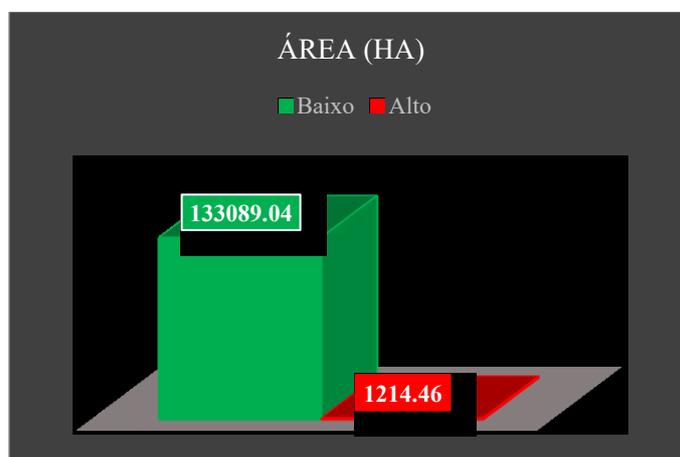
Tabela 4 - Porcentagem das áreas em relação ao risco de incêndio para a proximidade de rodovias

Nível de Risco de Incêndio	Área (%)
Alto	99,10
Baixo	0,90

Elaboração: O autor.

A Figura 7, apresenta as distribuições das áreas em hectares em relação ao risco de incêndio para a proximidade de rodovias. Percebe-se que, o risco baixo obteve apenas 1214,46 hectares e o risco alto obteve 133089,04 hectares, em um total de 134303,50 hectares do município de Monte Carmelo.

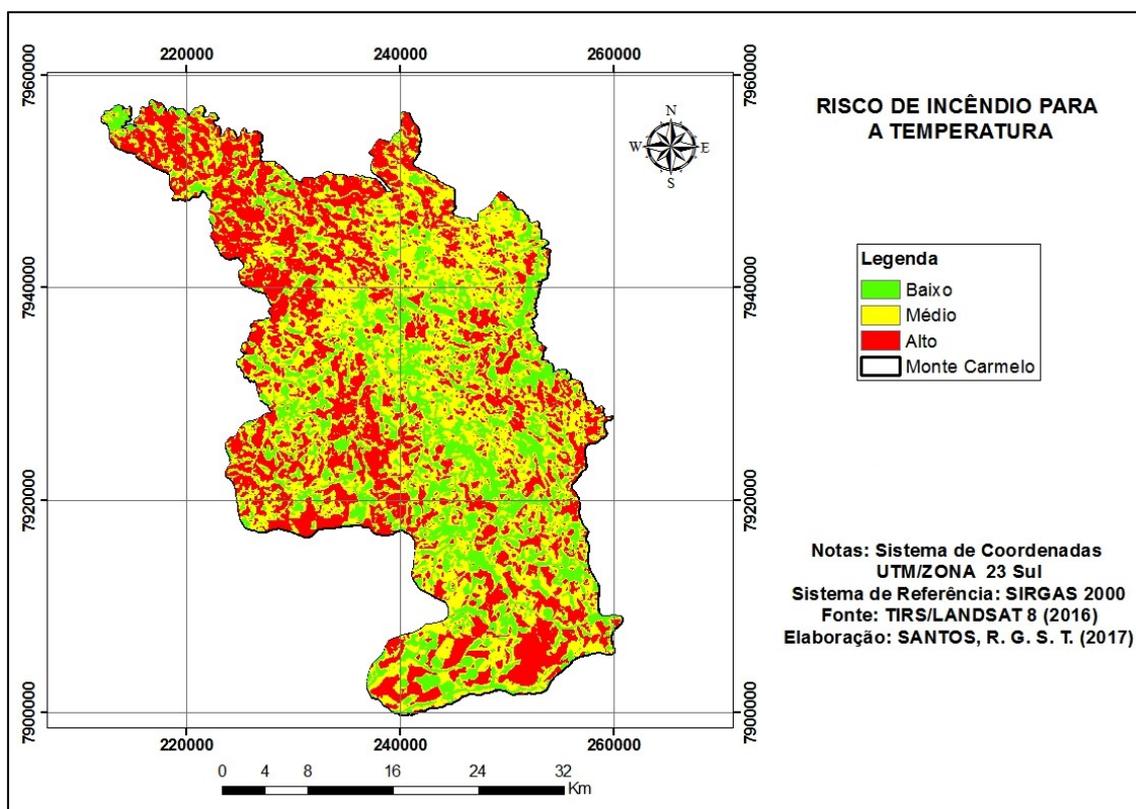
Figura 7 - Áreas dos níveis de risco de incêndio para o fator proximidade de rodovias



Elaboração: O autor.

O Mapa 12, apresenta a risco de incêndio para o fator temperatura, na área de estudo. De acordo com a legenda do mapa, as temperaturas mais elevadas estão destacadas com a cor vermelha.

Mapa 12 - Risco de Incêndio para a temperatura



Elaboração: O autor.

A Tabela 5, mostra a porcentagem das áreas dos níveis de risco de incêndio para o fator temperatura. Dessa forma, nota-se que 35,87% apresenta o risco de incêndio alto, 42,91% apresenta o risco de incêndio médio e 21,22% apresenta o risco de incêndio baixo.

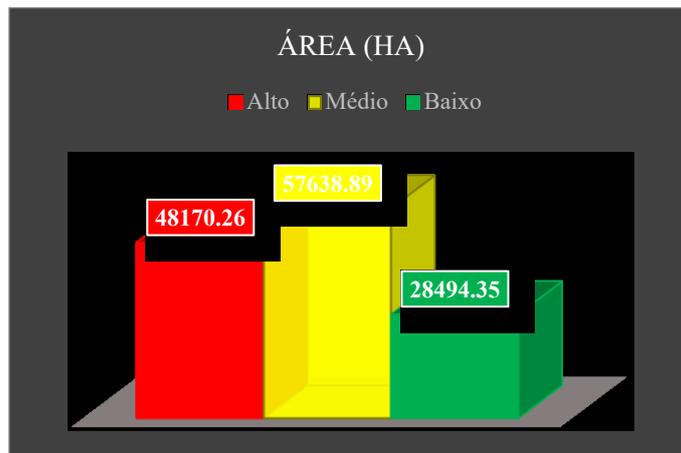
Tabela 5 - Porcentagem das áreas em relação ao risco de incêndio para a temperatura

Nível de Risco de Incêndio	Área (%)
Alto	35,87
Médio	42,91
Baixo	21,22

Elaboração: O autor.

A Figura 8, apresenta as distribuições das áreas em hectares em relação ao risco de incêndio para a temperatura. Percebe-se que, o risco baixo obteve 28494,35 hectares, o risco médio obteve 57638,89 hectares e o risco alto obteve 48170,26 hectares, em um total de 134303,50 hectares do município de Monte Carmelo.

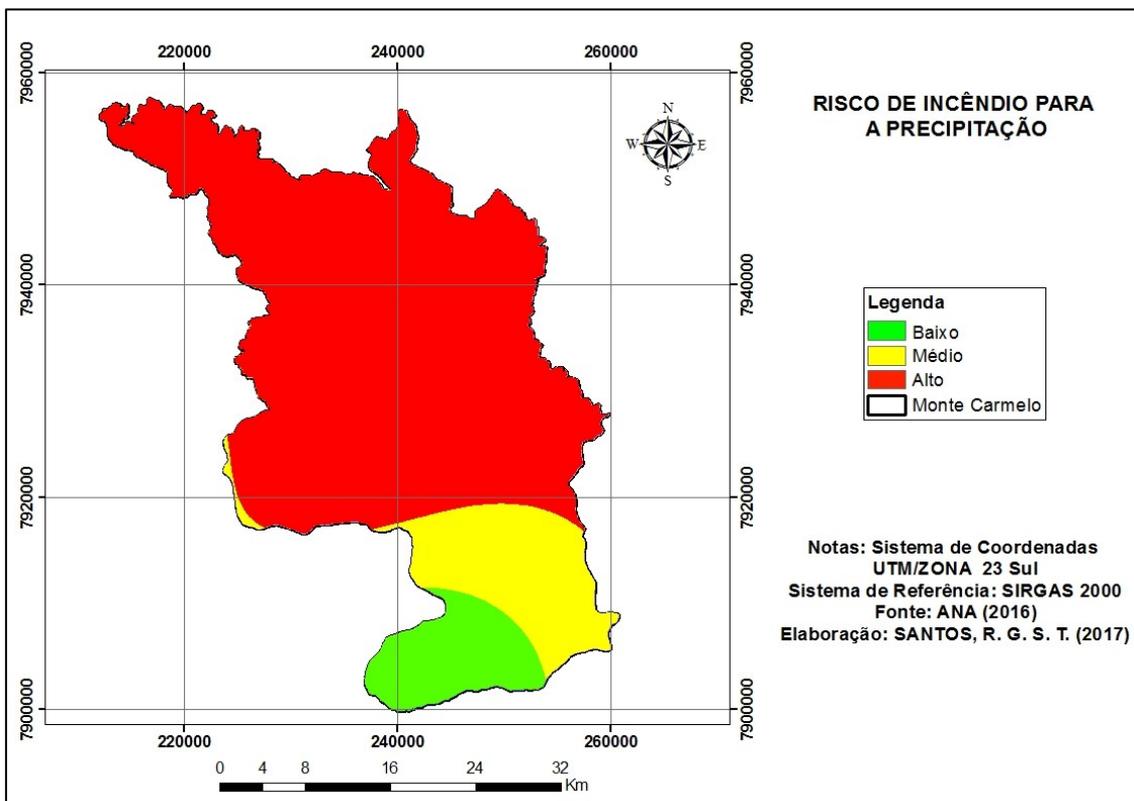
Figura 8 - Áreas dos níveis de risco de incêndio para o fator temperatura



Elaboração: O autor.

O Mapa 13, apresenta o risco de incêndio para o fator precipitação. De acordo com a legenda do mapa, a cor em vermelho destaca as áreas com maior risco, ou seja, alto risco de incêndio no município.

Mapa 13 - Risco de Incêndio para a precipitação



Elaboração: O autor.

A Tabela 6, mostra a porcentagem das áreas dos níveis de risco de incêndio para o fator precipitação. Dessa forma, nota-se que 77,48% apresenta o risco de incêndio alto, 13,76% apresenta o risco de incêndio médio e 8,76% apresenta o risco de incêndio baixo.

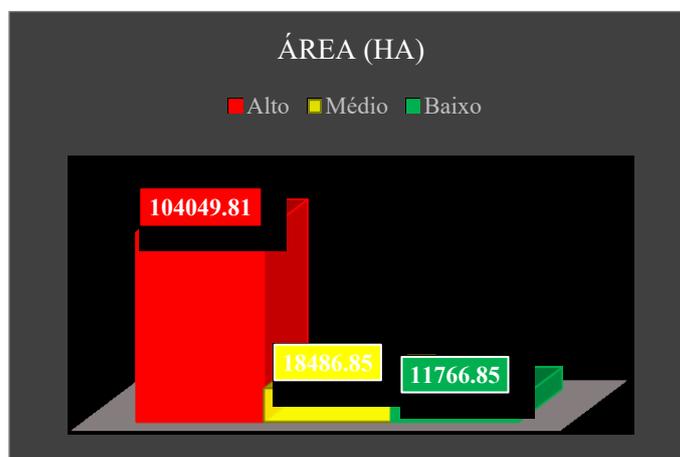
Tabela 6 - Porcentagem das áreas em relação ao risco de incêndio para a precipitação

Nível de Risco de Incêndio	Área (%)
Alto	77,48
Médio	13,76
Baixo	8,76

Elaboração: O autor.

A Figura 9, apresenta as distribuições das áreas em hectares em relação ao risco de incêndio para a precipitação. Percebe-se que, o risco baixo obteve 104049,80 hectares, o risco médio obteve 18486,85 hectares e o risco alto obteve 11766,85 hectares, em um total de 134303,50 hectares do município de Monte Carmelo.

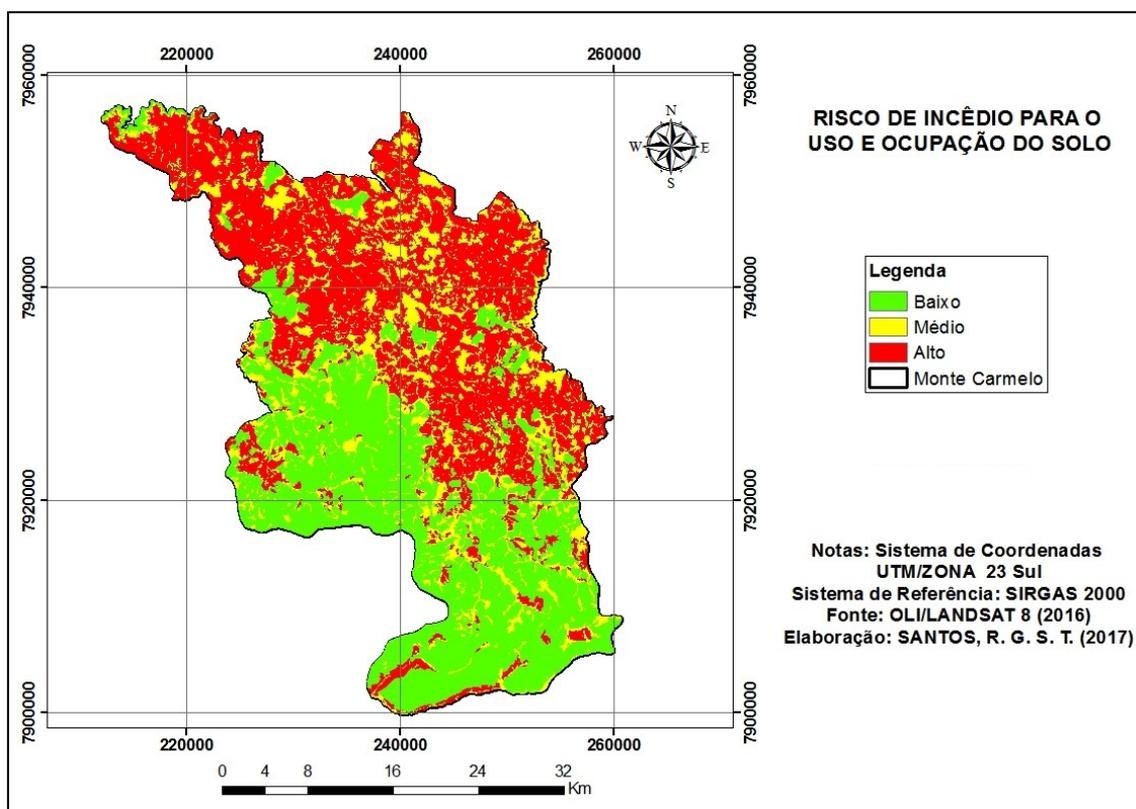
Figura 9 - Áreas dos níveis de risco de incêndio para o fator precipitação



Elaboração: O autor.

O Mapa 14, apresenta o risco de incêndio para o fator de uso e ocupação do solo. De acordo com o mapa, nota-se que a maior parte da área de estudo apresenta o nível de risco de incêndio elevado, devido a presença de vegetação campestre e pastagem.

Mapa 14 - Risco de Incêndio para o uso e ocupação do solo



Elaboração: O autor.

A Tabela 7, mostra a porcentagem das áreas dos níveis de risco de incêndio para o fator de uso e ocupação do solo. Dessa forma, nota-se que 41,56% apresenta o risco de incêndio alto, 19,68% apresenta o risco de incêndio médio e 38,75% apresenta o risco de incêndio baixo.

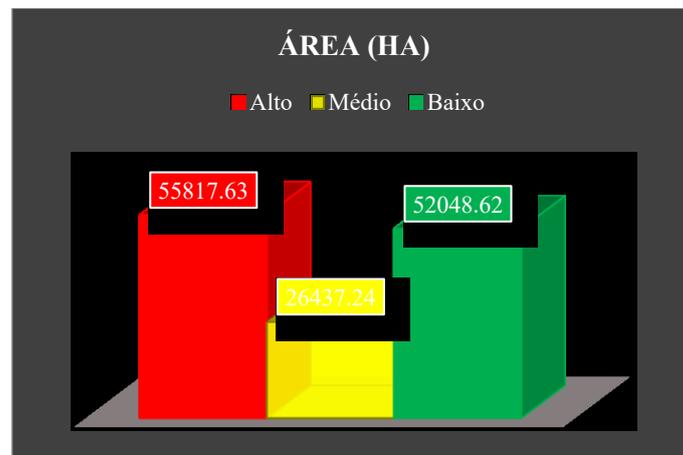
Tabela 7 - Porcentagem das áreas em relação ao risco de incêndio para o uso e ocupação do solo

Nível de Risco de Incêndio	Área (%)
Alto	41,56
Médio	19,68
Baixo	38,75

Elaboração: O autor.

A Figura 10, apresenta as distribuições das áreas em hectares em relação ao risco de incêndio para o uso e ocupação do solo. Percebe-se que, o risco baixo obteve 52048,62 hectares, o risco médio obteve 26437,24 hectares e o risco alto obteve 55817,63 hectares, em um total de 134303,50 hectares do município de Monte Carmelo.

Figura 10 - Áreas dos níveis de risco de incêndio para o fator uso e ocupação do solo

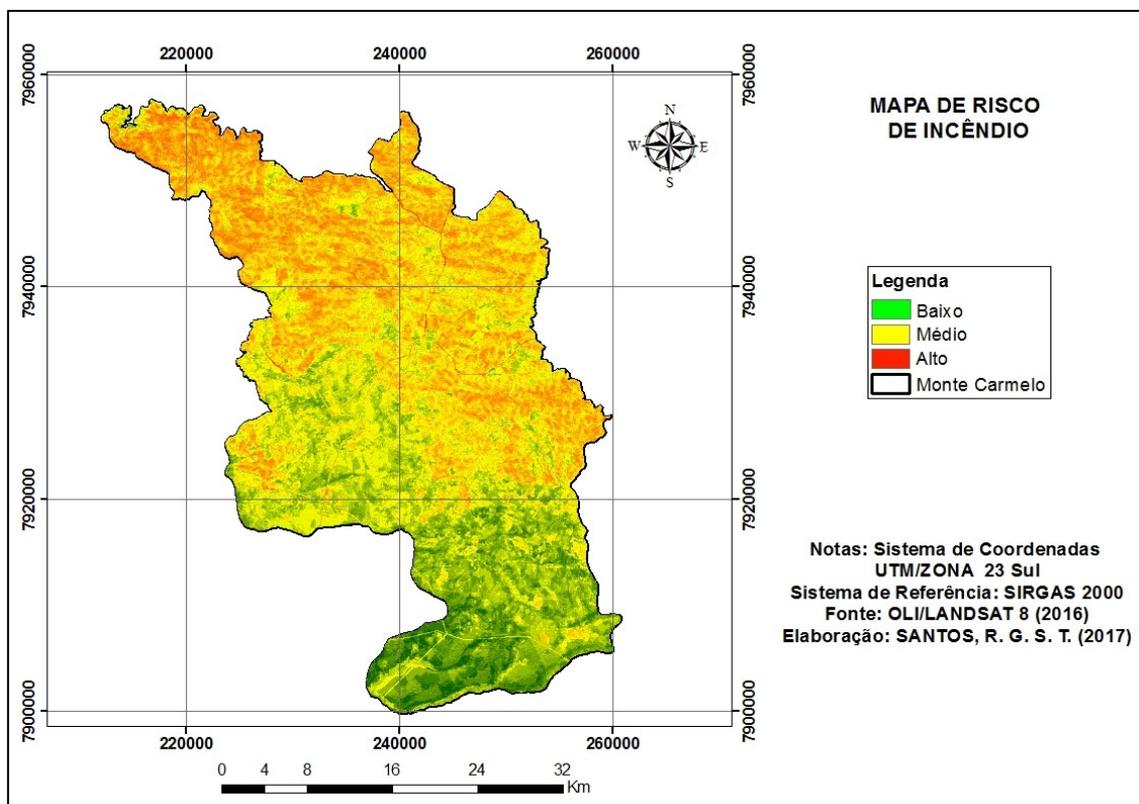


Elaboração: O autor.

5.3 RISCO DE INCÊNDIO

E finalmente, foi elaborado o Mapa 15, que apresenta o risco de incêndio do município de Monte Carmelo-MG, a partir do conjunto dos fatores analisados.

Mapa 15 - Risco de Incêndio para Monte Carmelo-MG



Elaboração: O autor.

A Tabela 8, mostra a porcentagem das áreas dos níveis de risco de incêndio para o município de Monte Carmelo-MG. Dessa forma, nota-se que apenas 0,04% apresenta o risco de incêndio alto, 69,33% apresenta o risco de incêndio médio e 30,63% apresenta o risco de incêndio baixo.

Tabela 8 – Porcentagem das áreas de risco de incêndio de Monte Carmelo-MG

Nível de Risco de Incêndio	Área (%)
Alto	0,04
Médio	69,33
Baixo	30,63

Elaboração: O autor.

A Figura 11, apresenta as distribuições das áreas em hectares em relação ao risco de incêndio para o município de Monte Carmelo-MG. Percebe-se que, o risco baixo obteve 41131,91 hectares, o risco médio obteve 93105,06 hectares e o risco alto obteve 66,53 hectares, em um total de 134303,50 hectares da área de estudo.

Figura 11 - Áreas de risco de incêndio de Monte Carmelo-MG



Elaboração: O autor.

A partir das informações geradas, o nível médio de risco de incêndio predomina em grande parte do mapa (69,33%), ou seja, em 93111,22 hectares. O nível alto de risco de incêndio ocorre em pequena parte, 60,37 hectares (0,04%).

As áreas de maior risco de incêndio possuem: vegetações do tipo campestre (típica do bioma Cerrado); temperaturas superiores a 27°C; incidência de chuva inferior

a 800 mm; declividade superior a 20 %; orientação de vertentes nas direções norte, nordeste e noroeste; e próximas a rodovias.

As áreas de médio risco de incêndio possuem: altitudes variando entre 700 m e 900 m; declividade entre 8% e 20 %; orientação de vertentes nas direções leste e oeste; temperatura entre 25°C e 27°C; incidência de chuva entre 800 mm e 900 mm; e são ocupadas com a categoria de uso da terra vegetação arbórea.

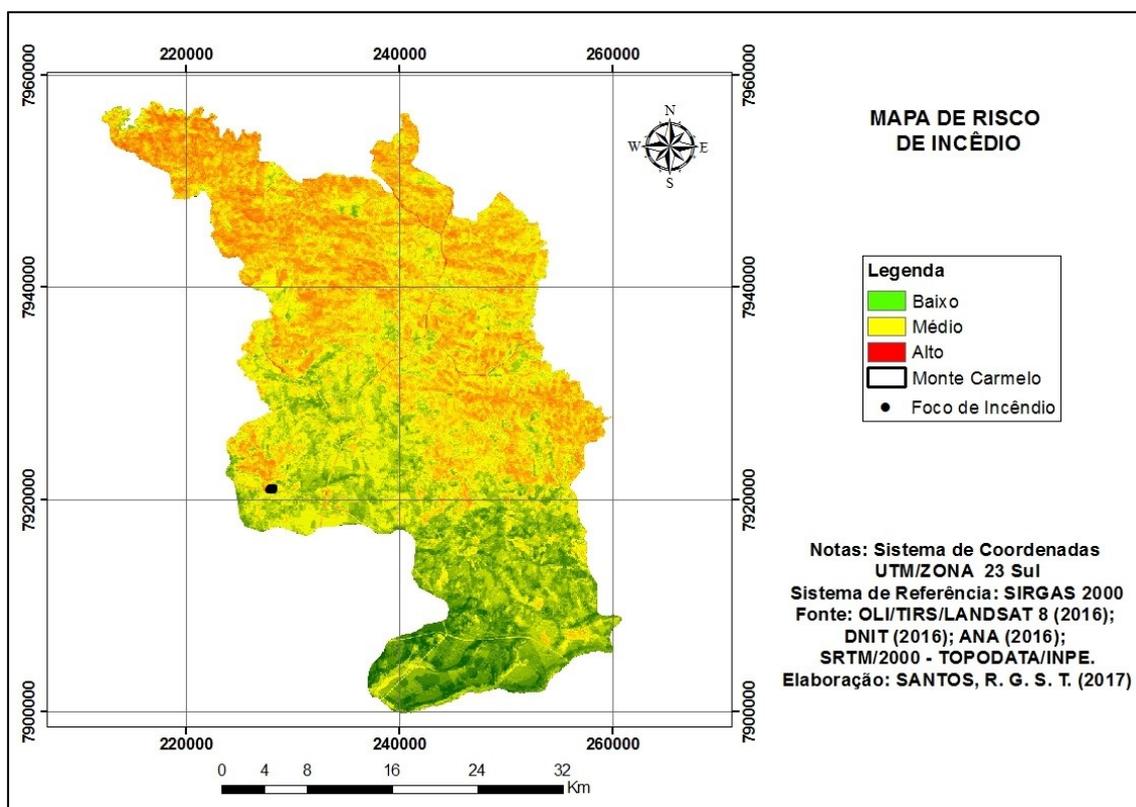
As áreas de baixo risco de incêndio possuem: altitudes superiores a 900 m; declividades inferiores a 8%; orientação de vertentes nas direções sul, sudeste e sudoeste; temperatura inferiores a 25°C; incidência de chuva superiores a 900 mm; e são ocupadas com a categoria de uso da terra como agricultura, área urbana e hidrografia.

5.4 FOCO DE OCORRÊNCIA DE INCÊNDIO

Um dos objetivos do estudo foi identificar focos de ocorrência de incêndio da área de estudo. A Polícia Militar do Meio Ambiente, disponibilizou o único boletim ocorrência registrado em um período de 6 anos, pela unidade. A ocorrência relatada foi do mês de abril de 2016, e conforme o boletim de ocorrência, o incêndio foi criminoso, ou seja, causa antrópica. O boletim relata que o proprietário realizou uma queimada de forma controlada, atingindo uma área de 2500 m², dentro da faixa de domínio da rodovia MG-223, destruindo a vegetação campestre do local. O boletim também relata, que o proprietário não possuía nenhuma autorização do órgão ambiental responsável para realizar a queimada.

O Mapa 16, apresenta o mapa de risco de incêndio e o foco da ocorrência de coordenadas Universal Transversa de Mercator (UTM) N = 7920932,974 m e E = 227887,015 m. O foco está localizado sobre área de risco médio de incêndio e próximo a área de risco elevado de incêndio, o que torna esta ocorrência um pouco preocupante.

Mapa 16 - Foco de incêndio



Elaboração: O autor.

6 CONCLUSÃO

A elaboração do mapeamento de risco de incêndio no município de Monte Carmelo-MG, teve como resultado final, um produto cartográfico, sendo assim, utilizado para realizar uma análise espacial e temporal do risco de incêndio.

Esta pesquisa teve como objetivo identificar e mensurar fatores naturais e antrópicos relevantes para elaboração do mapa de risco de incêndio do município, sendo assim analisados sete fatores: altitude, declividade, orientação de vertentes, proximidade de rodovias, temperatura, precipitação e uso e ocupação do solo. Após analisados, foram reclassificados, e por meio da ferramenta de tomada de decisão, foi gerado o mapa de risco de incêndio.

É importante destacar, que a maioria dos dados utilizados nesta pesquisa são derivados do sensoriamento remoto, fornecendo uma visão sinóptica (de conjunto) e multitemporal (dinâmica) de grandes porções da superfície terrestre.

Para a elaboração dos mapas intermediários e final, foram utilizadas imagens de satélites (*Landsat 8* e *SRTM*), *softwares* de processamentos de imagens (*Envi Classic*

5.0) e SIG (*ArcMap* 10.5). Estes itens, foram de grande valia para a análise do risco de incêndio para a área de estudo, tornando o manejo dos fatores mais fáceis.

De acordo com o mapa final de risco de incêndios, o município de Monte Carmelo-MG possui 0,04% de áreas com risco alto de incêndio, 69,33% de risco médio de incêndio e 30,63% de risco baixo de incêndio. E um foco de ocorrência de incêndio registrados pelo Policia Militar do Meio Ambiente, localizado na área de médio risco de incêndio e próximo ao alto risco de incêndio.

Em relação as informações analisadas do município, foram consideradas vulneráveis e suscetíveis ao fogo áreas que apresentam características em decorrência de: altitudes inferiores a 700 m; declividades superiores a 20%; exposição do terreno nas direções norte, nordeste e noroeste; próximas a rodovias; temperatura superiores a 27°C; precipitação inferiores a 800 mm; e vegetação campestre e pastagem.

De acordo com os procedimentos operacionais aplicados neste estudo, o objetivo foi alcançado com sucesso, e pode ser aplicado em diversas áreas como: outro município, bacias hidrográficas, unidades de conservação ambiental, agricultura, utilizando sempre do auxílio de informações geográficas que, manipuladas adequadamente, tornam-se uma grande ferramenta para a análise e prevenção de incêndios.

Portanto, com as informações obtidas, através do mapa de risco de incêndio, é possível adotar medidas de conscientização e preservação para reduzir ou evitar a ocorrência de incêndios, especialmente, nas áreas com médio e alto risco de incêndios. Tais medidas podem ser exemplificadas por: aceiros, sinalização, vigilância, práticas de manejo e ocupação do solo e, assim, certificar a prevenção e a redução de incêndios no município.

REFERÊNCIAS

ANA. Agência Nacional das Águas. **Sistema de Informações Hidrológicas**. Disponível em: <<http://hidroweb.ana.gov.br/>>. Acesso em: jan. 2017.

ASSAD, E. D; SANO, E. E. **Sistema de Informação Geográfica: Aplicações na Agricultura**. 2 ed. Brasília: SPI/EMBRAPA, 1998.

CEIVAP. Comitê de Integração da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul. **Projeto Rio Sesmarias – Diagnóstico Ambiental da Bacia Hidrográfica**. Disponível em: <<http://www.ceivap.org.br/sesmarias/MAPA-SESMARIA-EMBRAPA-90-60.pdf>>. Acesso em: jan. 2017.

CIDADE-BRASIL. **Município de Monte Carmelo**. Disponível em: <<http://www.cidade-brasil.com.br/municipio-monte-carmelo.html>>. Acesso em: abr. 2016.

CORREIA, V. R. M; MONTEIRO, A. M. V.; CARVALHO, M. S.; WERNECK, G. L. Uma aplicação do sensoriamento remoto para a investigação de endemias urbanas. **Caderno de Saúde Pública**, Rio de Janeiro, p.1015-1017, 23 maio 2007. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/csp/v23n5/04.pdf>>. Acesso em: mar. 2016.

DNIT. Departamento Nacional de Infraestrutura e Transporte. **Visualizador de Informações Geográficas**. Disponível em: <<http://servicos.dnit.gov.br/vgeo/>>. Acesso em: jan. 2017.

FERREIRA, A. R. R. **Sistema de Informação Geográfica e Susceptibilidade a Incêndio Florestal – Análise de Metodologias em Ambientes SIG**. 2010. Dissertação (Mestrado em Sistema de Informação Geográfica e Ordenamento do Território) Faculdade de Letras da Universidade do Porto.

FLORENZANO, T. G. **Imagens de Satélite para Estudos Ambientais**. São Paulo: Oficina de Textos, 2002.

GROHMANN, C.H.; RICCOMINI, C.; STEINER, S. S. Aplicações dos Modelos de Elevação SRTM em Geomorfologia. **Revista Geográfica Acadêmica**, v. 2, p. 73-83, 2008.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia E Estatística. Cidades. **Monte Carmelo**. Disponível em: <<http://cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?lang=&codmun=314310&search=||infogr%E1ficos:-informa%E7%F5es-completas>>. Acesso em: abr. 2016.

ICMBio. INSTITUTO CHICO MENDES DE CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE. **Manual para Formação de Brigadista de Prevenção e Combate aos Incêndios Florestais**. Disponível em: <<http://www.icmbio.gov.br/portal/images/stories/servicos/sejaumbrigadista.pdf>>. Acesso em: maio 2016.

INPE. Instituto Nacional de Pesquisa Espacial. **Sensoriamento Remoto**. Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/spring/portugues/tutorial/introducao_sen.html>. Acesso em: abr. 2016.

LIU, W. T. H. **Aplicações de Sensoriamento Remoto**. Campo Grande: UNIDERP, 2007. v. 1. 908 p.

MENESES, P. R.; ALMEIDA, T. **INTRODUÇÃO AO PROCESSAMENTO DE IMAGENS DE SENSORIAMENTO REMOTO**. BRASÍLIA: CNPQ, 2012. Disponível em: <<http://migre.me/tiIsb>> Acesso em: abr. 2016.

MOURA, A. C. M. Reflexões metodológicas como subsídio para estudos ambientais baseados em Análise de Multicritérios. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13., 2007, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: INPE, 2007. p.2899-2906.

NASCIMENTO, J. S.; MOURA, A. C. M. Geoprocessamento e Análise Multicriterial: subsídios ao incremento à biodiversidade na Área de Proteção Ambiental Morro da Pedreira, Serra do Cipó-MG. In: II Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, 2008, Recife. **Anais...** Recife, 2008.

PRUDENTE, T. D; **Geotecnologias Aplicadas ao Mapeamento de Risco de Incêndio Florestal no Parque Nacional da Chapada dos Veadeiros e Área de Entorno**. 2010. Dissertação (Mestrado em Geografia) Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia 2010.

PRUDENTE, T. D; **Risco Integrado de Incêndio Florestal em Áreas de Cerrado: Contribuições Metodológicas**. 2016. Tese (Doutora em Geografia) Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia 2016.

ROCHA, C. H. B. **Geoprocessamento: Tecnologia Transdisciplinar**. Juiz de Fora: Ed. Do Autor, 2000. 200 p.

SANTOS, A. R.; LOUZADA, F. L. R. O.; EUGENIO, F. C. Elaborando um mapeamento de riscos de incêndios Florestais. 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.

SILVA, A. A. L. **O uso do geoprocessamento no mapeamento e identificação de Risco de Incêndios Florestais, com ênfase na região do Parque Estadual do Itacolomi, Ouro Preto/MG**. 2004. 35 f. Monografia (Curso de especialização em Geoprocessamento)- Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2004.

SILVA, A. M. **Curso Processamento digital de imagens de satélite**. Centro de Eventos da PUCRS - de 07 a 12 de outubro de 2001. Porto Alegre - RS. Disponível em: <www.cartografia.org.br>. Acesso em: 06 fev. 2016.

SOHO, D. M. *What is a "fire hazard"?* **Forestland Steward**, Sacramento-USA,

n.424, 1999.

THOMÉ, R. **Interoperabilidade em Geoprocessamento:** Conversão entre Modelos Conceituais de Sistemas de Informação Geográfica e Comparação com o Padrão Open Gis. 1998. 200 f. Dissertação (Mestrado em Computação Aplicada) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 1998.

USGS. UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY. *LandSat Mission*. Disponível em: <<https://landsat.usgs.gov/>>. Acesso em: Maio de 2017.

USGS. UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY. *Using the USGS Landsat 8 Product*. Disponível em: <<https://landsat.usgs.gov/using-usgs-landsat-8-product>>. Acesso em: Junho de 2017.

VALERIANO, M.M.; ROSSETTI, D.F. **TOPODATA:** Seleção de coeficientes geoestatísticos para o refinamento unificado de dados SRTM. São José dos Campos: INPE, 2009.

VENTURI, N. L; **Determinação de Locais Ótimos para Implantação de Torres de Vigilância a Incêndios Florestais por Meio de Sistemas de Informações Geográficas.** 2006. Dissertação (Mestrado em Ciências Geodésicas) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006.

VETTORAZZI, C. A.; FERRAZ, S. F. B. **Uso de Sistemas de Informações Geográficas Aplicados à Prevenção e Combate a Incêndios em Fragmentos Florestais.** Série Técnica IPEF, v. 12, n, 32, p. 111-115, dez. 1998.

VICARI, M. B.; MAGRO, F. G.; KOCHENBORGER, G.; GOETTEMS, E.; PEREIRA, L. A. Mapeamento de áreas potenciais para implantação de aterro sanitário em Passo Fundo (RS), utilizando análise multicriterial. In: Congresso Internacional de Tecnologia para o Meio Ambiente, 3, 2012. Bento Gonçalves (RS). **Anais...** Bento Gonçalves, 2012.