

**MAURÍCIO CESAR DE SOUZA**

**ZONEAMENTO DO PERIGO E RISCO DE INCÊNDIOS FLORESTAIS NO  
PLANALTO SUL CATARINENSE**

Dissertação apresentada ao curso de Pós-graduação  
em Engenharia Florestal do Centro de Ciências  
Agroveterinárias, da Universidade do Estado de  
Santa Catarina, como requisito parcial para obtenção  
do grau de Mestre em Engenharia Florestal.  
Orientador: Dr. Marcos Benedito Schimalski  
Coorientador: Dr. Thiago Floriani Stepka

**LAGES, SC  
2019**

Ficha catalográfica elaborada pelo programa de geração automática da Biblioteca Setorial do  
CAV/UEDESC, com os dados fornecidos pelo autor.

Souza, Mauricio Cesar de  
Zoneamento do perigo e risco de incêndios florestais no  
Planalto Sul Catarinense / Mauricio Cesar de Souza. -- 2019.  
86 p.

Orientador: Marcos Benedito Schimalski  
Coorientador: Thiago Floriani Stepka  
Dissertação (mestrado) -- Universidade do Estado de Santa  
Catarina, Centro de Ciências Agroveterinárias, Programa de  
Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Lages, 2019.

1. Zoneamento de risco de incêndios florestais. 2. Álgebra de  
mapas. 3. Incêndio florestal. 4. Processo Analítico Hierárquico. I.  
Schimalski, Marcos Benedito. II. Stepka, Thiago Floriani. III.  
Universidade do Estado de Santa Catarina, Centro de Ciências  
Agroveterinárias, Programa de Pós-Graduação em Engenharia  
Florestal. IV. Título.

**MAURÍCIO CESAR DE SOUZA**

**ZONEAMENTO DO PERIGO E RISCO DE INCÊNDIOS FLORESTAIS NO  
PLANALTO SUL CATARINENSE.**

Dissertação apresentada ao curso de Pós-graduação em Engenharia Florestal do Centro de Ciências Agroveterinárias da Universidade do Estado de Santa Catarina, como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Florestal.

**Banca examinadora**

**Orientador:**

---

Prof. Dr. Marcos Benedito Shimalski  
Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC/Lages, SC

**Membros:**

---

Prof. Dr. Veraldo Liesenberg  
Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC/Lages, SC

---

Dra. Alessandra Gomes  
Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE/Belém, PA

**LAGES, 28/02/2019**



Aos meus pais Antonio e Alair, as minhas  
sobrinhas Lara e Luani, que Deus as guie  
sempre no caminho da bondade e justiça, a  
todos que acreditam no meu potencial e  
emanam boas energias Dedico.



## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus pelo dom da vida, pelos ouvidos sempre atentos e por sua caridade, razão de esperança e força para viver.

Ao meu Pai Antonio e a minha Mãe Alair por sua dedicação em criar uma família íntegra, honesta, pela garra de seu trabalho, que vocês tenham força e saúde para continuar lutando.

Ao professor Dr. Marcos Benedito Schimalski, pela orientação, ensinamentos, paciência, oportunidade e apoio na realização do trabalho.

Ao professor Dr. Veraldo Liesenberg pelo conhecimento disseminado durante as disciplinas, e pelo incentivo na fase final do trabalho, foi essencial.

A Doutora Alessandra Gomes, pela participação na banca examinadora.

A Doutora Mireli Moura Pitz Floriani, pelo apoio, participação, contribuição no trabalho, e em seu nome a empresa Klabin. S.A pela disponibilização de dados para o desenvolvimento do estudo.

Ao professor Dr. Philipe Ricardo Casemiro Soares pela oportunidade de cursar suas disciplinas, e principalmente pela ajuda durante o ingresso no programa de mestrado.

Aos meus colegas de mestrado pelos momentos divididos, principalmente a Mari, que não excitou em ajudar com seu conhecimento para solucionar os problemas na realização de trabalhos acadêmicos.

Aos meus Comandantes no Corpo de Bombeiros Militar de Santa Catarina – CBMSC, Tenente Dario Aguiar e Tenente Thiago da Silva, por possibilitar o cumprimento do expediente de trabalho em horário diverso, possibilitando a frequência nas disciplinas do mestrado.

Aos colegas de trabalho no CBMSC, pela confiança, incentivo, descontração, sem isso esse momento seria muito mais difícil.

Aos amigos, presentes ou distantes, vocês são muito importantes.

Ao programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal da UDESC e a todos os professores que tive a oportunidade de cruzar nesta caminhada.

Muito obrigado.





“Se não puder voar, corra. Se não puder correr, ande. Se não puder andar, rasteje, mas continue em frente de qualquer jeito.

Martin Luther King



## RESUMO

Os incêndios florestais podem ser muito destrutivos, comprometer a cobertura vegetal, oferecer riscos a fauna silvestre, solo, atmosfera e até a vida humana. O zoneamento do risco de incêndios florestais – ZRIF é uma ferramenta para o planejamento da proteção florestal, monitoramento, prevenção e gestão do combate a incêndios possibilitando adequar a alocação de recursos e equipamentos conforme o nível de risco de cada local. O objetivo desse trabalho foi criar o ZRIF para propriedades florestais do município de Capão Alto, região do planalto serrano de Santa Catarina. As áreas de estudo foram três propriedades, Fazendas Capão da Lagoa, Estrela e Triunfo. A pesquisa procurou validar e aprimorar as técnicas de ZRIF já aplicadas por autores como Oliveira (2002), Liz (2014), utilizando um modelo de ponderação e pesos atribuídos a diferentes planos de informações, que tem como base cada fator que afeta a ocorrência de incêndio em um determinado local, por meio da técnica de álgebra de mapas, com uso do *software* ArcGis 10.4. A composição do risco de incêndio criada em função das variáveis presença humana, ventos predominantes, material combustível, declividade, cobertura do solo e orientação das encostas. Cada variável influencia o risco de uma forma e intensidade diferente. Foram utilizados dois modelos de ponderação para a obtenção de mapas de risco de incêndios florestais, um modelo proposto por Oliveira (2002), e um segundo modelo obtido por meio da técnica do Processo Analítico Hierárquico – AHP desenvolvido por Saaty (2008). A construção da base cartográfica foi feita com imagens aéreas do voo do Estado de SC, do banco de dados do IBGE. Os ventos predominantes da região foram obtidos do banco de dados do Instituto Nacional de Meteorologia – INMET. Os mapas de cobertura do solo foram fornecidos pela empresa proprietária das áreas. Os resultados do trabalho foram seis mapas de risco de incêndio florestal divididos nas classes de risco nulo, baixo, moderado, alto, muito alto e extremo. De acordo com as classes de risco a Fazenda Capão da Lagoa apresentou respectivamente as proporções de, 0, 0,1%, 12%, 43,8%, 26,5% e 17,6% em relação à área total da fazenda (1363 ha), para o modelo 1 de ponderação, e 0, 43%, 26%, 1%, 31 % e 0, para o modelo 2. A Fazenda Estrela apresentou respectivamente as proporções de, 0, 7%, 38%, 30%, 20% e 5% em relação à área total da fazenda (388 ha), para o modelo 1 de ponderação, 0, 33%, 25%, 9%, 29% e 4, para o modelo 2. A Fazenda Triunfo apresentou respectivamente as proporções de, 0, 22%, 23%, 19%, 18% e 18% em relação à área total da fazenda (926 ha), para o modelo 1 de ponderação, 0, 34%, 31%, 1%, 34% e 0, para o modelo 2. As metodologias aplicadas no trabalho possibilitaram criar o ZRIF para as Fazenda Capão da Lagoa, Estrela e Triunfo. A técnica AHP mostrou-se eficaz na determinação de pesos, quando considerados os registros de incêndios da empresa responsável pelas áreas. No entanto, ao se avaliar os focos de calor registrados pelo INPE, o modelo de Oliveira (2002) foi superior, para os fatores considerados no ZRIF.

**Palavras chaves:** Zoneamento de Risco de Incêndios Florestais, Álgebra de Mapas, Incêndio Florestal, Processo Analítico Hierárquico.



## ABSTRACT

Forest fires can be very destructive, compromise vegetation cover, and pose risks to wildlife, soil, atmosphere, and even human life. Forest fire risk zoning (ZRIF) is a mechanism for monitoring of forest protection, prevention and risk management, allowing the adaptation of an allocation of resources and equipment according to the level of risk of each site. The objective of this work was to create the ZRIF for forest properties of the municipality of Capão Alto, mountain region of Santa Catarina. Three properties were used in the, Farms Capão da Lagoa, Estrela and Triunfo. The research sought to validate and improve ZRIF techniques already applied by authors such as Oliveira (2002), Liz (2014), using a weighting model and weights attributed to different information plans, based on each factor that affects the occurrence of fire in a certain location, using the technique of map algebra, using ArcGis 10.4 software. The composition of the fire risk was a function of the variables human presence, prevailing winds, combustible material, slope, soil cover and slope orientation. Each variable influences the risk in a different form and intensity, two weighting models were used to obtain forest fire risk maps, a model proposed by Oliveira (2002), and a second model obtained through the AHP technique (Analytic Hierarchy Process) developed by Saaty (2008). Capão da Lagoa Farm presented, respectively, the proportions of, 0, 0.1%, 12%, 43.8%, 26.5% and 17.6% in relation to the total area of the farm (1363 ha), for the model 1, and 0, 43%, 26%, 1%, 31% and 0, for the model 2. The Fazenda Estrela presented the proportions of 0,7%, 38%, 30%, 20% and 5 % in relation to the total area of the farm (388 ha), for the weighting model 1, and 0, 33%, 25%, 9%, 29% and 4, for model the 2. The Triunfo farm presented, respectively, 0, 22%, 23%, 19%, 18% and 18% relative to the total farm area (926 ha), for weighting model 1, and 0, 34%, 31%, 1%, 34% and 0 , for the model 2. The methodologies applied in the study made it possible to create risk zoning of forest fires for Fazenda Capão da Lagoa, Estrela and Triunfo. The AHP technique proved to be effective in determining weights when considering the fire records of the company responsible for the areas. However, when evaluating the heat sources recorded by INPE, the Oliveira model (2002) was superior for the factors considered in the ZRIF.

**Key Word:** Forest Fire Risk Zoning, Map Algebra, Forest Fire, Analytic Process Hierarchy



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – (a) Localização do estado de Santa Catarina; (b) localização do município de Capão Alto dentro do estado. (c) fazendas utilizadas no estudo. ....	41
Figura 2 – Recorte imagem Planet (2018) nos limites das fazendas. ....	42
Figura 3 – Mapas de Cobertura e Uso da Terra. (a) Fazenda Capão da Lagoa. (b) Fazenda Estrela. (c) Fazenda Triunfo. ....	48
Figura 4 – Mapas de Risco de Incêndio conforme a Influência da Presença Humana. (a) Fazenda Capão da Lagoa. (b) Fazenda Estrela. (c) Fazenda Triunfo. ....	55
Figura 5 – Mapas de Risco de Incêndio conforme a Cobertura do Solo. (a) Fazenda Capão da Lagoa. (b) Fazenda Estrela. (c) Fazenda Triunfo. ....	57
Figura 6 – Mapas de Risco de Incêndio conforme o Material Combustível. (a) Fazenda Capão da Lagoa. (b) Fazenda Estrela. (c) Fazenda Triunfo. ....	59
Figura 7 – Mapa de Risco de Incêndio conforme a Declividade. (a) Fazenda Capão da Lagoa. (b) Fazenda Estrela. (c) Fazenda Triunfo. ....	61
Figura 8 – Mapas de Risco de Incêndio conforme a Orientação das Encostas. (a) Fazenda Capão da Lagoa. (b) Fazenda Estrela. (c) Fazenda Triunfo. ....	63
Figura 9 – Mapas de Risco de Incêndio conforme os Ventos Predominantes. (a) Fazenda Capão da Lagoa. (b) Fazenda Estrela. (c) Fazenda Triunfo. ....	65
Figura 10 – Integração dos mapas na geração do ZRIF. ....	67
Figura 11 – Mapa de risco de incêndio da Fazenda Capão da Lagoa conforme modelo de Oliveira (2002). ....	70
Figura 12 – Mapa de risco de incêndio da Fazenda Estrela conforme modelo de Oliveira (2002). ....	71
Figura 13 – Mapa de risco de incêndio da Fazenda Triunfo conforme modelo de Oliveira (2002). ....	72
Figura 14 – Mapa de risco de incêndio da Fazenda Capão da Lagoa técnica AHP .....	73
Figura 15 – Mapa de risco de incêndio da Fazenda Estrela técnica AHP .....	74
Figura 16 – Mapa de risco de incêndio da Fazenda Triunfo técnica AHP .....	75
Figura 17 – Mapa de ocorrência de focos de Calor para o Município de Capão alto no período de 01/01/2008 até 31/12/2018. ....	76





## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Método de modelagem do perigo de incêndio.....	33
Tabela 2 – Pesos aplicados para os diferentes grupos de risco .....	34
Tabela 3 – Pesos aplicados para os diferentes grupos de risco .....	35
Tabela 4 – Coeficientes conforme o grau de risco de incêndio.....	44
Tabela 5 – Raios de influência conforme a atividades e presença humana.....	45
Tabela 6 – Classificação do risco de incêndio conforme a presença humana.....	46
Tabela 7 – Grau de risco de acordo com a classe de cobertura e uso do solo. ....	46
Tabela 8 – Classificação do risco de incêndio florestal conforme a carga de material combustível.....	49
Tabela 9 – Classificação de risco de incêndio conforme declividade do terreno.....	49
Tabela 10 – Risco de incêndio conforme a orientação das encostas. ....	50
Tabela 11 – Classificação de risco de acordo ventos predominantes.....	51
Tabela 12 – Áreas das fazendas de acordo com a influência da presença humana para o risco de incêndio .....	53
Tabela 13 – Uso e cobertura da terra por classe .....	54
Tabela 14 – Porcentagem das áreas para cada classe de risco de incêndio conforme a cobertura do solo. ....	56
Tabela 15 – Porcentagem das áreas para cada classe de risco de incêndio conforme o material combustível.....	58
Tabela 16 – Áreas das fazendas por classe de risco em função da declividade .....	60
Tabela 17 – Áreas das fazendas por classe de risco em função da orientação das encostas ....	62
Tabela 18 – Classes de risco associado aos ventos predominantes .....	64
Tabela 19 – Matriz de comparação de pares e pesos das variáveis .....	66
Tabela 20 – Áreas de risco de incêndio por classe e modelo de ponderação Fazenda Capão da Lagoa .....	68
Tabela 21 – Áreas de risco de incêndio por classe e modelo de ponderação Fazenda Estrela.....	68
Tabela 22 – Áreas de risco de incêndio por classe e modelo de ponderação Fazenda Triunfo.....	69
Tabela 23 – Registro de ocorrência de incêndios .....	77
Tabela 24 – Localização dos focos de incêndio em relação aos mapas de risco.....	77
Tabela 25 – Localização dos focos de calor do Programa Queimadas em relação aos mapas de risco .....	78



## LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1 .....	32
Equação 2 .....	35
Equação 3 .....	36
Equação 4 .....	37
Equação 5 .....	47
Equação 6 .....	52
Equação 7 .....	53
Equação 8 .....	53



## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ACR	Associação Catarinense de Empresas Florestais
AHP	Processo Analítico Hierárquico (Analytic Hierarchy Process)
APP	Área de Preservação Permanente
BDMEP	Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa
DTM	Modelo Digital do terreno (Digital Terrain Model)
E	Direção Leste (East)
FMA	Fórmula de Monte Alegre
FMA+	Fórmula de Monte Alegre Modificada Alterada
FOM	Florestam Ombrófila Mista
GIS	Sistemas de Informações Geográficas (Geographic Information Systems)
IBA	Instituto Brasileiro de Árvores
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
N	Direção Norte (North)
NE	Direção Nordeste (Northeast)
NW	Direção Noroeste (Northwest)
Prevfogo	Centro Nacional de Prevenção e Combate aos Incêndios Florestais
S	Direção Sul (South)
SC	Santa Catarina
SIRGAS	Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas
SHP	Formato Shapefile
SVM	Support Vector Machine
SW	Direção Sudoeste (Southwest)
UTM	Universal Transversa de Mercator
W	Direção Oeste (West)
ZRIF	Zoneamento de Risco de Incêndio Florestal



## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO .....	25
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	26
2.1 SETOR FLORESTAL .....	26
2.2 O FOGO.....	27
2.3 INCÊNDIOS FLORESTAIS .....	28
2.4 RISCO DE INCÊNDIO FLORESTAL .....	29
2.5 ÍNDICE DE PERIGO DE INCÊNDIO .....	30
2.6 ZONEAMENTO DE RISCO DE INCÊNDIO FLORESTAL – ZRIF.....	31
2.6.1 METODOLOGIAS PARA DESENVOLVER O ZRIF.....	32
2.7 PROCESSO ANALÍTICO HIERÁRQUICO (AHP) .....	38
3. HIPÓTESE E OBJETIVOS .....	39
3.1 HIPÓTESE.....	39
3.2 OBJETIVO GERAL .....	39
3.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	40
4. MATERIAL E MÉTODOS .....	40
4.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO .....	40
4.2 MATERIAIS UTILIZADOS PARA A ELABORAÇÃO DO ZRIF.....	43
4.3 PROCEDIMENTOS UTILIZADOS PARA A ELABORAÇÃO DO ZRIF .....	44
4.3.1 Presença humana .....	44
4.3.2 Cobertura do solo .....	46
4.3.3 Material combustível.....	47
4.3.4 Declividade.....	49
4.3.4 Orientação das encostas .....	50
4.3.5 Ventos predominantes .....	50
4.3.6 Determinação dos pesos por meio do Processo Analítico Hierárquico - AHP .....	51
4.3.7 INTEGRAÇÃO DOS MAPAS DE RISCO DE INCÊNDIO FLORESTAL.....	52
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	53

4.1	RISCO DE INCÊNDIO EM FUNÇÃO DA PRESENÇA HUMANA .....	53
4.2	RISCO DE INCÊNDIO EM FUNÇÃO DA COBERTURA DO SOLO .....	54
4.3	RISCO DE INCÊNDIO EM FUNÇÃO DO MATERIAL COMBUSTÍVEL.....	58
4.4	RISCO DE INCÊNDIO EM FUNÇÃO DA DECLIVIDADE.....	60
4.5	RISCO DE INCÊNDIO EM FUNÇÃO DA ORIENTAÇÃO DAS ENCOSTAS ....	62
4.6	RISCO DE INCÊNDIO EM FUNÇÃO DOS VENTOS PREDOMINANTES .....	64
4.7	APLICAÇÃO DA TÉCNICA AHP .....	66
4.8	MAPAS DE RISCO DE INCÊNDIO FLORESTAL .....	66
4.9	VALIDAÇÃO DOS MAPAS DE RISCO DE INCÊNDIOS FLORESTAIS PARA OS MODELOS TESTADOS.....	75
5.	CONCLUSÕES.....	79
6.	RECOMENDAÇÕES .....	79
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	80



## 1. INTRODUÇÃO

O fogo sempre existiu na natureza, mais nem sempre o homem teve o domínio sobre ele, tendo isto acontecido há alguns milhares de anos. Este elemento da natureza foi um dos mais importantes para o desenvolvimento das civilizações, pois forneceu fonte de calor possibilitando o aquecimento das moradias, a melhora das condições para a caça, cozimento dos alimentos e ainda a criação de máquinas e equipamentos que o utilizavam como fonte de energia (BARCELOS, 2001).

Nos dias atuais o fogo ainda é empregado em diversas finalidades, nos ambientes rurais sua principal utilização é para a limpeza do terreno, renovação da pastagem, e isso se dá principalmente pelo o baixo custo da sua aplicação. Na região do Planalto Serrano Catarinense o uso do fogo é difundido, tanto que culturalmente a queima de campo está embutida na história dos habitantes desta região. O problema do fogo é quando não se tem o controle sobre ele, ocasionando o que chamamos de incêndio, responsável por impactos ao equilíbrio dos componentes do ecossistema. Quando um incêndio atinge qualquer tipo de vegetação, este é chamado de incêndio florestal.

Os incêndios florestais dependendo do seu nível podem gerar diversos danos a flora, a fauna, aos seres humanos ou aos seus bens (TETTO, *et al.*, 2008). Só no ano de 2018 centenas de pessoas foram mortas em decorrência de incêndios florestais de grandes proporções que ocorreram no estado da Califórnia, Estados Unidos, Grécia e Portugal no continente Europeu. Além das vítimas fatais, cidades foram completamente destruídas e grandes áreas de florestas foram perdidas.

Entre 2015 e 2018, diversos desastres associados a incêndios florestais foram registrados pela mídia global, sugerindo uma intensificação destes eventos e de seus impactos socioambientais e económicos (ANDERSON *et al.*, 2018). De acordo com os mesmos autores citados anteriormente, artigos científicos quantificando os diferentes tipos de impactos associados aos eventos recentes estão começando a emergir para a região Amazônica (ARAGÃO *et al.*, 2018, COSTA *et al.*, 2018), Estados Unidos (STEVENS-RUMANN *et al.*, 2017), Portugal (CARVALHO *et al.*, 2018, LOURENÇO, 2018), Indonésia (ATWOOD *et al.*, 2016), dentre outros.

No Brasil a atividade florestal e a cadeia produtiva a ela associada se caracterizam pela diversidade de produtos, que cumprem importante papel na economia do país, onde há grandes áreas de florestas plantadas, logo estas ocorrências de incêndios alertam para a necessidade da

adoção de mecanismos que possam colaborar para a prevenção desses e conseqüentemente sobre danos por eles causados.

Nesse contexto entra o Zoneamento de Risco de Incêndios Florestais – ZRIF, um dos instrumentos importantes para o planejamento da proteção florestal, pois o ZRIF aponta zonas perigosas que necessitam de atenção especial, podendo ser direcionado as diferentes estações do ano e as variações das condições meteorológicas.

No ZRIF são considerados variáveis que influenciam a propagação do fogo, tais como material combustível, características topográficas do terreno e condições meteorológicas da região, assim como a origem do fogo, ligado normalmente a presença e atividades humanas (OLIVEIRA, 2002).

Por utilizar um ambiente GIS – *Geographic System Information* (Sistema de Informações Geográficas), capaz de armazenar, processar e associar uma grande quantidade de dados e informações ao mesmo tempo, o planejamento e execução do ZRIF pode ser estendido a uma grande área, de forma mais rápida e ao mesmo tempo tão confiável quanto ações a campo, demoradas e por vezes onerosas (CHUVIECO & CONGALTON, 1989).

Este trabalho visa dar subsídio, as técnicas já utilizadas no monitoramento e prevenção a ocorrência de incêndios, utilizados pela empresa, a qual gerência as propriedades em estudos. A ênfase do estudo são áreas, que historicamente possuem incidentes frequentes, associados aos incêndios florestais.

## **2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1 SETOR FLORESTAL**

O Setor de Florestas Plantadas possui um papel expressivo no cenário socioeconômico e ambiental Brasileiro. Numa visão econômica, as florestas plantadas se destacam como fonte de matéria-prima para o crescimento industrial com a transformação de madeira em tora e em produtos de maior valor agregado, que movimentam o comércio nacional e internacional de produtos florestais (ACR, 2016).

Além das funções produtivas, os plantios de árvores desempenham importante papel na prestação de serviços ambientais: evitam o desmatamento de habitats naturais, protegendo assim a biodiversidade, preservam o solo e as nascentes de rios, recuperam áreas degradadas,

são fontes de energia renovável e contribuem para a redução das emissões de gases causadores do efeito estufa por serem estoques naturais de carbono (IBA, 2018).

As árvores mais utilizadas em plantios no Brasil são dos gêneros *Eucalyptus*, *Pinus* e *Tectona*. Os nativos que fazem parte desta prática são a *Araucária* e o *Schizolobium* (Paricá). O Brasil possui 7,84 milhões de hectares plantados de *Eucalyptus*, *Pinus* e demais espécies para a produção de painéis de madeira, pisos laminados, celulose, papel, produção energética e biomassa. Essas áreas são responsáveis por 91% de toda a madeira produzida para fins industriais no País e os demais 9% vêm de florestas naturais legalmente manejadas (IBA, 2018).

O estado de Santa Catarina detém o total de 660,7 mil hectares com florestas plantadas. Apesar de ser um dos menores estados do país em extensão territorial, dados da ACR de 2016 mostraram o estado na 6ª posição com maior área plantada sendo que a grande maioria, cerca de 82%, ou equivalente a 541,2 mil ha, é com *Pinus*, 17% (112,9 mil ha) com *Eucalyptus* e apenas 1% (6,6 mil ha) com outros grupos de espécies. No que se refere ao *Pinus*, Santa Catarina possui a segunda maior área plantada do país, após o Paraná, mantendo-se nesta posição do ranking historicamente. Quanto ao *Eucalyptus*, o estado ocupou em 2014 o 13º lugar com 112,9 mil ha, mantendo a posição no ranking de 2013 com 107,3 mil há (ACR, 2016).

No estado de Santa Catarina os plantios com *Pinus* e *Eucalyptus* estão concentrados principalmente na região serrana, com destaque para os municípios de Santa Cecília, Lages e Otacílio Costa, que juntos detém cerca de 100 mil hectares plantados, principalmente com *Pinus* (ACR, 2016).

## 2.2 O FOGO

De modo geral, o fogo, é o termo aplicado ao fenômeno físico resultante da rápida combinação entre o oxigênio e uma substância qualquer (madeira, por exemplo), com produção de calor, luz e, geralmente, chamas. Acrescentando ainda, fogo, ou mais precisamente combustão é, portanto, uma reação química de oxidação (SOARES, 1985).

O fogo está presente na vida do homem desde os tempos das cavernas, antes mesmo de dominá-lo, o homem o referenciava como algo sobrenatural, com medo e respeito. Depois, tornou-se uma fonte de calor usado para aquecer, cozinhar os alimentos e fabricar utensílios, dentre outras utilidades. Ao fugir do controle e causar imensos prejuízos, como mortes e perdas de bens o fogo torna-se um inimigo (BARCELOS, 2001).

Os povos indígenas o utilizavam na caça e no preparo do terreno para o plantio agrícola (BATTAGLI, 2009). Devido ao baixo custo, ainda nos dias de hoje essa técnica é utilizada. A queima, quando controlada, favorece a renovação de pastagens, limpeza de restos de cultura, controle de pragas, para plantio agrícola ou florestal e ainda no controle de combustíveis em Silvicultura. Para ser utilizado, deve ser preparado e executado cuidadosamente um plano de queima em função dos riscos que apresenta, e sempre que possível à queima controlada deve ser substituída por alternativas. O fogo possui duas faces, uma benéfica e a outra maléfica, onde pode vir a ameaçar a vida humana, destruindo casas, lavouras, fauna, flora, entre outros recursos (MYERS, 2006).

### **2.3 INCÊNDIOS FLORESTAIS**

Incêndio florestal é o fogo incontrolado, que se propaga livremente e consome os diversos tipos de materiais combustíveis existentes em uma floresta. É uma combustão sem controle que consome os combustíveis naturais, tendo como principal característica o fato da livre propagação respondendo apenas às variações do ambiente e às influências derivadas dos combustíveis vegetais, do clima e do relevo (BATISTA & SOARES, 2007). É a ocorrência de fogo em qualquer forma vegetativa, cujas causas vão de naturais a criminosas, podendo também estar associadas à forma acidental e, portanto, inesperada pelo proprietário ou responsável pela área atingida (FONSECA & RIBEIRO, 2003).

Os danos gerados pelos incêndios florestais podem ser de caráter ambiental, social e econômico, às árvores, ao solo, ao caráter protetor da floresta, à fauna, ao aspecto recreativo, ao planejamento florestal, às propriedades e à vida humana. Estes danos dependem das condições existentes, principalmente da tipologia da floresta, combustível e clima (SOARES & BATISTA, 2007).

Além dos danos à vegetação, à fauna, ao solo e ao ar atmosférico, os incêndios podem danificar casas, construções, veículos e equipamentos diversos. Porém, o que mais preocupa são os danos causados à vida humana, os quais podem não somente estar representado por graves ferimentos, como também pela morte de pessoas, envolvidas ou não no combate ao fogo (VIEIRA, 2011).

No quesito econômico os incêndios geram custos diretos significativos para o proprietário da área afetada, relacionados com a destruição de benfeitorias, plantações e recursos madeireiros. Os danos aos cultivos perenes e árvores frutíferas pelo fogo causam também grandes perdas decorrentes do alto investimento necessário para estabelecer e manter

essas culturas. As espécies madeireiras de valor comercial também são afetadas pelos incêndios florestais, podendo levar a perdas econômicas significativas, sobretudo quando a área queimada é uma floresta não-explorada (MOTTA *et al.*, 2002).

Dos oito grupos de causa em que se enquadra a maioria das ocorrências de incêndios florestais (incendiários, queimas para limpeza, operações florestais, atividades para recreação, fumantes, raios, estradas e outros), apenas o grupo raios não é de responsabilidade humana (SOARES & BATISTA, 2007).

As condições climáticas influenciam de forma bastante significativa os incêndios florestais, podendo favorecer ou inibir a propagação do fogo após a ignição inicial. Dentro das variáveis mais relevantes, pode-se citar o baixo teor de umidade da vegetação como o principal fator da vulnerabilidade do material combustível à ocorrência de fogo, sendo que esse teor de umidade está diretamente relacionado com a temperatura (T) e a umidade relativa do ar (UR) do ambiente em que se encontra (ALVES, 2009).

Outras causas de incêndios florestais, é a queima para rebrota de pastagens ou plantios, vandalismo, brincadeiras de crianças, velas em rituais religiosos, fogueiras, balões, queima de lixo, causas acidentais (como fagulhas em máquinas agrícolas ou rompimento de fios elétricos) e causas naturais (MAUGER, 2009).

O ambiente possui diversas características de forte influência sobre a ignição, propagação e intensidade dos incêndios (KOPROSKI, 2010). Os fatores mais comumente associados ao risco de incêndios são: cobertura vegetal, material combustível, relevo e condições climáticas. Assim como as características do ambiente, as atividades humanas têm forte influência sobre o risco de incêndio (OLIVEIRA, 2002).

## 2.4 RISCO DE INCÊNDIO FLORESTAL

O risco de incêndio (*fire risk*) está relacionado à probabilidade de um fogo iniciar pela presença e/ou atividade de agentes causadores, diferente do perigo de incêndio (*fire hazard*) que está relacionado ao material combustível definido pelo tipo, arranjo, quantidade, condição e a localização que forma uma condição especial de ameaça de ignição ou representa dificuldade na extinção do fogo (BROWN & DAVIS, 1973).

Bachman (2001) diferencia de forma detalhada os conceitos *de fire danger* (perigo de incêndio), *fire hazard* e *fire risk*, onde conclui que o *fire danger*, comumente expresso por índices de perigo, pode ser considerado como a percepção humana do perigo. *Fire hazard*,

corresponde à ocorrência do evento em si, e *fire risk* é caracterizado pela probabilidade de incêndio ocorrer e pelas proporções dos efeitos que pode causar.

O risco de incêndio está relacionado não somente com um fator de ameaça, mas também com a vulnerabilidade do ecossistema. O fator de ameaça está associado à existência de agentes naturais e antrópicos que podem dar início ao processo de ignição, e a vulnerabilidade do ecossistema está relacionada com as características ambientais que proporcionam condições favoráveis a manutenção do fogo (CASTAÑEDA, 1997).

É importante diferenciar risco de perigo de incêndio, uma vez que o risco está relacionado a probabilidade de o fogo iniciar, ou seja, aos agentes disparadores, e o perigo é a causa que aumenta ou diminui a probabilidade de sua ocorrência (SOARES, 2009). No Brasil os agentes determinantes do risco de incêndio são os naturais, aliados aos antrópicos, já em relação aos agentes determinantes do perigo normalmente são relacionados às características do ambiente com influência aos materiais combustíveis e as condições climáticas, relevo e tipo de cobertura vegetal (OLIVEIRA, 2007).

Os agentes determinantes são os principais responsáveis dos incêndios florestais no Brasil, e estão diretamente relacionados com risco de incêndios, pois são eles que propiciam o início do processo de combustão do material vegetal pelo fato de fornecerem a fonte de ignição decorrente de várias atividades humanas em diversos fins (RODRIGUES, 2008).

Os incêndios florestais são afetados pelas complexas interações entre vegetação, clima, relevo e atividades antrópicas ao longo do tempo. Em escala regional o clima determina o teor de umidade do material combustível e a quantidade de biomassa, em função disso é o principal controlador das características dominantes dos incêndios, bem como do tipo de vegetação encontrado. Além disso, uso do solo e o relevo afetam a frequência, velocidade de propagação e tamanho das áreas queimadas. Por outro lado, as atividades humanas têm influências sobre as características dos incêndios, também alterando frequência, área queimada e padrão de distribuição das ocorrências (CHANG, *et al.*, 2015).

## **2.5 ÍNDICE DE PERIGO DE INCÊNDIO**

Os índices de perigo de incêndios são indicadores que refletem antecipadamente, a probabilidade de ocorrer um incêndio, e a facilidade do mesmo se propagar, com base nas condições atmosféricas do dia ou de uma sequência de dias (SOARES & BATISTA, 2007).

Os principais índices de perigo de incêndio que foram ou são utilizados na prevenção de incêndios no Brasil são de Angstron, Nesterov, Fórmula de Monte Alegre – FMA e Fórmula

de Monte Alegre Alterada – FMA<sup>+</sup> (SOARES & BATISTA, 2007). Os índices de FMA e FMA<sup>+</sup> foram desenvolvidos no Brasil (SOARES, 2009), enquanto o índice de Angstron na Suécia e os índices de Nesterov na Rússia (COUTO & CANDIDO, 1992).

O índice de Angstron baseia fundamentalmente na temperatura e umidade relativa do ar, ambos medidos diariamente às 13 horas. Não é um índice cumulativo (SOARES & BATISTA, 2007).

A fórmula de Monte Alegre foi desenvolvida através de dados da região central do Paraná por Soares em 1972, caracteriza-se por ser um índice cumulativo que utiliza apenas a umidade relativa do ar como variável para estimar o índice de perigo. A precipitação é utilizada para restringir a somatória da FMA.

A Fórmula de Monte Alegre Alterada foi desenvolvida por Nunes em 2005, indica a probabilidade de ocorrência e propagação de um incêndio. Assim como a Fórmula de Monte Alegre, ela foi desenvolvida com dados da região central do estado do Paraná (NUNES, 2007). A variável vento foi incorporada na fórmula original para a indicação da probabilidade de propagação dos incêndios.

O índice de Nesterov é um índice acumulativo, e tem como variáveis a temperatura e o déficit de saturação do ar, ambos medidos diariamente às 13 horas (SOARES & BATISTA, 2007).

Na prevenção e combate a incêndios, os índices são especialmente úteis quando são espacializados na forma de mapas temáticos de risco. Estes mapas variam de cobertura local a cobertura global, são produzidos com diferentes resoluções espaciais e podem abranger períodos curtos ou longos prazos (FREIRE *et al.*, 2002).

## **2.6 ZONEAMENTO DE RISCO DE INCÊNDIO FLORESTAL – ZRIF**

Os zoneamentos de risco de incêndios são instrumentos essenciais utilizados no planejamento do controle de incêndios em vegetação (FERRAZ & VETORAZZI, 1998). Eles proporcionam uma visualização da distribuição espacial do risco de incêndio em toda a área abrangida (OLIVEIRA, 2002).

O ZRIF trabalha com o agrupamento dos mapas de risco, gerados através de métodos que permitem associar os fatores ambientais com os incêndios, possibilitando mapear o risco potencial de incêndios em função da correlação entre os fatores analisados em relação ao fogo (OLIVEIRA, 2002). O ZRIF é fundamental ao planejamento racional dos recursos destinados à prevenção dos incêndios florestais (RIBEIRO *et al.*, 2008).

A produção destes mapas temáticos deve ser baseada em dados meteorológicos, e requer a seguinte informação de *input*: informação de base sobre a vegetação (mapa de uso do solo), monitorização diária a semanal do estado ou vigor da vegetação, e monitorização diária do estado do tempo (CHUVIECO *et al.*, 1997). Para fins de prevenção é desejável uma frequência de atualização de mapas de risco de um dia ou menos.

Os mapas de risco são desenvolvidos a partir da análise de dados da região que se pretende mapear, identificando variáveis como sistema viário, cobertura vegetal, condições climáticas, umidade do material combustível, declividade do terreno, orientação das encostas e altitude. (OLIVEIRA *et al.*, 2004).

### 2.6.1 Metodologias para desenvolver o ZRIF

Algumas metodologias apresentadas a seguir foram citadas no estudo de Oliveira (2002) e Liz (2014) que revisaram a temática de zoneamento de risco de incêndios florestais.

Em seu estudo Getter (1976) propôs classificar o potencial de incêndio florestal, projetado e implementado pelo Serviço Estadual de Incêndio do Colorado – CSFS, com a utilização de critérios de declividade do terreno, orientação das encostas, densidade da vegetação e tipos de vegetação.

Os autores Burgan e Shasby (1984) utilizaram, dados espectrais provenientes de imagens orbitais para mapear o material combustível, dados de declividade, elevação e orientação das encostas, dados climáticos de velocidade do vento, temperatura, umidade relativa e cobertura de nuvens, para estimar o potencial de risco de incêndio para a área de estudo.

Por meio de algumas variáveis que já haviam sido utilizadas no ZRIF Chuvieco e Congalton (1989) elaboraram um método de integração das informações de vegetação, elevação do terreno, declividade, orientação das encostas, proximidade a estradas e trilhas, acampamentos ou edificações com o uso do GIS. A integração das variáveis foi feita segundo o modelo da equação 1.

Equação 1

$$\text{Perigo de Incêndio} = 1 + (100) * CV + (30) * D\% + (10) * OE + (5) * DE + (2) * AL$$

onde:



CV - Plano de Informação (PI) que representa a cobertura vegetal;

D% - PI que representa a declividade;

OE - PI que representa a orientação das encostas;

DE - PI que representa a distância às estradas;

AL - PI que representa a altitude

Os valores entre parênteses referem-se aos pesos atribuídos a cada uma das variáveis em estudo. O valor resultante deste modelo representa o perigo de incêndio em cada unidade de análise (LIZ, 2014). As camadas temáticas foram classificadas previamente de acordo com a tabela 1.

Tabela 1 – Método de modelagem do perigo de incêndio

(continua)

<b>Classe original</b>	<b>Grupos de perigo de incêndio</b>	<b>Coeficiente</b>
<b>Camada de vegetação (Peso 100)</b>		
Pinheiros denso	Alto	0
Pinheiros médios	Alto	0
Pinheiros espaçados mais arbustos	Médio	1
Arbustivo denso	Médio	1
Arbustivo médio	Médio	1
Arbustivo esparso	Baixo	2
Amendoeiras	Baixo	2
Vinhedos	Baixo	2
Laranjais	Baixo	2
<b>Camada declividade (Peso 30)</b>		
0-4%	Baixo	2
5-8%	Baixo	2
9-12%	Baixo	2
13-16%	Médio	1
17-20%	Médio	1
21-36%	Médio	1
27-40%	Médio	1
41-44%	Alto	0
>44%	Alto	0
<b>Camada aspecto (Peso 10)</b>		
Sudeste	Alto	0
Sudoeste	Médio	1
Norte	Baixo	2

(continuação)

<b>Camada próxima das rodovias (peso 5)</b>		
Área dentro do <i>Buffer</i> (<150 m de alguma trilha ou < 50 m de alguma estrada)	Alto	0
Área fora do <i>Buffer</i>	Baixo	1

<b>Classe original</b>	<b>Grupos de perigo de incêndio</b>	<b>Coeficiente</b>
<b>Camada de elevação (Peso 2)</b>		
0-3 m	Baixo	1
3-6 m	Baixo	1
398-400 m	Alto	0
401-404 m	Alto	0
405-407 m	Alto	0

Fonte: traduzido e adaptado pelo autor segundo Chuvieco e Congalton (1989).

Na mesma linha que outros autores Salas e Chuvieco (1994) utilizaram um GIS para elaborar um mapeamento de risco de incêndios florestais, onde combinaram características de relevo, tipo de vegetação e alterações antrópicas do local de estudo, estas associadas com os incêndios florestais. As variáveis foram previamente reclassificadas em pesos de 0 (baixo risco ou nulo) a 20 (Alto risco), apresentados nas tabelas 2 e 3, e posteriormente integradas de acordo com os modelos para risco de ignição e risco de comportamento apresentados nas equações 2 e 3.

Tabela 2 – Pesos aplicados para os diferentes grupos de risco

(continua)

<b>Risco Humano</b>	
<b>Classes</b>	<b>Pesos</b>
Rodovias	20
Menos de 50 metros até rodovias	18
Áreas de recreação	13
Trilhas	3
Menos de 50 metros para as trilhas	2
<b>Flamabilidade da vegetação</b>	
Floresta e arbusto altamente inflamáveis	20
Pastagem seca e arbustos de baixa flamabilidade	15
Pastagem úmida e árvores decíduas	10
Áreas agrícolas, áreas urbanas e água	0

(continuação)

<b>Iluminação</b>	
Máxima insolação	20
Alta insolação	15
Moderado	10
Insolação baixa	5
<b>Elevação</b>	
Alta elevação	20
Moderado a alta elevação	15
Moderado a baixa elevação	10
Baixa elevação	5

Fonte: traduzido e adaptado do autor segundo Salas e Chuvieco (1994).

## Equação 2

$$\text{Risco de ignição} = (4) * PH + (3) * CV + (2) * I - (1) * AL$$

onde:

PH - Plano de Informação (PI) que representa a presença humana;

CV - PI que representa a cobertura vegetal;

I - PI que representa as condições de iluminação do terreno;

AL - PI que representa a altitude;

Tabela 3 – Pesos aplicados para os diferentes grupos de risco

(continua)

<b>Modelo de combustíveis da vegetação</b>	
<b>Classes</b>	<b>Pesos</b>
Arbusto denso e altos, as vezes florestas	20
Arbustos de altura média	17
Arbustos baixos	13
Pastagem	10
Erva e plantas de folhas “agulha”	5
Nenhuma cobertura vegetal original	0

(continuação)

<b>Declividade</b>	
Declividade maior que 39 %	20
Declividade de 30 a 39 %	15
Declividade de 20 a 29%	10
Declividade de 10 a 19 %	5
Declividade abaixo de 10 %	0
<b>Aspecto (orientação das encostas)</b>	
Sudoeste	20
Sul ou sudeste	15
Leste ou oeste	10
Norte ou plano	5
<b>Elevação</b>	
Altas elevações	20
Moderado a alta elevação	15
Moderado a baixa elevação	10
Baixa elevação	5
<b>Quebra fogos</b>	
Rodovias	20
Quebra fogos	10
Sem quebra fogos	0

Fonte: traduzido e adaptado do autor segundo Salas e Chuvieco (1994).

### Equação 3

$$\text{Risco de comportamento} = (5) * MC + (4) * D\% + (3) * OE - (1) * AL - (1) * AC$$

onde:

MC - PI que representa o material combustível;

D% - PI que representa a declividade;

OE - PI que representa a orientação das encostas;

AC - PI que representa os aceiros.

Almeida (2000) elaborou um mapa de risco de incêndios por meio da análise dos seguintes fatores: vegetação, declividade do terreno, orientação das encostas, distâncias a estradas e rios. A integração destes dados foi feita por meio da equação 4, cujos coeficientes foram definidos a partir de análise hierárquica.

## Equação 4

$$\text{Perigo de incêndio} = (0,478) * CV + (0,250) * D\% + (0,178) * DE + (0,059) * OE + (0,038) * DR$$

onde:

CV - Plano de Informação (PI) que representa a cobertura vegetal;

D% - PI que representa a declividade;

DE - PI que representa a distância às estradas;

OE - PI que representa a orientação das encostas;

DR - PI que representa a distância aos rios.

O valor resultante deste modelo representa o perigo de incêndio em cada unidade de análise.

Numa nova abordagem Chhetri (2000) desenvolveu um zoneamento de áreas de risco de incêndio baseado apenas no regime de chuvas local.

Koproski (2010) utilizou o histórico dos incêndios, focos de calor e os índices de perigo de incêndios para compreender os incêndios a partir das ocorrências destes, identificando períodos críticos para ocorrência de incêndios do Parque Estadual do Cerrado. Realizou a interface do ZRIF com cada fisionomia vegetal e identificou a partir desse duas áreas prioritárias para o manejo do fogo com relação ao risco de incêndios, visando diminuí-lo.

Tetto *et al.* (2012) incluíram na análise, além das variáveis ambientais consideradas por Oliveira (2002), as zonas prioritárias para proteção como mais um dos parâmetros utilizados na álgebra de mapas. Como resultado do trabalho foi possível implementar ações de prevenção nas áreas críticas, melhorando a eficiência das medidas e otimizando os recursos.

Liz (2014) utilizou a ferramenta de álgebra de mapas para gerar o mapa de risco de incêndios para a Reserva Natural do Aguai, considerou os seguintes parâmetros na álgebra de mapas: presença humana, cobertura vegetal, material combustível, declividade, orientação das encostas e ventos predominantes. Na soma ponderada dos mapas utilizou como peso os valores de correlação obtidos a partir da análise dos registros de ocorrência de incêndio.

No desenvolvimento do mapa de suscetibilidade a incêndios em vegetação, dentro do perímetro urbano do Município de Ubá, MG, Torres *et al.* (2014) produziram um mapa a partir de informações referentes ao relevo, ao uso e cobertura do solo e à proximidade de vias de acesso e áreas urbanas, empregando técnicas de Geoprocessamento.

Enquanto White *et al.* (2016) desenvolveram um mapa de risco de incêndio florestal para o Município de Inhambupe, BA. Primeiramente elaboraram mapas prévios das variáveis: sistema viário, densidade demográfica, uso e cobertura do solo, malha hidrográfica, inclinação e orientação das encostas, que foram ponderadas pelo método do processo analítico hierárquico (AHP – *Analytic Hierarchy Process*) e integradas por meio da álgebra de mapas.

Na elaboração do mapa de risco de incêndio para o município de Viçosa, MG, Torres *et al.* (2017) com técnicas de Geoprocessamento consideraram a influência de fatores preditores como clima, relevo, uso do solo e influência antrópica.

O uso de ferramentas de um GIS permite obter mapas com rapidez e precisão a partir da atualização dos bancos de dados, constituindo ferramenta importante no estudo de potencialidades do ambiente, onde os cartogramas gerados fornecem uma visão sobre diversos componentes, como a declividade, o uso e a cobertura dos solos, a geomorfologia, entre outros, além de possibilitar o intercruzamento dos mapas gerados, estimando áreas de risco, potenciais ambientais e definindo zoneamentos (FARIA, 2009).

Um GIS possui a capacidade de coletar, sobrepor, manipular e visualizar um grande volume de dados derivados a partir da análise da possibilidade de ignição de um incêndio florestal, do seu potencial de propagação e efeitos relacionados. Ele pode ser uma ferramenta para a coordenação de todos os envolvidos nas medidas necessárias para a defesa contra os impactos causados por incêndios, e especificar o local, o momento e o modo de realização dessas medidas (VAKALIS *et al.*, 2004).

Os mapas de risco de incêndio originados a partir de um GIS permitem aos gestores florestais planejar estrategicamente as atividades de prevenção a longo prazo (PAZ *et al.*, 2011).

## **2.7 PROCESSO ANALÍTICO HIERÁRQUICO (AHP)**

O Processo Analítico Hierárquico do inglês *Analytic Hierarchy Process* – AHP, de acordo com Raffo (2012) é uma metodologia matemática utilizada para ponderar quantitativamente variáveis mediante a interação do pesquisador com o modelo e fazer isso em forma de considerações qualitativas. A técnica foi desenvolvida na década de 1970 por Thomas Saaty com o objetivo de auxiliar na tomada de decisões especialmente na área de Administração. A técnica AHP baseia-se na reunião entre especialistas nas diferentes áreas de interesse ao projeto, para auxiliar na definição dos critérios e dos fatores (SAATY, 2008).

Na atualidade a referida técnica é utilizada em diversas áreas, incluindo administração pública, planejamento urbano e regional, gerenciamento de recursos hídricos, transporte e

logística, gerenciamento de recursos naturais e meio ambiente, alocação de recursos para saúde, planejamento de investimentos empresariais e sociais (FERREIRA *et al.*, 2011).

Na área de GIS o AHP procura atribuir pesos as diferentes camadas temáticas a serem empregados na álgebra de mapas, ou ponderar às diversas classes existentes em cada mapa. Toda vez que for atribuído um peso a um mapa ou a uma classe temática, está sendo tomada uma decisão (RAFFO, 2012). No método AHP o problema de decisão é dividido em subproblemas, e estes também podem ser subdivididos até se chegar a problemas onde a obtenção de peso seja de mais fácil atribuição. Os pesos são obtidos por comparação das variáveis que participam do problema tratando-as em pares e segundo sua importância para o problema em questão.

O AHP é um método eficiente na agregação de mapas temáticos de incêndio florestal pois permite analisar a importância relativa existente entre as variáveis (SILVA *et al.*, 2007).

Nos últimos anos tem sido desenvolvidos, ou adaptados para trabalhar em ambiente GIS, vários sistemas de apoio à decisão adequados à definição de áreas prioritárias, com destaque para aqueles baseados na Análise Multicritério – AMC, como os métodos da Combinação Linear Ponderada – CLP, da Média Ponderada Ordenada – MPO e do Processo Hierárquico Analítico – AHP (PIERONI, 2018).

Ferreira *et al.* (2011) aplicou a AHP para obtenção de ZRIF no Parque Estadual do Cerrado, onde mostrou-se que a utilização da técnica de AHP foi satisfatória para a avaliação espacial do risco.

### **3. HIPÓTESE E OBJETIVOS**

#### **3.1 HIPÓTESE**

O ZRIF auxiliará de forma efetiva, o planejamento e gestão da proteção florestal mediante a análise de mapas temáticos.

#### **3.2 OBJETIVO GERAL**

Elaborar a base cartográfica para o Zoneamento de Risco de Incêndio Florestais de propriedades florestais no Planalto Catarinense.

### 3.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Estudar o estado da arte em ZRIF;
2. Determinar as variáveis a serem empregadas no ZRIF para as propriedades estudadas;
3. Testar a técnica do Processo Analítico Hierárquico – AHP na atribuição de pesos para as variáveis consideradas no ZRIF;
4. Gerar mapas de risco de incêndios para as propriedades florestais;

## 4. MATERIAL E MÉTODOS

### 4.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O trabalho foi desenvolvido para três propriedades pertencentes a uma empresa do setor florestal localizadas no município de Capão Alto, estado de Santa Catarina. As propriedades são identificadas como Fazenda Capão da Lagoa, Fazenda Estrela e Fazenda Triunfo, possuem área de 1.363 ha, 388 ha e 926 ha, respectivamente.

O município de Capão Alto localiza-se na mesorregião serrana de Santa Catarina na microrregião denominada Campos de Lages em coordenadas geodésicas médias 27° 56' 13" S, 50° 30' 43" W e altitude ortométrica média de 1.022 metros. Tem uma área de 1.335,80 km<sup>2</sup>, distante 270 km da capital Florianópolis, acessado pela rodovia SC 390 e é cortado pela BR-116 (IBGE, 2010). Sua população estimada em 2017 era de 2.597 habitantes (IBGE, 2017). A figura 1 mostra a localização do município e das fazendas.

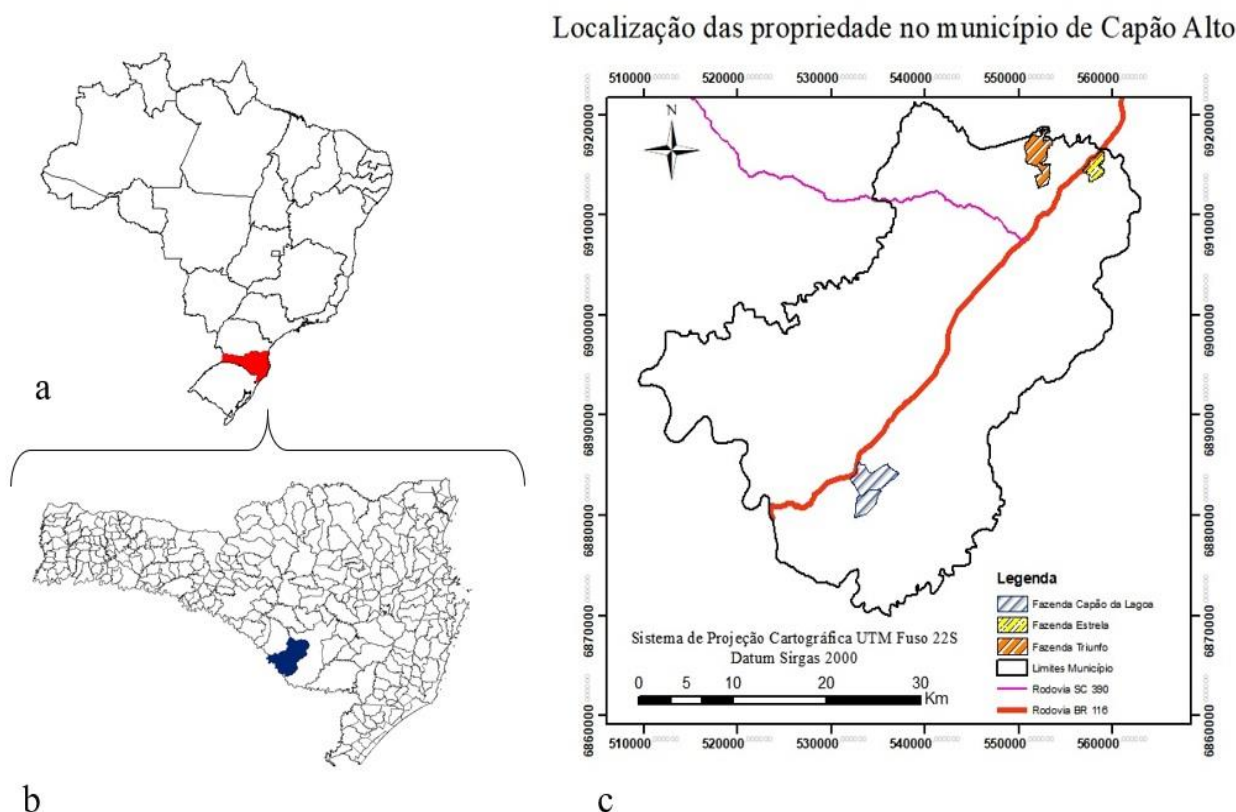
A região da área de estudo apresenta clima do tipo Cfb, de acordo com a classificação climática de Köppen, com clima mesotérmico, subtropical úmido, com verões frescos, sem estações secas e geadas severas frequentes. Este tipo climático é típico do Planalto Meridional Brasileiro, com temperatura média anual de 14°C (SOUZA *et al.*, 2015). Precipitação média anual de varia entre 1.200 a 1900 mm e Umidade Relativa do Ar Média de 83 % (INMET, 2018).

De acordo com IBGE (2012) a classificação da vegetação onde estão localizadas as propriedades pertence a região fitoecológica da Estepe (Campos do Sul do Brasil). No Planalto das Araucárias a Estepe é submetida a clima pluvial subtropical sem período seco e coexiste com a Floresta Ombrófila Mista (com araucária), cujas espécies são constituídas de capões e florestas-de-galeria. Por influência, principalmente, da altitude, suporta período frio (temperatura média mensal menor ou igual a 15° C) anual mais pronunciado, de até oito meses;



enquanto o período quente (temperatura média mensal menor ou igual a 20° C) é reduzido ou ausente.

Figura 1 – (a) Localização do estado de Santa Catarina; (b) localização do município de Capão Alto dentro do estado. (c) fazendas utilizadas no estudo.



Fonte: Malhas Digitais – IBGE, 2010, Limites das Fazendas – Klabin S.A.

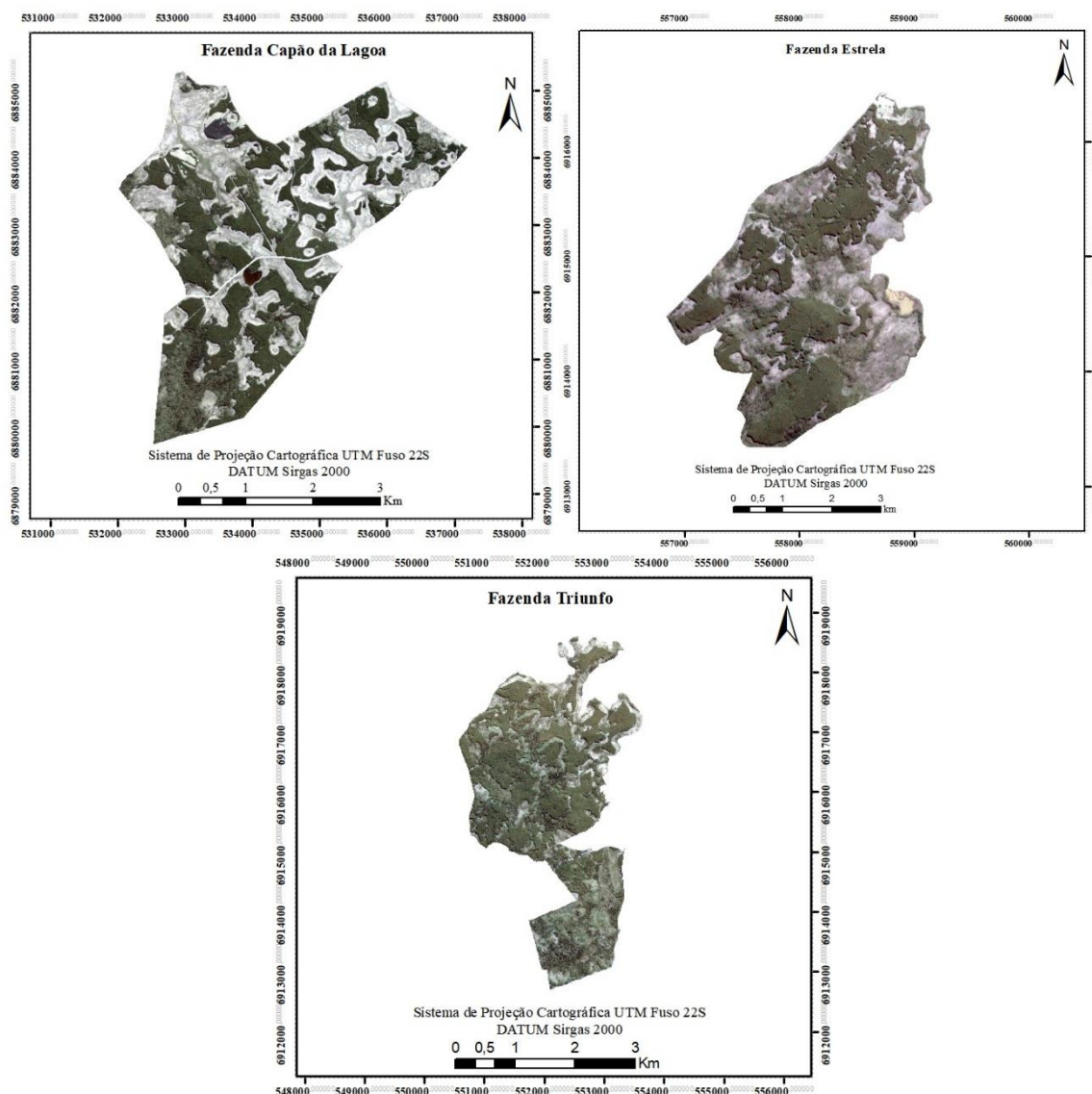
De acordo com IBGE (2012) a classificação da vegetação onde estão localizadas as propriedades pertence a região fitoecológica da Estepe (Campos do Sul do Brasil). No Planalto das Araucárias a Estepe é submetida a clima pluvial subtropical sem período seco e coexiste com a Floresta Ombrófila Mista (com araucária), cujas espécies são constituídas de capões e florestas-de-galeria. Por influência, principalmente, da altitude, suporta período frio (temperatura média mensal menor ou igual a 15° C) anual mais pronunciado, de até oito meses; enquanto o período quente (temperatura média mensal menor ou igual a 20° C) é reduzido ou ausente.

As formações abertas do sul do Brasil, são consideradas como "Formação gramíneo-lenhosa" e a vegetação campestre que ocorre como "ilhas" na região de Araucária,

correspondem aos campos planálticos. Estes campos mostram diferenças edáficas entre si e frequentemente apresentam depósitos turfosos, sendo geralmente conhecidos por denominações locais, como exemplos os campos de Lages, em Santa Catarina (LONGHI WAGNER, 2003).

A figura 2 mostra a um recorte de imagem Planet 2018 das fazendas utilizadas no estudo.

Figura 2 – Recorte imagem Planet (2018) nos limites das fazendas.



Fonte: Klabin S.A.

Silva (2011) realizou um levantamento florístico em áreas da Fazenda Capão da Lagoa e encontrou formação de campo úmido com predomínio de espécies herbáceas que ocorrem na maior parte do banhado, ambiente mais arbustivo com ocorrência das famílias Asteraceae e Onagraceae, esta última representada pelo gênero *Ludwigia* em um estrato vertical cujos

indivíduos atingem cerca de dois metros de altura, e a presença marcante de *Sphagnum* sp., uma espécie característica de campos turfosos, além da presença de lamina d'água especialmente neste local de vegetação mais arbustiva.

As propriedades possuem o plantio de espécies florestais exóticas, especialmente de *Pinus* e *Eucalyptus*.

As áreas de estudo foram selecionadas pelo histórico de ocorrência de incêndios, registrados em relatórios pertencentes a empresa, proximidade de rodovia, característica da vegetação, pois as Estepes apresentam elevado perigo de incêndios (SEGER *et al.* 2018) e em função da atividade de queima para limpeza e renovação de áreas, aplicada em propriedades vizinhas.

## 4.2 MATERIAIS UTILIZADOS PARA A ELABORAÇÃO DO ZRIF

Para a elaboração do Zoneamento de Risco de Incêndios Florestais para as fazendas estudadas foram utilizados os seguintes dados e materiais:

- Modelos Digitais do Terreno – MDT obtidos a partir das ortoimagens digitais derivadas do recobrimento aéreo do estado de Santa Catarina realizados nos anos de 2010 e 2011. Os MDT foram baixados do banco de dados da Secretaria Estadual de Desenvolvimento Sustentável/SC e possuem resolução espacial de 1 m;
- Registros meteorológicos mensais de direção e velocidade dos ventos da estação automática de Lages, no período entre 01/01/2008 a 31/12/2016, baixados do banco de dados do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET);
- Limites das fazendas fornecidas pela empresa em formato vetorial *shapefile*;
- Limites do município obtido das malhas digitais municipais do IBGE;
- Mapa de uso e cobertura da terra das propriedades disponibilizados pela empresa em formato vetorial *shapefile*;
- Mapa de estradas das propriedades disponibilizados pela empresa em formato vetorial *shapefile*;
- Imagem Planet disponibilizado pela empresa em formato matricial com resolução geométrica de 3 m;
- Registro de ocorrência de incêndios florestais fornecidos pela empresa;
- Focos de calor, obtidos no banco de dados online do Programa Queimadas do INPE, para o período de janeiro de 2008 até dezembro de 2018;

- Computador de mesa com Licença do ArcMap 10.4 e com extensão *Spatial Analyst*, *3D Analyst* e *Excel*.

### 4.3 PROCEDIMENTOS UTILIZADOS PARA A ELABORAÇÃO DO ZRIF

De posse dos dados, foram criados mapas temáticos preliminares de risco de incêndio para cada parâmetro considerado no zoneamento seguindo a metodologia proposta por Oliveira (2002). Foram confeccionados mapas de risco de incêndio referentes as variáveis presença humana – PH, ventos predominantes – VP, material combustível – MC, declividade – D%, uso e cobertura do solo – CS e orientação das encostas – OE. Estes mapas de risco foram integrados por meio de uma soma ponderada com o uso da técnica de álgebra de mapas, onde cada variável teve um peso arbitrado corresponde ao grau de influência no risco de incêndio florestal. Foram utilizados dois modelos para a soma das variáveis, o primeiro modelo proposto por Oliveira (2002), e o segundo obtido por meio da técnica AHP na determinação dos pesos atribuídos as variáveis (SAATY, 2008).

As variáveis consideradas foram reclassificadas em uma escala de concordância com o grau de risco variando de 0 a 5 para aplicação do modelo proposto por Oliveira (2002), e 1, 2, 3, 5, 7, 9 para aplicação do modelo da AHP conforme mostra a tabela 4.

Tabela 4 – Coeficientes conforme o grau de risco de incêndio

Grau de risco	Coeficientes	
	Oliveira	AHP
Nulo	0	1
Baixo	1	2
Moderado	2	3
Alto	3	5
Muito alto	4	7
Extremo	5	9

Fonte: Batista *et al.* (2002), Salas e Chuvieco (1994); adaptado de Saaty (2008).

#### 4.3.1 Presença humana

A constituição do parâmetro presença humana é dado pelos fatores que influenciam a circulação e as atividades de pessoas e veículos no interior e entorno das propriedades, sendo estimada a partir dos mapas de divisas, malha viária e hidrografia.

Com o arquivo vetorial *shapefile* das estradas foi atribuído um raio de influência conforme o tipo de estrada (interna ou externa).

A rede hidrográfica foi obtida do banco de dados da Agência Nacional de Águas – ANA, tendo sido considerado para o zoneamento a correlação da declividade com a dificuldade de acesso a determinados pontos dos rios, ou seja, declividades maiores que 20% seriam de relevo forte ondulado, difícil acesso e até inacessíveis, portanto locais sem influência no risco de incêndio (GUIMARÃES, 2016).

O entorno das propriedades foi definido com a criação de arquivos vetoriais *shapefile* de linhas, onde foram traçados sobre os limites das propriedades o uso e cobertura da terra das propriedades vizinhas. Empregou-se as imagens do serviço de imagem pela internet (*Web Map Service*) disponibilizada pelo SIGSC. Posteriormente, sobre as linhas delimitadas do entorno foram atribuídos raios de influência, de acordo com a tabela 5, para cada feição de cobertura e uso do solo encontrado.

De posse dos parâmetros que constituem o risco conforme a presença humana, foi utilizado a metodologia proposta por Oliveira (2002), Liz (2014) para caracterizar o risco.

A tabela 5 apresenta raio de influência atribuído a cada feição.

Tabela 5 – Raios de influência conforme a atividades e presença humana

<b>Elementos de infraestrutura</b>	<b>Raio de Influência</b>
Estrada Interna	30
Estrada Externa	100
Curso d'água acessível	30
Divisa com Mata Nativa	30
Divisa com Campos e Agricultura	100
Divisa com Floresta Plantada	30

Fonte: Adaptado de Oliveira (2002); Liz (2014).

A partir dos raios de influência foram definidas as áreas que indicam a presença humana, estes locais foram classificados em duas classes, sob influência (possui risco de incêndio) e sem influência humana (não possui risco de incêndio). Para cada classe foram atribuídos coeficientes, conforme apresenta tabela 6, que representam um valor no arquivo matricial, nas regiões definidas.

Tabela 6 – Classificação do risco de incêndio conforme a presença humana

OE	Risco	Coeficientes	
		Oliveira	AHP
Sob influência	Sim	1	9
Sem influência	Não	0	1

Fonte: Adaptado de Oliveira (2002); Saaty (2008).

#### 4.3.2 Cobertura do solo

Em cada feição da cobertura do solo foi atribuído um grau de risco de incêndio, e um coeficiente correspondente adaptados de Oliveira (2002), a ser utilizado na álgebra de mapas. As classes de risco e os coeficientes são apresentados na tabela 7. Uma divergência em relação a referência utilizada ocorreu na classificação das áreas de APP. Em seu estudo, a autora referência atribuiu grau de risco nulo as APP, no entanto, neste trabalho foi atribuído grau de risco alto, já que a composição florística das APP na maior parte das áreas são constituídas de campos, gramíneas, vegetação rasteira, desta forma, nestas áreas o início do fogo quando a vegetação entra em contato com uma fonte de ignição é facilitada e, da mesma forma a propagação deste.

Tabela 7 – Grau de risco de acordo com a classe de cobertura e uso do solo.

Classe	Risco	Coeficientes	
		Oliveira	AHP
APP	Alto	3	5
Área Produtiva	Extremo	5	9
Estradas	Nulo	0	1
Vegetação Nativa	Moderado	2	3
Infraestrutura	Baixo	1	2
Outras Áreas	Alto	3	5

Fonte: adaptado de Oliveira (2002); Saaty (2008).

A figura 03 apresenta os mapas de cobertura e uso da terra para as fazendas.

### 4.3.3 Material combustível

A classificação de risco de incêndio florestal de acordo com a carga de material combustível foi definida em função dos tipos vegetacionais, e da cobertura do solo existente nas propriedades.

Conforme a recomendação de Oliveira (2002) para expressar a quantidade de serapilheira em áreas de preservação permanente foi utilizado o valor médio correspondente aos valores extraídos de estudos realizados por Krapfenbauer e Andrae (1983), Floss, Caldato e Bohner (1999) e Schumacher (2000). Para as áreas, construções e estradas foi atribuído o valor nulo, em função da ausência de combustível nestas áreas.

Nas áreas de campos foi considerado o peso do material de acordo com Seger *et al.* (2018) que encontraram carga média de material fino em região da Estepe Gramíneo-Lenhosa de 10,985 Mg.ha<sup>-1</sup> (Megagrama por hectare), a qual se encontra dentro da faixa de valores obtidos por outros autores para a vegetação de campos, que pode variar de 4,90 Mg.ha<sup>-1</sup> a 13,80 Mg.ha<sup>-1</sup>.

A Floresta Ombrófila Mista apresenta carga em torno de 12 ton.ha<sup>-1</sup> (LIZ, 2014). As áreas produtivas das propriedades cobertas na maior parte por *Pinus* tiveram sua carga de material combustível calculada pela equação 5 (OLIVEIRA, 2002).

Equação 5

$$W = ((1,690201 \cdot \ln I - 0,495039)^2 + (7,19864 - 0,000112 \cdot I^3 - (12,016474/\sqrt{I}))^2)$$

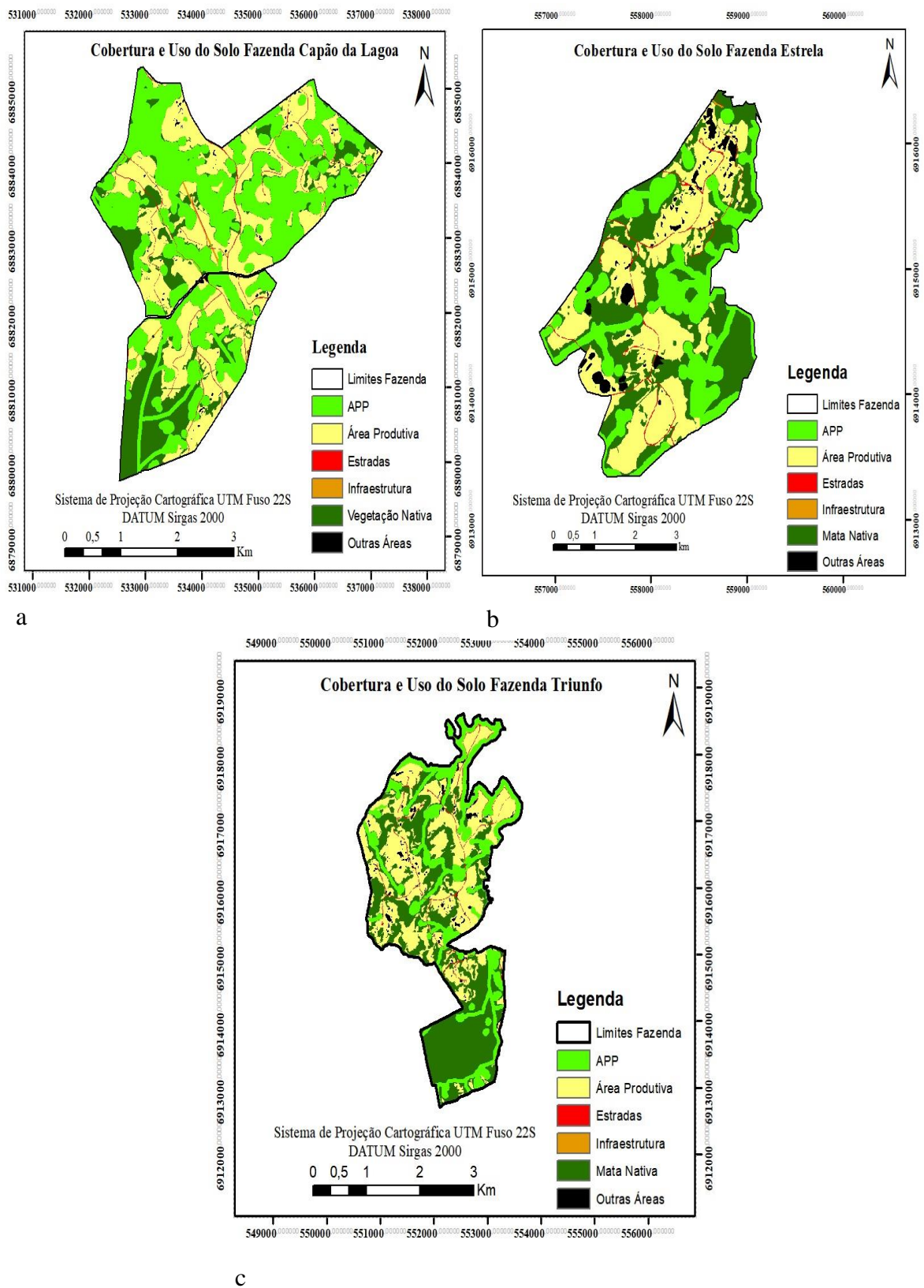
onde:

W – Valor da carga de material combustível para floresta de *Pinus sp* (Mg.ha<sup>-1</sup>).

I – Idade do talhão em questão em anos.

As cargas de material combustível foram distribuídas em seis classes, as quais variam de 0 (zero) a valores maiores ou iguais ( $\geq$ ) a 60Mg.ha<sup>-1</sup>, para as quais foram atribuídas um grau de risco e coeficientes que serão utilizados na álgebra de mapas. Os riscos de incêndios associados à carga de material combustível são mostrados na Tabela 8.

Figura 3 – Mapas de Cobertura e Uso da Terra. (a) Fazenda Capão da Lagoa. (b) Fazenda Estrela. (c) Fazenda Triunfo.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.



Tabela 8 – Classificação do risco de incêndio florestal conforme a carga de material combustível

Carga de Material Combustível (Mg.ha <sup>-1</sup> )	Risco	Coeficientes	
		Oliveira	AHP
0 – 0,9	Nulo	0	1
1	Baixo	1	2
1,1 – 19,9	Moderado	2	3
20 – 39,9	Alto	3	5
40 – 59,9	Muito Alto	4	7
≥ 60	Extremo	5	9

Fonte: Adaptado de Oliveira (2002), Saaty (2008).

#### 4.3.4 Declividade

Os mapas de risco de incêndio em função da declividade do terreno foram obtidos pela utilização da ferramenta *slope* do ArcMap a partir do DTM correspondente as áreas das fazendas. Os MDT foram obtidos no banco de dados da Secretaria de Estado do Desenvolvimento Sustentável de Santa Catarina – SDS/SC, disponíveis no site da secretaria. Os MDT foram reamostrados para uma resolução espacial de 5 m, esta resolução é apropriada para apresentar a variabilidade das características da declividade do terreno dentro do nível de detalhamento exigido para este trabalho e de acordo com as precisões verificadas para o produto utilizado.

Na classificação do risco de incêndio segundo a declividade foram utilizados os coeficientes da Tabela 9 adaptada de Oliveira (2002) e Saaty (2008), aonde é relacionado o grau de risco de incêndio em função da inclinação do terreno, pois este possui influência direta na propagação do incêndio. Para cada valor de declividade foram atribuídos coeficientes de acordo com o grau risco.

Tabela 9 – Classificação de risco de incêndio conforme declividade do terreno

Inclinação (°)	Risco	Coeficientes	
		Oliveira	AHP
0 – 4	Nulo	0	1
5 – 15	Baixo	1	2
16 – 25	Moderado	2	3
26 – 35	Alto	3	5
36 – 45	Muito alto	4	7
≥ 46	Extremo	5	9

Fonte: Oliveira (2002), Saaty (2008).

#### 4.3.4 Orientação das encostas

Os mapas de risco em função da orientação das encostas (aspecto) foram obtidos a partir dos MDT citados no capítulo 4.3.3. Na obtenção dos mapas de aspecto foi utilizado a ferramenta *Aspect* do Arcmap.

A Tabela 10 adaptada de Oliveira (2002) e Saaty (2008), traduz o risco de incêndio com relação a orientação das encostas. No hemisfério Sul os locais mais expostos ao Norte recebem maior incidência de raios solares, gerando um maior aquecimento do local, influenciando o risco de incêndios. As áreas expostas ao Leste o risco é maior devido a maior presença de ventos, o que influencia o fator propagação dependendo da direção do vento no local (FERRAZ & VETORAZZI, 1998). Indiretamente a orientação das encostas pode indicar o teor de umidade do material combustível devido à iluminação do sol, que influencia, consequentemente, na taxa de propagação dos incêndios florestais (PRUDENTE, 2010).

Os intervalos angulares das encostas foram distribuídos em seis classes, variando em 45° cada, com exceção da classe 5 (NW/W) a qual foi estabelecido um intervalo de 90°. Para cada intervalo de classe foi atribuído um grau risco de incêndio florestal e coeficientes, que serão utilizados na integração dos mapas (OLIVEIRA, 2002).

Tabela 10 – Risco de incêndio conforme a orientação das encostas.

Ângulo de orientação	Exposição	Risco	Coeficientes	
			Oliveira	AHP
157,5° a 202,5°	S	Nulo	0	0
112,5° a 157,5° e 202,5° a 247,5°	SE/SW	Baixo	1	1
67,5° a 112,5°	E	Moderado	2	2
22,5° a 67,5°	NE	Alto	3	3
247,5° a 337,5°	NW/W	Muito alto	4	4
337,5° a 22,5°	N	Extremo	5	5

Fonte: Oliveira (2002), Saaty (2008).

#### 4.3.5 Ventos predominantes

Os dados de ventos foram obtidos do Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa – BDMEP do Instituto Nacional de Meteorologia – INMET, correspondentes as séries históricas dos ventos registrados pela estação localizada na cidade de Lages, SC. Considerou-se o período de 01/01/2008 a 03/05/2017, tendo sido baixados os dados mais recentes que estavam disponíveis para *download*. O mapa de risco de incêndio segundo a influência dos

ventos predominantes foi obtido a partir da classificação do mapa de orientação das encostas, segundo as direções e características dos ventos predominantes na região. Para a classificação dos ventos foi adaptado a classificação utilizada por Oliveira (2002) que relacionou o grau de risco a direção e características dos ventos, mostrados na tabela 11.

Tabela 11 – Classificação de risco de acordo ventos predominantes.

Direção dos ventos	Tendências apresentadas	Coeficientes	
		Oliveira	AHP
NE	Ventos com características aparentemente mais secas	2	3
Outros	Ventos com menor frequência	0	1

Fonte: adaptada de OLIVEIRA (2002), Saaty (2008).

#### 4.3.6 Determinação dos pesos por meio do Processo Analítico Hierárquico - AHP

Proposto por Saaty em 1977, o método AHP se apresenta como um método de análise multicritério em que os julgamentos dos critérios individuais são determinados por meio da síntese dos agentes de decisão, uma medida global para cada alternativa, que prioriza ou classifica as variáveis em estudo segundo uma hierarquia de importância. A escolha do grau de importância de cada variável na matriz de comparação par-a-par ou matriz de decisão está associado à observação em campo, pelo levantamento bibliográfico e na experiência do especialista (JUVANHOL, 2014).

Os pesos são determinados por uma escala de julgamentos variando de 1 quando os critérios são de mesma importância a 9 para importância absoluta de um critério sobre o outro. De maneira geral, se a importância de um critério  $X_i$  em relação ao  $X_j$  é  $a_{ij}$ , em seguida,  $X_j$  em relação a  $X_i$  deve ser  $1/a_{ij}$ .

A matriz de comparação registra a importância percebida relativa de cada critério com cada outro critério e permite que os tomadores de decisão obtenham um conjunto de relação em escala de pesos para os critérios individuais. Por fim, uma relação de consistência – RC é calculada para determinar se a avaliação foi bem-sucedida ou não. Uma RC inferior a 0,1 indica boa consistência. Se ele indica inconsistência na comparação de pares deve ser reavaliado (JUVANHOL, 2014). Exemplos detalhando esta etapa podem ser vistos em Saaty (2008).

A matriz de comparação elaborada para este trabalho é apresentada na seção de resultados. A ordem de importância das variáveis foi a mesma utilizada por Oliveira (2002),

obtendo pesos maiores conforme a sequência presença humana, ventos predominantes, material combustível, declividade, cobertura do solo e orientação das encostas.

#### 4.3.7 Integração dos Mapas de Risco de Incêndio Florestal

O Zoneamento de Risco de Incêndios Florestais para as propriedades foram gerados por meio da técnica de sobreposição (*overlay*) dos mapas temáticos, ou seja, função da somatória ponderada dos riscos parciais de cada variável previamente analisada como proposta por Ribeiro *et al.* (2012), Batista *et al.* (2002) e Salas e Chuvieco (1994).

O modelo geral de integração dos dados é expresso pela equação 6.

Equação 6

$$RIF = PH + VP + MC + D + CS + OE$$

onde:

RFI – Risco de incêndio florestal;

PH – Coeficiente de risco segundo a presença humana;

VP – Coeficiente de risco segundo os ventos predominantes;

MC – Coeficiente de risco segundo o material combustível;

CS – Coeficiente de risco segundo a cobertura do solo;

D – Coeficiente de risco segundo a declividade;

OE – Coeficiente de risco segundo a orientação das encostas;

Dois modelos foram utilizados para realizar a somatória ponderada dos riscos preliminares de incêndio florestal. O primeiro modelo apresentado na equação 7, foi utilizado por Oliveira (2002) e Liz (2014). O segundo modelo, apresentado na equação 8, foi obtido por meio da técnica AHP, onde os pesos atribuídos a cada variável foram determinados para serem aplicados na integração dos mapas.

As sobreposições dos mapas foram obtidas com a ferramenta *Raster calculator* do Arcmap.

Equação 7

$$\text{RIF} = (01,70) * \text{PH} + (00,61) * \text{VP} + (0,56) * \text{MC} + (0,29) * \text{D\%} + (0,13) * \text{CV} + (0,11) * \text{OE}$$

Equação 8

$$\text{RIF} = (0,473) * \text{PH} + (0,211) * \text{VP} + (0,156) * \text{MC} + (0,066) * \text{D\%} + (0,055) * \text{CV} + (0,039) * \text{OE}$$

Os valores entre parênteses representam os pesos atribuídos a cada uma das variáveis utilizadas no estudo. O valor resultante deste modelo representa o risco de incêndio florestal em cada unidade de análise.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 RISCO DE INCÊNDIO EM FUNÇÃO DA PRESENÇA HUMANA

A elaboração dos mapas temáticos referente a presença humana considerou a malha viária das fazendas, rede hidrográfica, atividades encontradas, paisagem do entorno e pontos sociais, que representam as comunidades, mapeados pela empresa. A tabela 12 apresenta as áreas que sofrem a influência humana e geram risco de incêndio de acordo com a metodologia aplicada.

Tabela 12 – Áreas das fazendas de acordo com a influência da presença humana para o risco de incêndio

<b>Presença Humana</b>	<b>Capão da Lagoa</b>		<b>Estrela</b>		<b>Triunfo</b>	
	Área (ha)	%	Área (ha)	%	Área (ha)	%
<b>Sem Influência</b>	932,95	68	257,90	66%	608,76	66%
<b>Com Influência</b>	430,05	32	130,10	34%	317,24	34%
<b>Total</b>	1363	100%	388,0	100%	926	100%

Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

A análise da tabela 12 permite afirmar que 32% da área da Fazenda Capão da Lagoa, 34% da Fazenda Estrela e da mesma forma 34% da Fazenda Triunfo estão sob influência humana. Os valores estão acima do encontrado por Liz (2014), no ZRIF da Reserva Biológica do Aguai, onde 29% da área da reserva está sobre a influência humana. Da mesma forma, acima

do encontrado por Batista, Oliveira e Soares (2002), em que 15,18% da área considerada estão sob influência humana, e do encontrado por Tetto (2009) que foi de 7,59 para o ZRIF da Floresta Nacional de Irati.

A presença do homem na floresta para fins diversos pode aumentar as chances de ocorrência de fogo, como consequência, observa-se que as regiões com vegetação localizadas próximas a vias públicas, ou aglomerados urbanos, tendem a ser susceptíveis a ocorrência de fogo (MELO, 2018).

A Figura 4 apresenta os mapas de risco de incêndio conforme a influência humana para as Fazendas Capão da Lagoa, Estrela e Triunfo. Nos mapas estão plotados os pontos sociais, aos quais foram atribuídos um raio (*buffer*) de 100 m, inferindo desta maneira a influência ou não sobre as fazendas. Foi verificado que apenas um dos pontos tem influência sobre uma das fazendas (Fazenda Estrela).

#### 4.2 RISCO DE INCÊNDIO EM FUNÇÃO DA COBERTURA DO SOLO

O levantamento do uso e cobertura da terra fornecidos pela empresa com as áreas e representatividade são apresentadas na tabela 13.

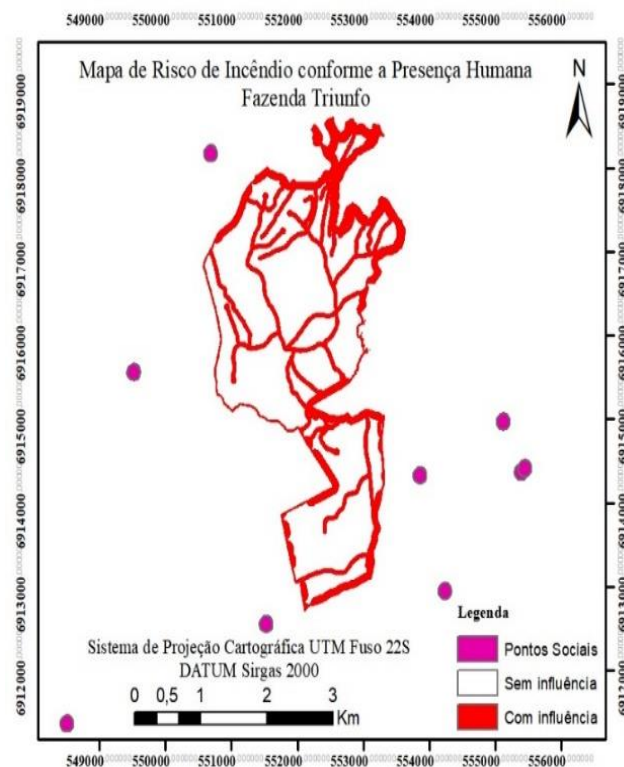
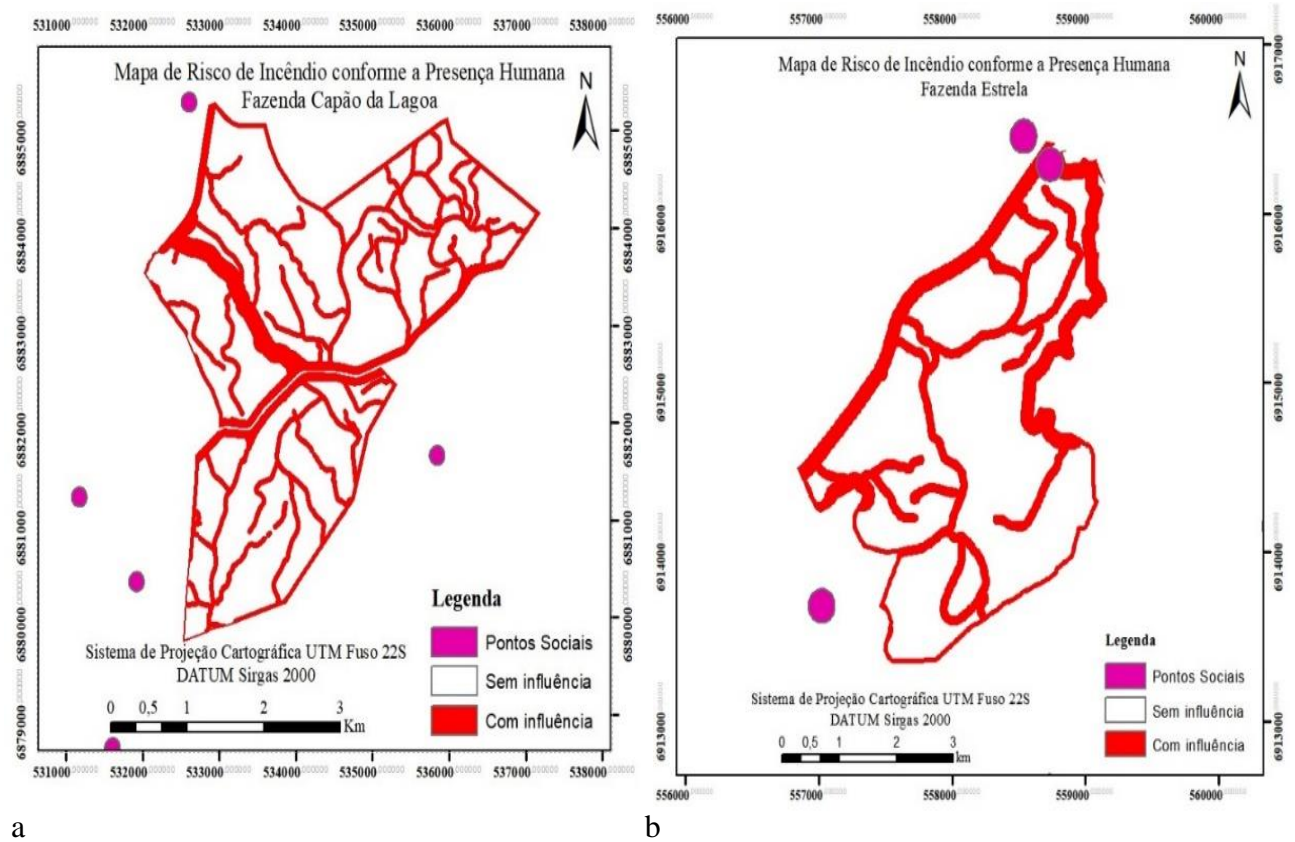
Tabela 13 – Uso e cobertura da terra por classe

Classe	Capão da Lagoa		Estrela		Triunfo	
	Área (ha)	%	Área (ha)	%	Área (ha)	%
APP	647,0	47,5	102,6	26,4	234,2	25,3
Área Produtiva	463,5	34,0	137,4	35,4	312,3	33,7
Estradas	21,0	1,5	5,9	1,5	16,4	1,8
Vegetação Nativa	222,0	16,3	127,0	32,7	343,5	37,1
Infraestrutura	3,41	0,3	1,0	0,3	0,6	0,1
Outras Áreas	6,03	0,4	14,1	3,6	19,0	2,0
<b>Total</b>	<b>1363,0</b>	<b>100%</b>	<b>388,0</b>	<b>100,0%</b>	<b>926,0</b>	<b>100,0%</b>

Fonte: Klabin S.A, adaptado pelo autor, 2018.

A tabela 14 demonstra as áreas por classe de risco, e a representatividade em relação as áreas totais, do risco de incêndio em função da cobertura do solo.

Figura 4 – Mapas de Risco de Incêndio conforme a Influência da Presença Humana. (a) Fazenda Capão da Lagoa. (b) Fazenda Estrela. (c) Fazenda Triunfo.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

Tabela 14 – Porcentagem das áreas para cada classe de risco de incêndio conforme a cobertura do solo.

Grau de risco	Capão da Lagoa		Estrela		Triunfo	
	Área (ha)	%	Área (ha)	%	Área (ha)	%
<b>Nulo</b>	20,8	2	5,9	2	16,7	2
<b>Baixo</b>	3,4	0	1,0	0	0,6	0
<b>Moderado</b>	221,5	16	127,3	33	343,1	37
<b>Alto</b>	654,4	48	116,5	30	253,0	27
<b>Muito Alto</b>	0,0	0	0,0	0	0,0	0
<b>Extremo</b>	462,8	34	137,2	35	312,6	34
<b>Total</b>	1363	100%	388	100%	926	100%

Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

A análise da tabela 14 mostra que a maior parte da área da Fazenda Capão da Lagoa foi enquadrada no grau de risco moderado, representando 48% da área total do risco conforme a cobertura do solo. Esse resultado se deu em função da composição florística das APP, onde é encontrado a Estepe, a qual apresenta elevado perigo de ignição devido ao seu arranjo e proporção de material fino (SEGER *et al.*, 2018).

Uma área expressiva de 31% da Fazenda Capão da Lagoa foi classificada no risco extremo, este associado as áreas produtivas. A suscetibilidade ao fogo nestas áreas está centrada nos plantios de *Pinus*, devido a elevada quantidade de acículas depositadas sobre o solo (RIBEIRO *et al.*, 2008), sendo este material classificado como perigoso (SOARES, 1985).

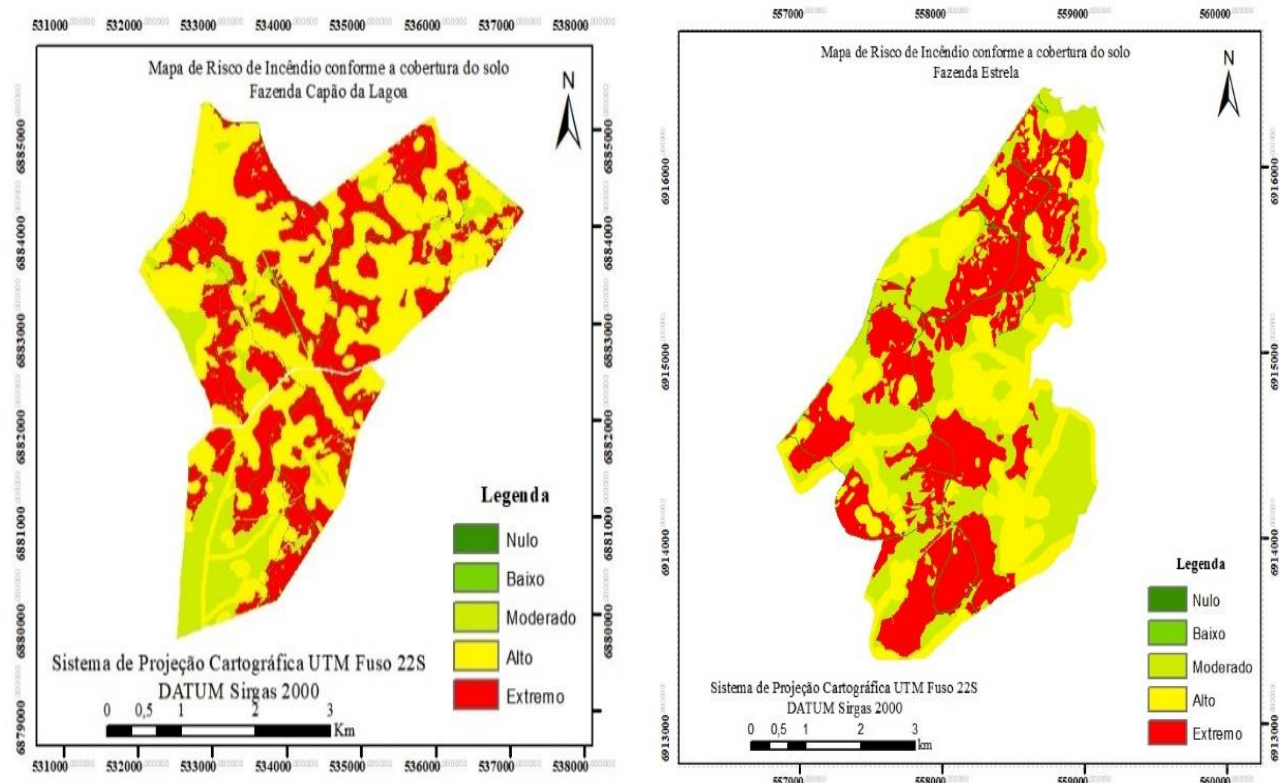
As fazendas Estrela e Triunfo apresentaram resultados semelhantes, aonde 33 % da área da Fazenda Estrela e 37% da Fazenda Triunfo foram classificadas no risco moderado, 30% e 27% no risco alto, 35% e 34% no risco extremo, respectivamente.

As áreas de vegetação nativa da Floresta Ombrófila Mista Montana, são menos suscetíveis aos incêndios, em função do microclima, das características e maior umidade do material vegetal (RIBEIRO *et al.*, 2008). O estudo de risco de incêndios relacionado ao uso e ocupação da terra, é importante para avaliar o grau de influência de uma vegetação ao início e propagação do incêndio (JUVANHOL, 2014).

A figura 5 apresenta os mapas de risco de incêndio conforme a cobertura do solo para as três fazendas analisadas.

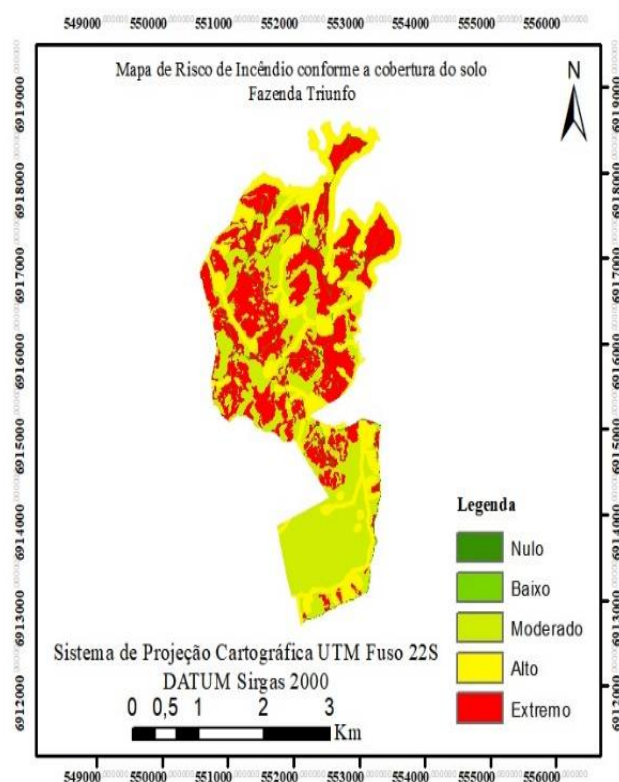


Figura 5 – Mapas de Risco de Incêndio conforme a Cobertura do Solo. (a) Fazenda Capão da Lagoa. (b) Fazenda Estrela. (c) Fazenda Triunfo.



a

b



c

Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

### 4.3 RISCO DE INCÊNDIO EM FUNÇÃO DO MATERIAL COMBUSTÍVEL

A tabela 15 demonstra as áreas por grau de risco, e a representatividade em relação a área total das fazendas, para o risco de incêndio em função do material combustível.

Tabela 15 – Porcentagem das áreas para cada classe de risco de incêndio conforme o material combustível.

Grau de risco	Capão da Lagoa		Estrela		Triunfo	
	Área (ha)	%	Área (ha)	%	Área (ha)	%
<b>Nulo</b>	23,9	2	5,9	2	16,7	1,8
<b>Baixo</b>	0,0	0	1,0	0	0,6	0,1
<b>Moderado</b>	977,6	72	243,8	63	596,1	64,4
<b>Alto</b>	361,5	27	137,2	35	312,6	33,8
<b>Muito Alto</b>	0,0	0	0	0	0	0
<b>Extremo</b>	0,0	0	0	0	0	0
<b>Total</b>	1363	100	388	100%	926	100%

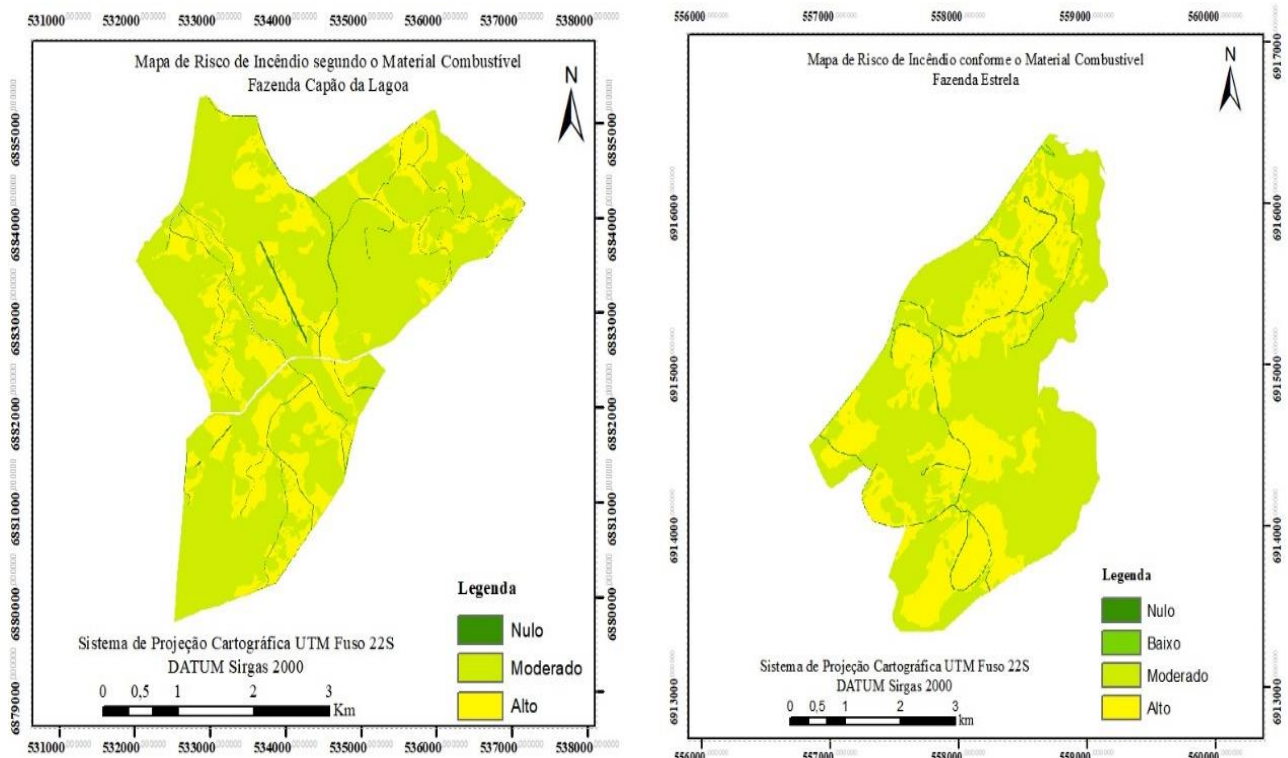
Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

A análise da tabela 15 mostra que a maior parte das áreas apresentaram risco modelado em função da carga de material combustível, com 72 % para a Fazenda Capão da Lagoa, 63 % Fazenda Estrela e 64, 4 % Fazenda triunfo. O risco muito alto e o extremo não tiveram representatividade em nenhuma das três áreas. Este padrão também foi encontrado por Liz (2004) que utilizou metodologia semelhante para o levantamento da carga de material combustível, tendo encontrado 99 % da área de estudo dentro classe de risco moderado.

As áreas das fazendas são cobertas em grande parte por formações vegetacionais rasteiras, características da Estepe, com baixo peso de material combustível por/ha. Quanto aos povoamentos das áreas produtivas, esses encontram-se em média com 7 anos de idade, compondo o risco de incêndio alto para esse fator. Conforme Brown e Bevins (1986) a variação de cargas de combustível e comportamento do fogo previsto dentro de tipos de cobertura e grupos de incêndio é considerável, comparado à variação entre os vários tipos de vegetação.

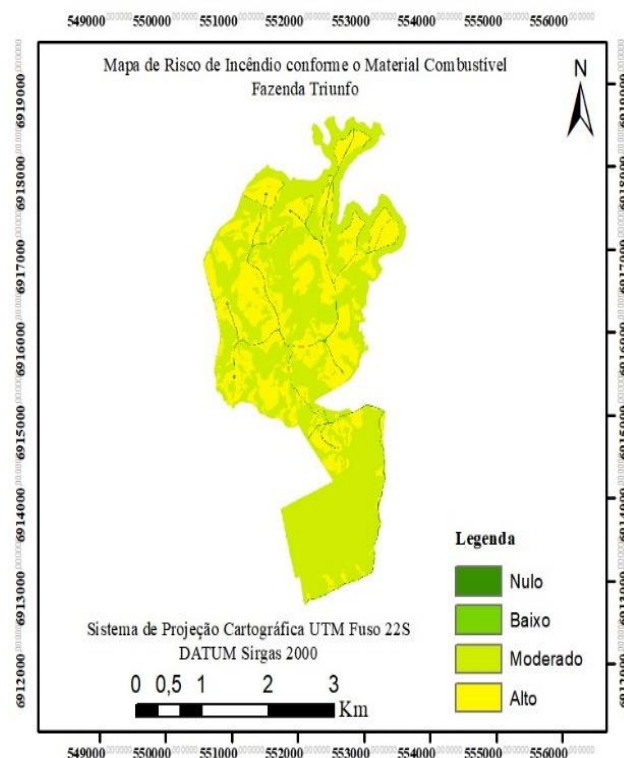
A figura 6 apresenta os mapas de risco de incêndio conforme o material combustível para as três fazendas analisadas.

Figura 6 – Mapas de Risco de Incêndio conforme o Material Combustível. (a) Fazenda Capão da Lagoa. (b) Fazenda Estrela. (c) Fazenda Triunfo.



a

b



c

#### 4.4 RISCO DE INCÊNDIO EM FUNÇÃO DA DECLIVIDADE

A tabela 16 demonstra as áreas por grau de risco, e a representatividade em relação a área total das fazendas, para o risco de incêndio em função da declividade. Cerca de 71% da área da fazenda Capão da Lagoa, 63% da Estrela e 68% da Triunfo estão em risco baixo ou moderado. O risco moderado e alto para a fazenda Capão da Lagoa cobriu aproximadamente 47% da área, indicando que as condições de propagação do fogo nesta fazenda, em relação a variável declividade é favorecido.

Conforme Batista *et al.* (2014) a taxa de propagação do fogo pode aumentar nas encostas mais íngremes, devido à proximidade do fogo a superfície do solo e o processo de convecção de calor, o qual pode ser elevado pela ação do vento.

O clima e o tipo de vegetação de uma área serão influenciados de forma direta pelo relevo. Isso ocorre devido as condições do vento, umidade do ar e do material combustível associado ao nível topográfico. As áreas de maiores declividades são consideradas de maior suscetibilidade ao fogo devido à transferência de calor que é facilitada no sentido do aclave, aumentando a velocidade de propagação do incêndio (AGUIAR *et al.*, 2015).

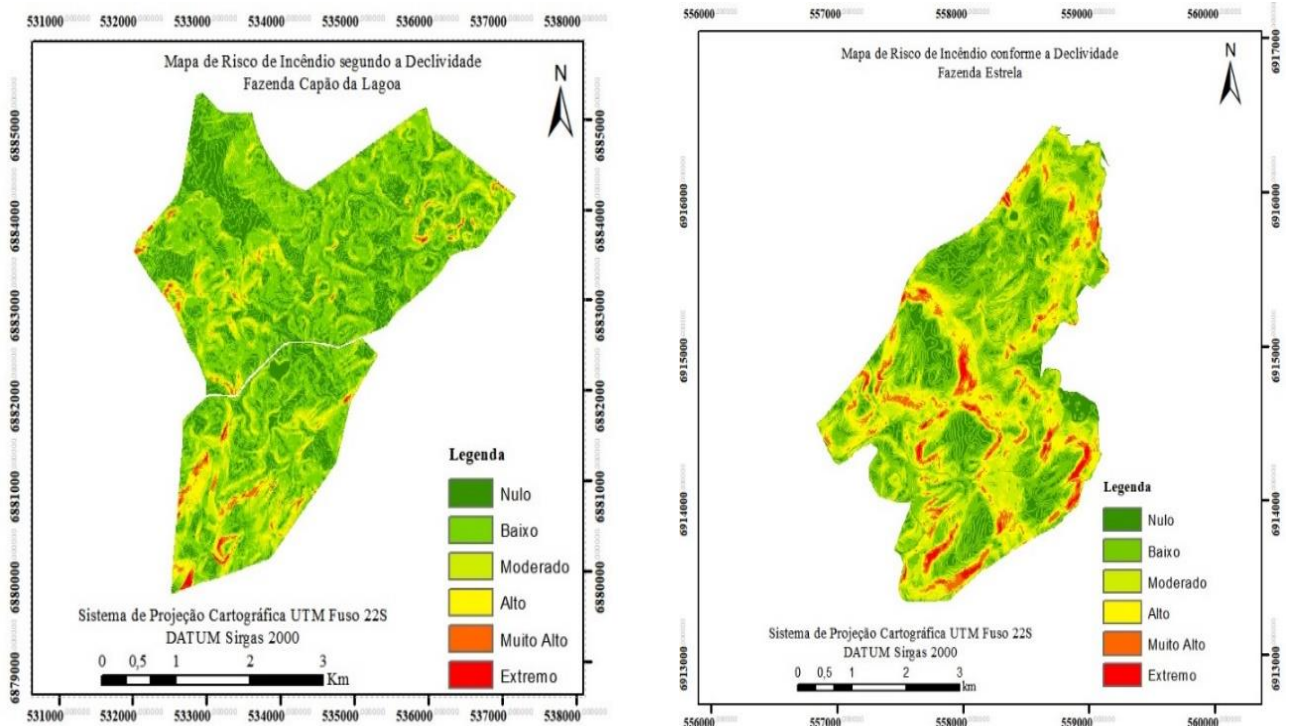
Tabela 16 – Áreas das fazendas por classe de risco em função da declividade

Grau de risco	Capão da Lagoa		Estrela		Triunfo	
	Área (ha)	%	Área (ha)	%	Área (ha)	%
<b>Nulo</b>	299,2	22	45,1	12	136,0	15
<b>Baixo</b>	712,2	52	132,7	34	389,8	42
<b>Moderado</b>	254,9	19	111,8	29	243,5	26
<b>Alto</b>	72,1	5	67,9	18	114,4	12
<b>Muito Alto</b>	20,4	1	25,0	6	35,2	4
<b>Extremo</b>	4,3	0,3%	5,5	1	7,1	1
<b>Total</b>	1363	100%	388	100%	926	100%

Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

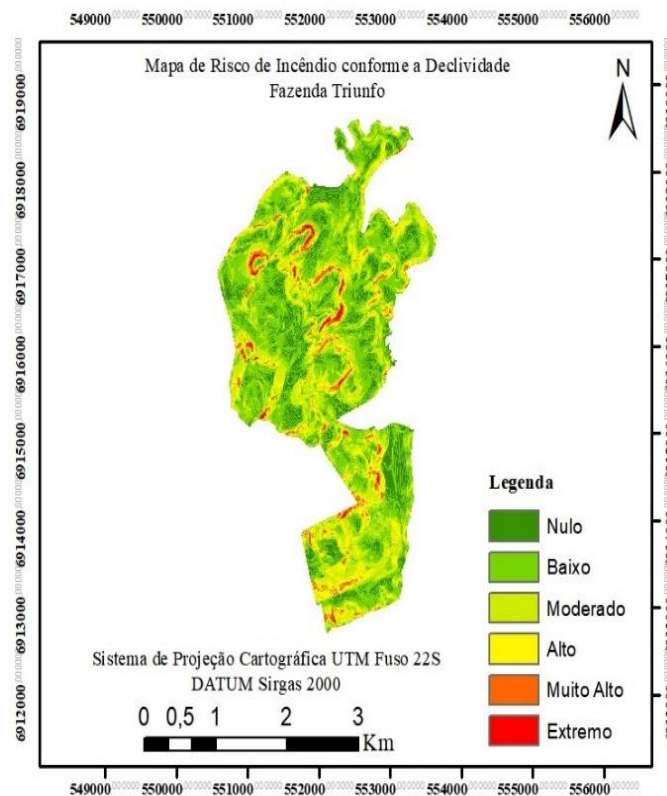
A figura 7 apresenta os mapas de risco de incêndio conforme a declividade para as três fazendas analisadas.

Figura 7 – Mapa de Risco de Incêndio conforme a Declividade. (a) Fazenda Capão da Lagoa. (b) Fazenda Estrela. (c) Fazenda Triunfo.



a

b



c

Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

#### 4.5 RISCO DE INCÊNDIO EM FUNÇÃO DA ORIENTAÇÃO DAS ENCOSTAS

A tabela 17 apresenta as áreas por grau de risco, e a representatividade em relação a área total das fazendas, para o risco de incêndio em função da orientação das encostas.

Tabela 17 – Áreas das fazendas por classe de risco em função da orientação das encostas

Grau de risco	Capão da Lagoa		Estrela		Triunfo	
	Área (ha)	%	Área (ha)	%	Área (ha)	%
<b>Nulo</b>	119,2	9	40,7	10	59,2	6
<b>Baixo</b>	338,1	25	85,8	22	198,8	21
<b>Moderado</b>	235,2	17	95,5	25	230,8	25
<b>Alto</b>	0	0	0	0	0	0
<b>Muito Alto</b>	355,9	26	96,3	25	235,7	25
<b>Extremo</b>	314,6	23	69,7	18	201,5	22
<b>Total</b>	1363	100%	388	100%	926	100%

Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

A análise da tabela 17 mostra que de 49% da área da fazenda Capão da Lagoa, 43% da Estrela e 47% da Triunfo tem área de risco de incêndio muito alto ou extremo em relação a exposição do terreno. Oliveira (2002) encontrou valores parecidos, onde cerca de 40% das áreas foram classificadas no risco alto, muito alto ou extremo.

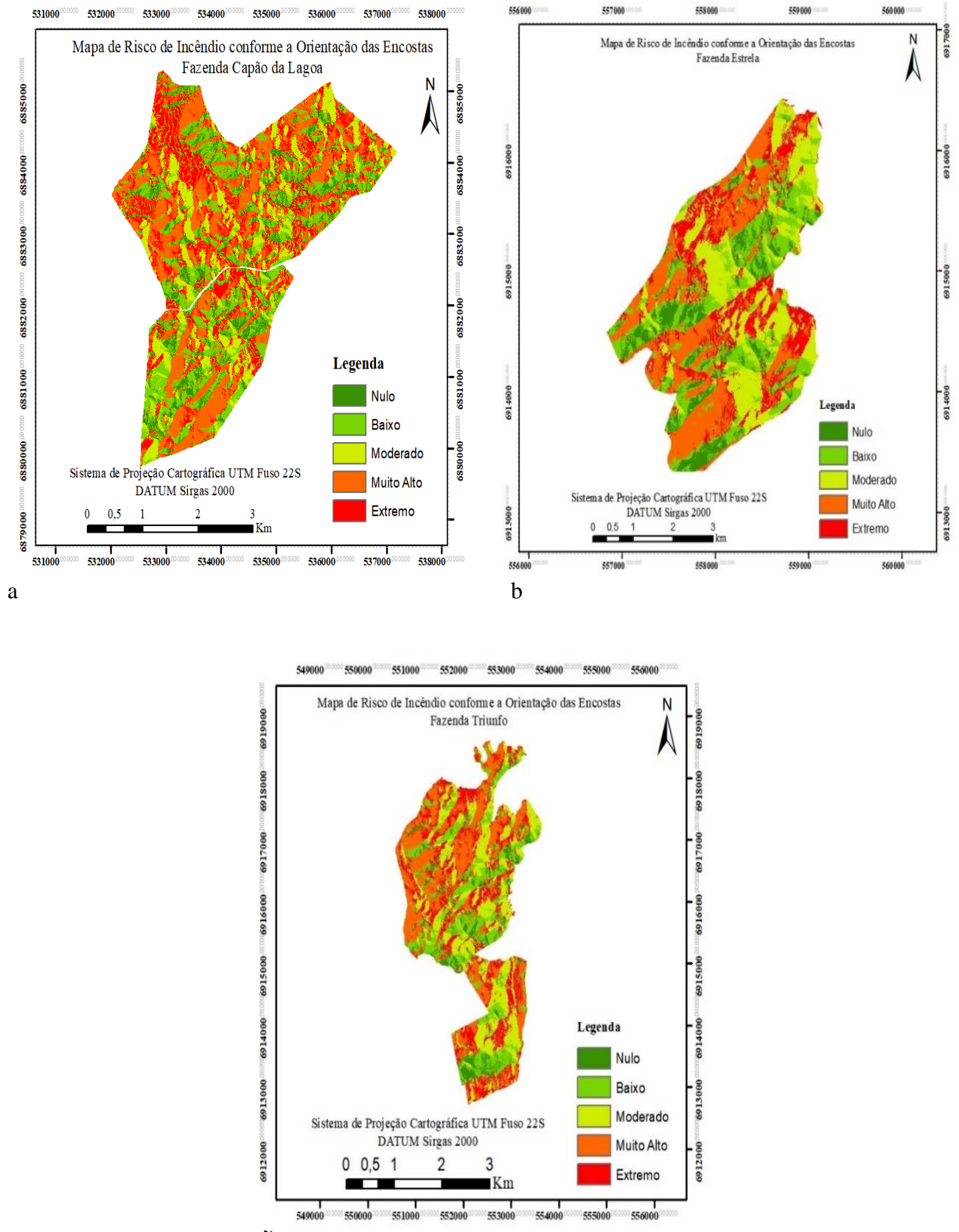
O grau de insolação e a quantidade de sol, em horas, que determinados locais recebem está relacionado a orientação das encostas. Segundo Soares e Batista (2007) no hemisfério sul as faces voltadas para o norte recebem mais radiação solar e apresentam temperaturas mais elevadas, ventos fortes, baixa umidade relativa do ar e baixo teor de umidade dos combustíveis, deste modo a vegetação é tipicamente mais seca e menos densa nas encostas norte do que as voltadas para o sul.

Os materiais combustíveis ficam mais ou menos suscetíveis a ignição devido a influência nos ciclos de umedecimento e secagem do material combustível. A velocidade e avanço da combustão também estão relacionados à umidade do combustível. A temperatura que o ambiente se encontra é outro fator relacionado à face de exposição, juntamente com presença de ventos podem impulsionar rapidamente a propagação dos incêndios Soares, Batista e Nunes (2009).

A figura 8 mostra os mapas temáticos de risco de incêndios segundo a orientação das encostas do terreno para as fazendas analisadas.



Figura 8 – Mapas de Risco de Incêndio conforme a Orientação das Encostas. (a) Fazenda Capão da Lagoa. (b) Fazenda Estrela. (c) Fazenda Triunfo.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

#### 4.6 RISCO DE INCÊNDIO EM FUNÇÃO DOS VENTOS PREDOMINANTES

Os ventos predominantes indicam as direções de maior probabilidade de propagação do incêndio bem como sugerem diferenças no conteúdo de umidade entre os materiais combustíveis influenciando também a velocidade de propagação do fogo. (SOARES E BATISTA, 2007).

A tabela 18 mostra a representatividade do grau de risco em função dos ventos predominantes.

Tabela 18 – Classes de risco associado aos ventos predominantes

Grau de risco	Capão da Lagoa		Estrela		Triunfo	
	Área (ha)	%	Área (ha)	%	Área (ha)	%
<b>Nulo</b>	1226,2	90%	338,7	87%	806,1	87%
<b>Moderado</b>	136,8	10%	49,3	13%	119,9	13%
<b>Total</b>	1363	100%	388	100%	926	100%

Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

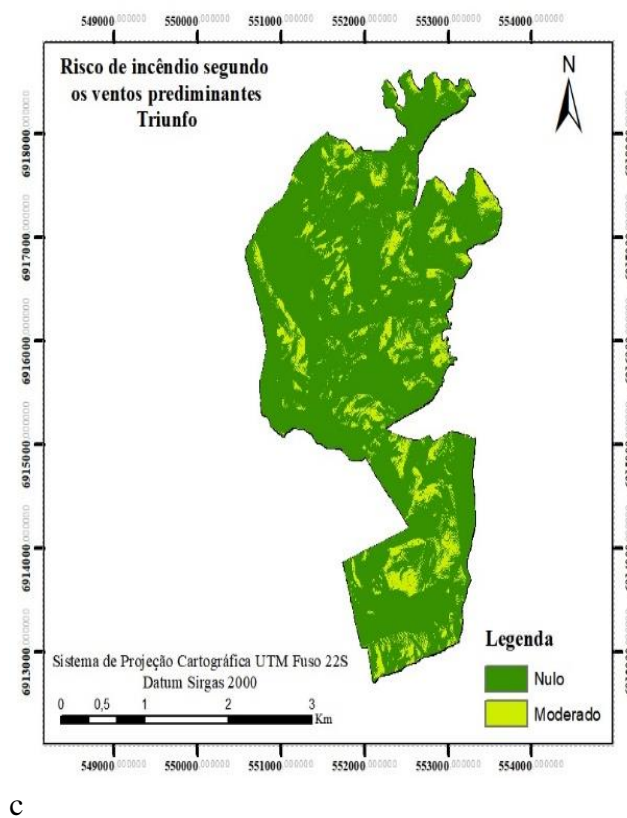
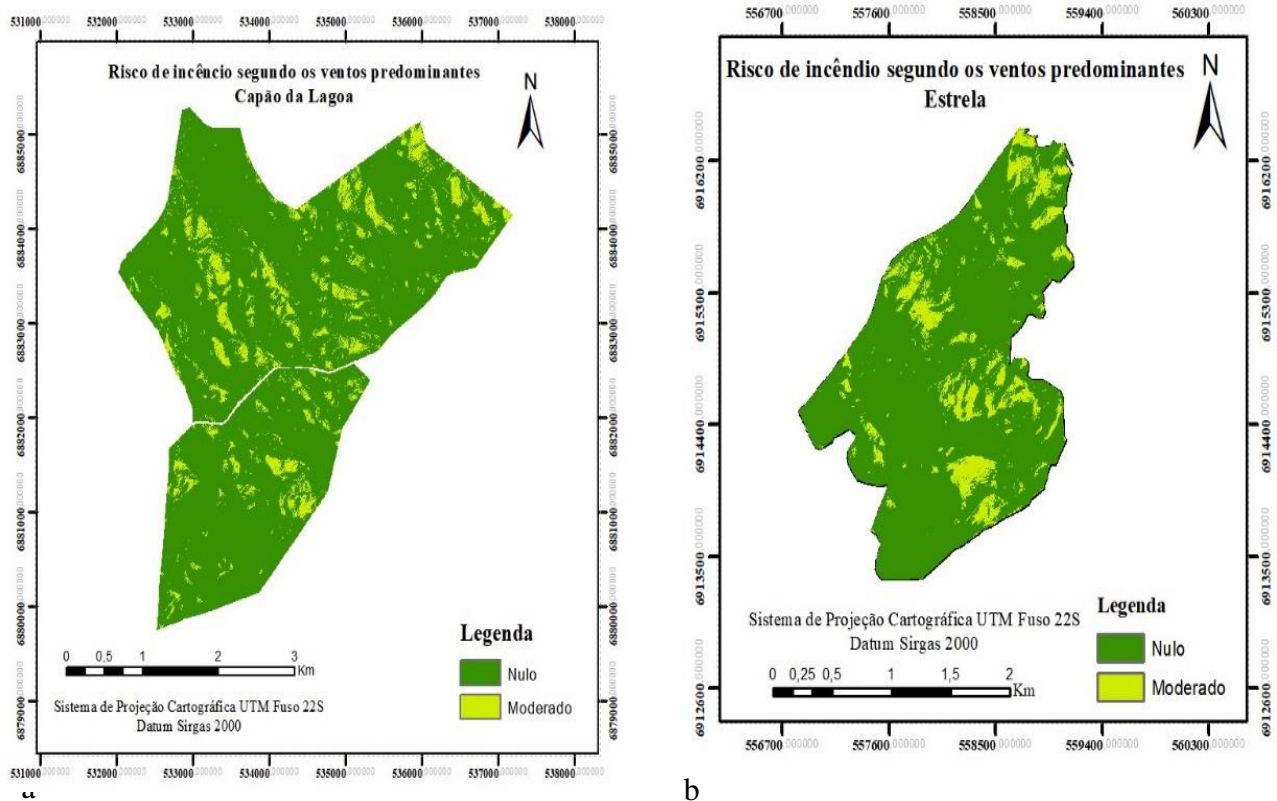
Os dados mostraram que mais de 90 % dos ventos registrados no período considerado nos meses de junho, julho, agosto e setembro, meses mais propícios a ocorrência de incêndio de acordo com Santos, Soares e Bastista (2006), possuíam direção nordeste – NE. Utilizando a classificação proposta por Oliveira (2002) onde as orientações das encostas indicam a influência dos ventos sobre o terreno, mostrou que os ventos NE interferem no risco de incêndio entre 10 e 13 % das áreas das fazendas.

Os ventos mais preocupantes do ponto de vista dos incêndios são os ventos Noroeste e Nordeste, pois possuem características de menor umidade e geralmente tem deslocamento mais veloz. Isso, aliado ao relevo acidentado, favorece a propagação do fogo de maneira muito intensa (LIZ, 2014).

A figura 9 traz os mapas temáticos de risco de incêndios segundo os ventos predominantes para as fazendas.



Figura 9 – Mapas de Risco de Incêndio conforme os Ventos Predominantes. (a) Fazenda Capão da Lagoa. (b) Fazenda Estrela. (c) Fazenda Triunfo.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

#### 4.7 APLICAÇÃO DA TÉCNICA AHP

Por meio do método utilizado no suporte à tomada de decisão foi possível construir a matriz de comparação pareada e determinar o peso de cada variável considerada no ZRIF, bem como a relação de consistência para a matriz, apresentados na tabela 19, de acordo com a metodologia aplicada por Saaty (2008).

Tabela 19 – Matriz de comparação de pares e pesos das variáveis

VARIÁVEIS	PH	VP	MC	D	CS	OE	V	V
<b>PH</b>	<b>1,000</b>	3,000	5,000	7,000	4,000	9,000	3,947	0,473
<b>VP</b>	0,333	<b>1,000</b>	1,000	5,000	3,000	6,000	1,763	0,211
<b>MC</b>	0,200	1,000	<b>1,000</b>	2,000	3,000	4,000	1,299	0,156
<b>D%</b>	0,143	0,200	0,500	<b>1,000</b>	1,000	2,000	0,553	0,066
<b>CS</b>	0,250	0,333	0,333	0,333	<b>1,000</b>	1,000	0,458	0,055
<b>OE</b>	0,111	0,167	0,250	0,250	1,000	<b>1,000</b>	0,324	0,039
<b>RC</b>	0,0105						<b>8,344</b>	0,1

PH – Presença Humana; VP – Ventos Predominantes; MC – Material Combustível; D – Declividade; CS – Cobertura do Solo; OE – Orientação das Encostas; V – pesos; V% – pesos em porcentagem.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

O resultado da matriz de comparação foram os pesos que cada variável tem no modelo de sobreposição conforme apresentado na equação 8.

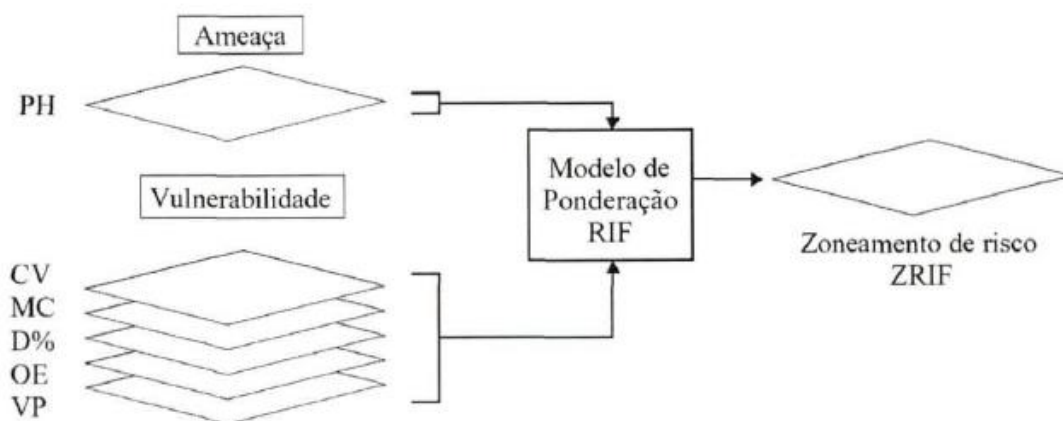
Para os julgamentos serem considerados coerentes, é necessário calcular o índice de coerência e a razão de coerência, seguindo metodologia apresentada em Saaty (2008). A razão de coerência obtida foi de 0,0105 (1 %), indicando coerência nas comparações pois o valor é menor que o limite de 0,1 proposto por Saaty (2008).

#### 4.8 MAPAS DE RISCO DE INCÊNDIO FLORESTAL

A obtenção do zoneamento de risco de incêndios para as áreas analisadas consistiu no cruzamento dos mapas temáticos preliminares das variáveis presença humana, ventos predominantes, material combustível, declividade, cobertura vegetal e orientação das encostas. Dois modelos foram utilizados para o cruzamento, o primeiro modelo foi o proposto por Oliveira (2002), apresentado na equação 7; o segundo modelo obtido a partir da aplicação da técnica AHP, conforme a equação 8.

A técnica utilizada no cruzamento dos mapas foi a álgebra de mapas que consiste na integração que considera a unidade de análise final, composta por uma região (*pixel*), no primeiro modelo essa região é representada em 50% pela ameaça que está associada à presença humana e em 50% pela vulnerabilidade do ambiente ao fogo, conforme representação na figura 10 (OLIVEIRA, 2002).

Figura 10 – Integração dos mapas na geração do ZRIF.



Fonte: Oliveira, 2002.

No segundo modelo as variáveis tiveram pesos atribuídos de acordo com o peso de importância de uma variável em relação a outra (tabela 19). O risco de incêndio de acordo com o modelo da AHP é 47 % devido à presença humana, 21 % aos ventos predominantes, 16 % ao material combustível, 7 % a declividade do terreno, 5 % a cobertura do solo e 4 % a orientação das encostas.

A tabela 20 apresenta os resultados para os ZRIF na Fazenda Capão da Lagoa, obtidos na álgebra de mapas para os dois modelos, separadas em função do grau de risco, e a representatividade sobre as áreas das propriedades.

Tabela 20 – Áreas de risco de incêndio por classe e modelo de ponderação Fazenda Capão da Lagoa

Grau de risco	Capão da Lagoa					
	Oliveira			AHP		
	Área (ha)	%	%Acumulada	Área (ha)	%	%Acumulada
<b>Nulo</b>	0	0	0	0,1	0	0
<b>Baixo</b>	1,5	0,1	0,1	581,5	43%	43
<b>Moderado</b>	163,1	12,0	12,1	353,5	26%	69
<b>Alto</b>	597,2	43,8	55,9	8,7	1%	70
<b>Muito Alto</b>	360,7	26,5	82,4	419,2	30%	100%
<b>Extremo</b>	240,4	17,6	100%	0	0	
<b>Total</b>	1363	100%		1363	100%	

Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

A análise da tabela 20 mostra que a espacialização do risco alterou em função dos modelos utilizados nos cruzamentos dos mapas para a Fazenda Capão da Lagoa. No modelo 1 nenhuma área apresentou risco de incêndio nulo, 0,1% baixo, 12 % moderado, 43,8 % alto, sendo este risco o mais abrangente na área, 26,5 % risco muito alto e 17,6 % risco extremo. A maior parte da área foi classificada como risco alto, muito alto e extremo e cumulativamente representam cerca de 87,9 % da área. No modelo 2, assim como no modelo 1 nenhuma área apresentou risco nulo, 43 % baixo, que representa a maior área, 26 % moderado, 1 % alto, 30 % muito alto e nenhuma área com risco extremo.

A tabela 21 apresenta os resultados para os ZRIF na Fazenda Estrela, obtidos na álgebra de mapas para os dois modelos, separadas em função do grau de risco, e a representatividade sobre as áreas das propriedades.

Tabela 21 – Áreas de risco de incêndio por classe e modelo de ponderação Fazenda Estrela

Grau de risco	Estrela					
	Oliveira			AHP		
	Área (ha)	%	%Acumulada	Área (ha)	%	%Acumulada
<b>Nulo</b>	0	0	0	0,6	0	0
<b>Baixo</b>	27,6	7	7	126,5	33	33
<b>Moderado</b>	145,6	38	45	97,5	25	58
<b>Alto</b>	118,8	30	86	35,6	9	67
<b>Muito Alto</b>	78,4	20	96	112,7	29	96
<b>Extremo</b>	17,6	5	100	15,1	4	100%
<b>Total</b>	388	100%		388	100%	

Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

A análise da tabela 21 mostra que a espacialização do risco alterou em função dos modelos utilizados nos cruzamentos dos mapas para a Fazenda Estrela. No modelo 1 nenhuma área apresentou risco de incêndio nulo, 7 % baixo, 38 % moderado, sendo este o mais representativo, 30 % alto, 20 % risco muito alto e 5 % extremo. A maior parte da área foi classificada como risco moderado, alto, muito alto e cumulativamente representam cerca de 88 % da área. No modelo 2 nenhuma área apresentou risco nulo, 33 % risco baixo, que representa a maior área, 25 % moderado, 9 % alto, 29 % muito alto e 4 % extremo.

A tabela 22 apresenta os resultados para os ZRIF na Fazenda Triunfo, obtidos na álgebra de mapas para os dois modelos, separadas em função do grau de risco, e a representatividade sobre as áreas das propriedades.

Tabela 22 – Áreas de risco de incêndio por classe e modelo de ponderação Fazenda Triunfo

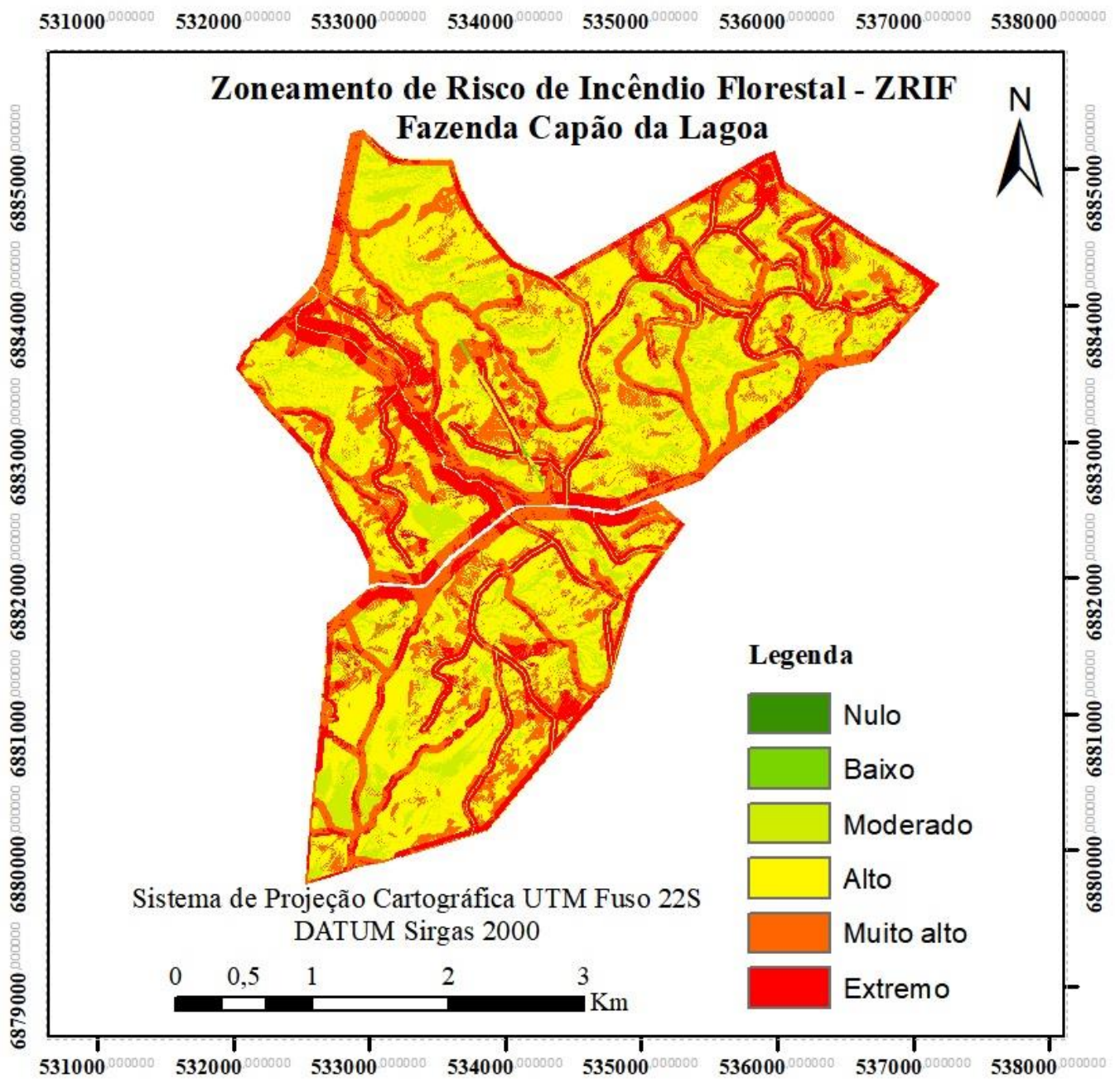
Grau de risco	Triunfo					
	Oliveira			AHP		
	Área (ha)	%	%Acumulada	Área (ha)	%	%Acumulada
<b>Nulo</b>	0	0	0	2,8	0	0
<b>Baixo</b>	205,2	22	22	321,2	34	35
<b>Moderado</b>	211,2	23	45	285,4	31	66
<b>Alto</b>	180,2	19	64	4,8	1	67
<b>Muito Alto</b>	163,3	18	82	311,8	34	100%
<b>Extremo</b>	166,1	18	100%	0,0	0	
<b>Total</b>	926	100%		926	100%	

Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

A análise da tabela 22 mostra que a espacialização do risco alterou em função dos modelos utilizados nos cruzamentos dos mapas para a Fazenda Triunfo. No modelo 1 nenhuma área apresentou risco de incêndio nulo, 22% baixo, 23% moderado, 19% alto, 18% muito alto e 18% extremo. No modelo 2, assim como no modelo 1 nenhuma área apresentou risco nulo, 34% baixo, 31% moderado, 1% alto, 34% muito alto e nenhuma área com risco extremo.

Os mapas de riscos de incêndios florestais gerados com modelo de Oliveira (2002), são apresentados nas figuras 11, 12 e 13. Os mapas de riscos de incêndios florestais gerados com modelo AHP, são apresentados nas figuras 14, 15 e 16. Estes mapas traduzem os níveis de riscos obtidos para as fazendas Capão da Lagoa, Estrela e Triunfo para dois modelos de ponderação.

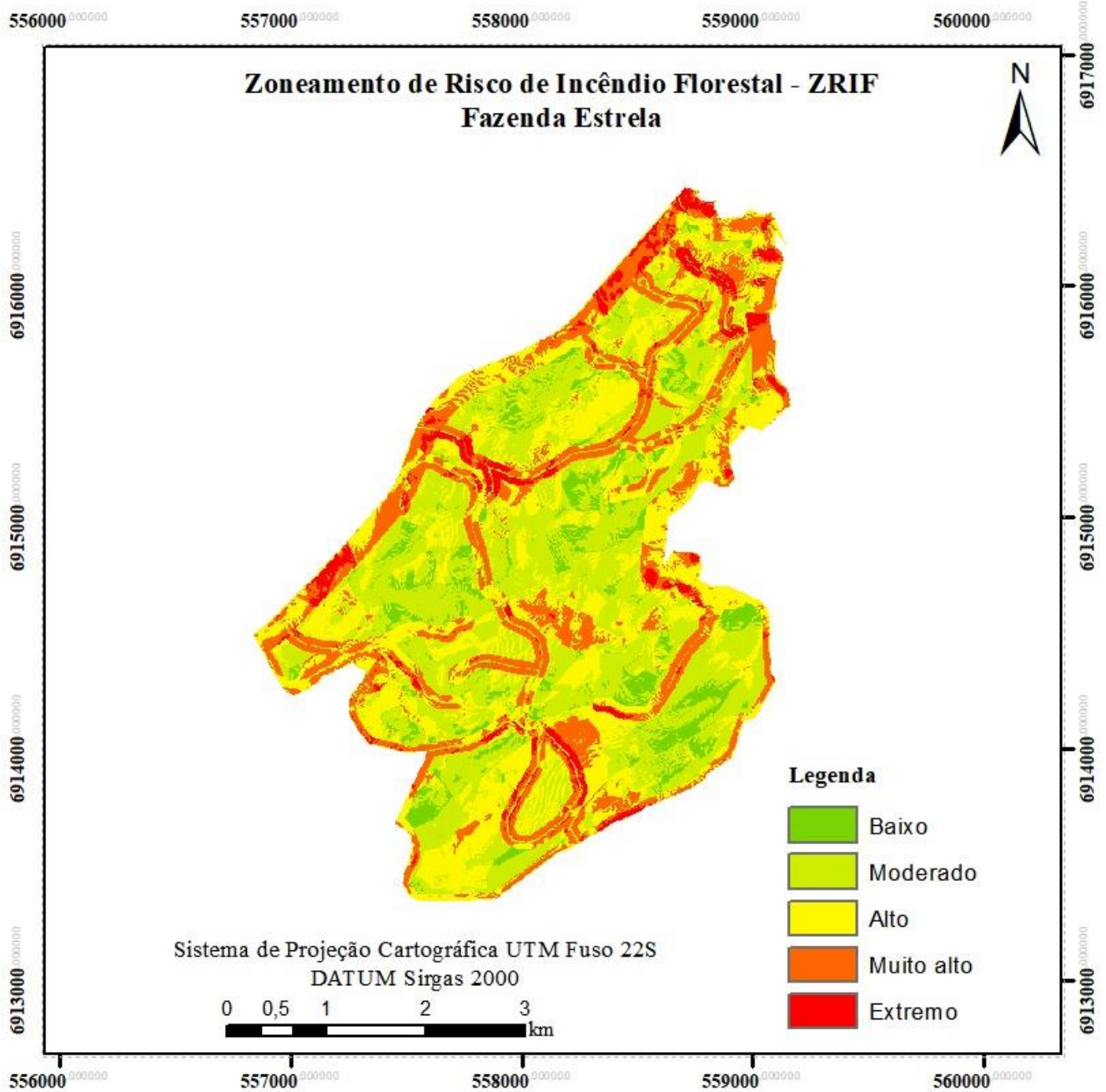
Figura 11 – Mapa de risco de incêndio da Fazenda Capão da Lagoa conforme modelo de Oliveira (2002).



Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

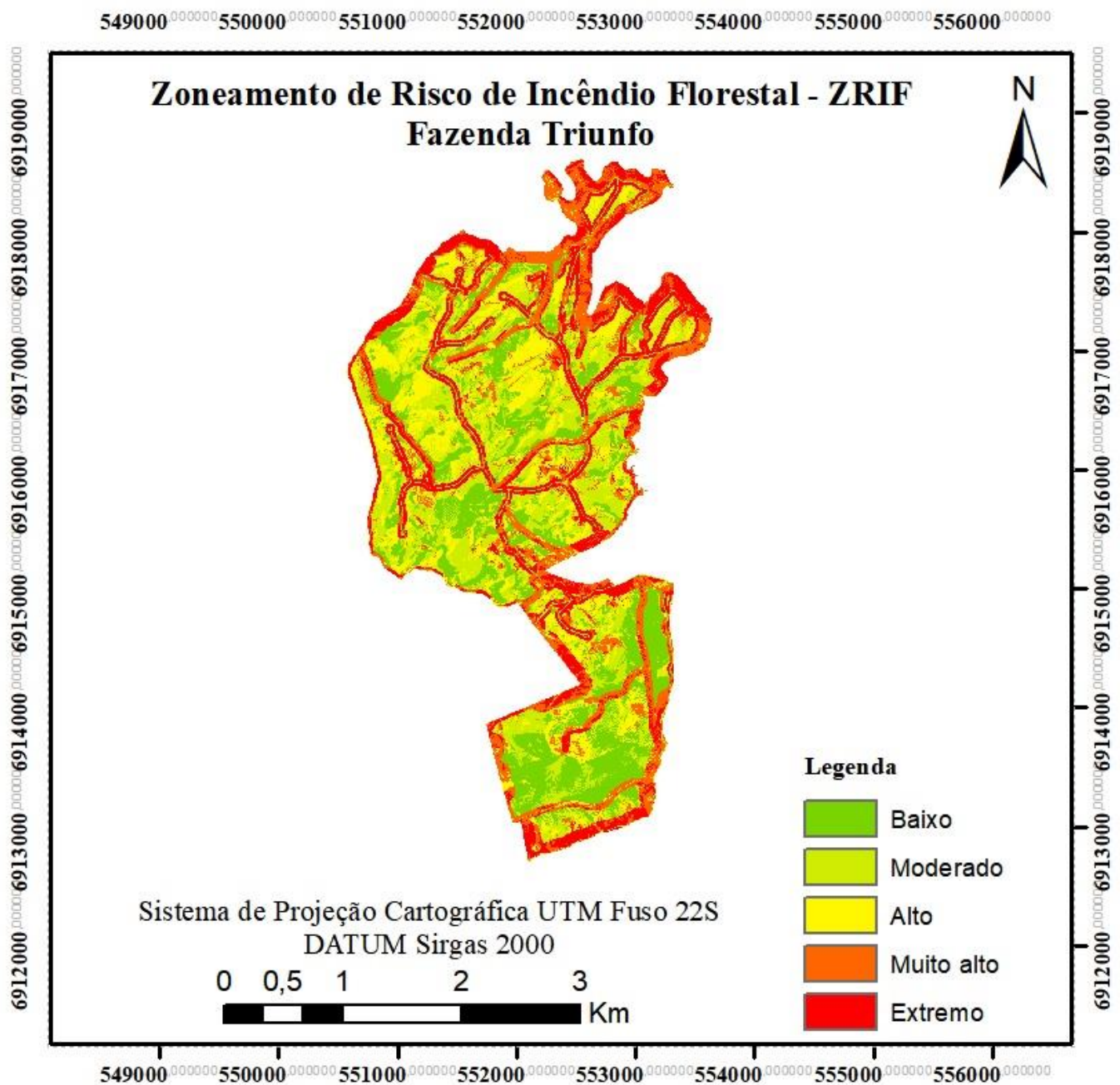


Figura 12 – Mapa de risco de incêndio da Fazenda Estrela conforme modelo de Oliveira (2002).



Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

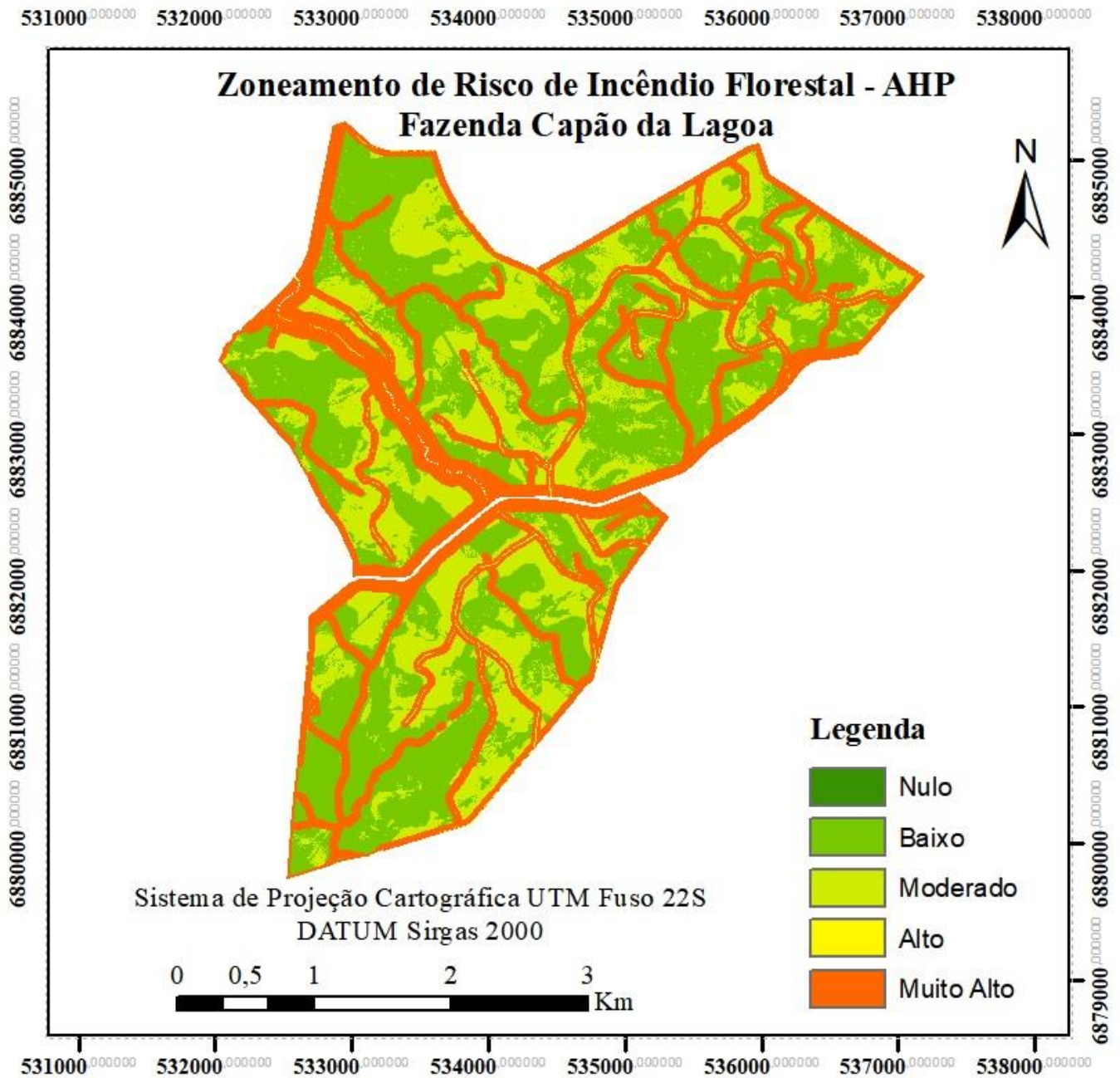
Figura 13 – Mapa de risco de incêndio da Fazenda Triunfo conforme modelo de Oliveira (2002).



Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

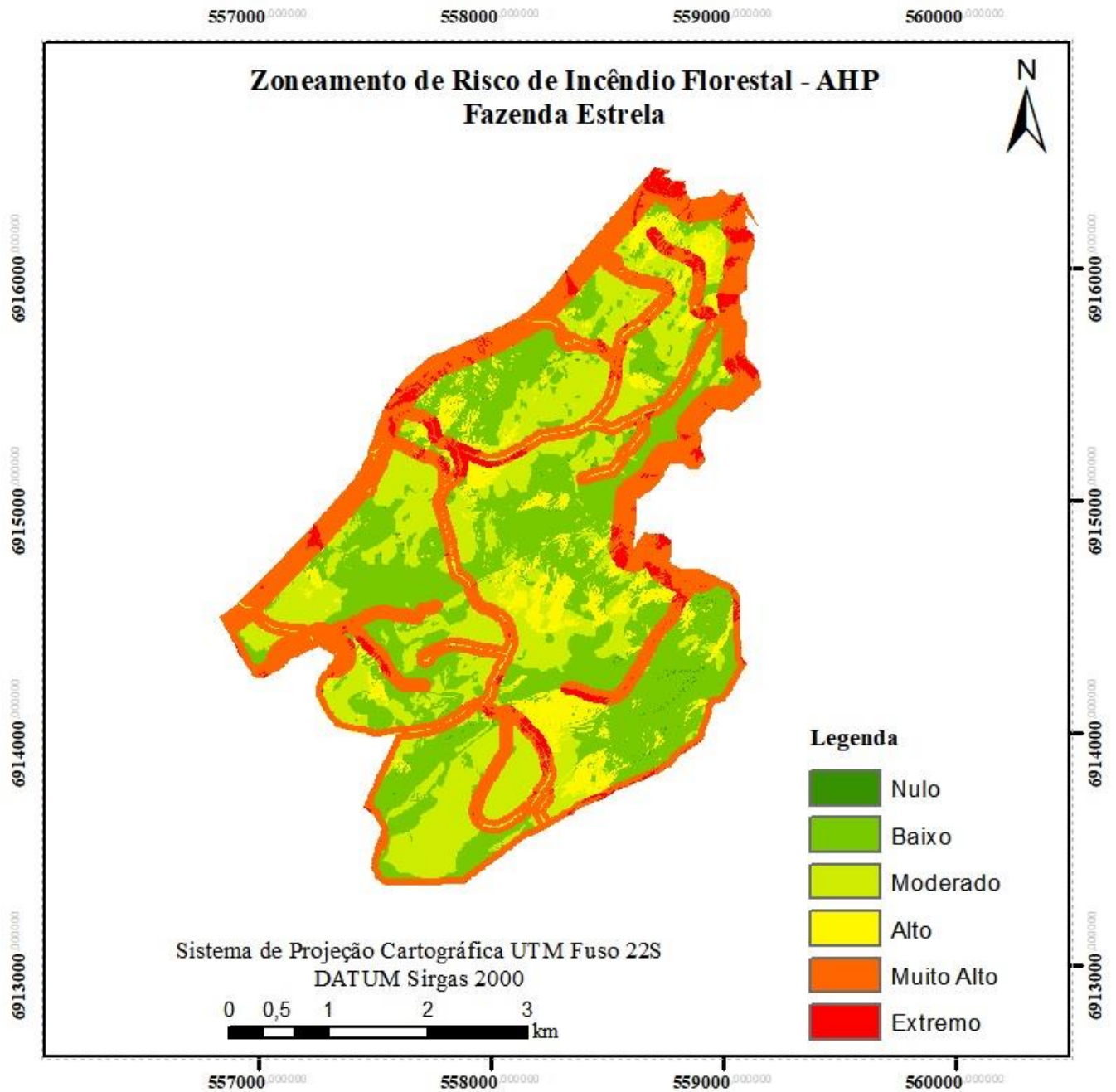


Figura 14 – Mapa de risco de incêndio da Fazenda Capão da Lagoa técnica AHP



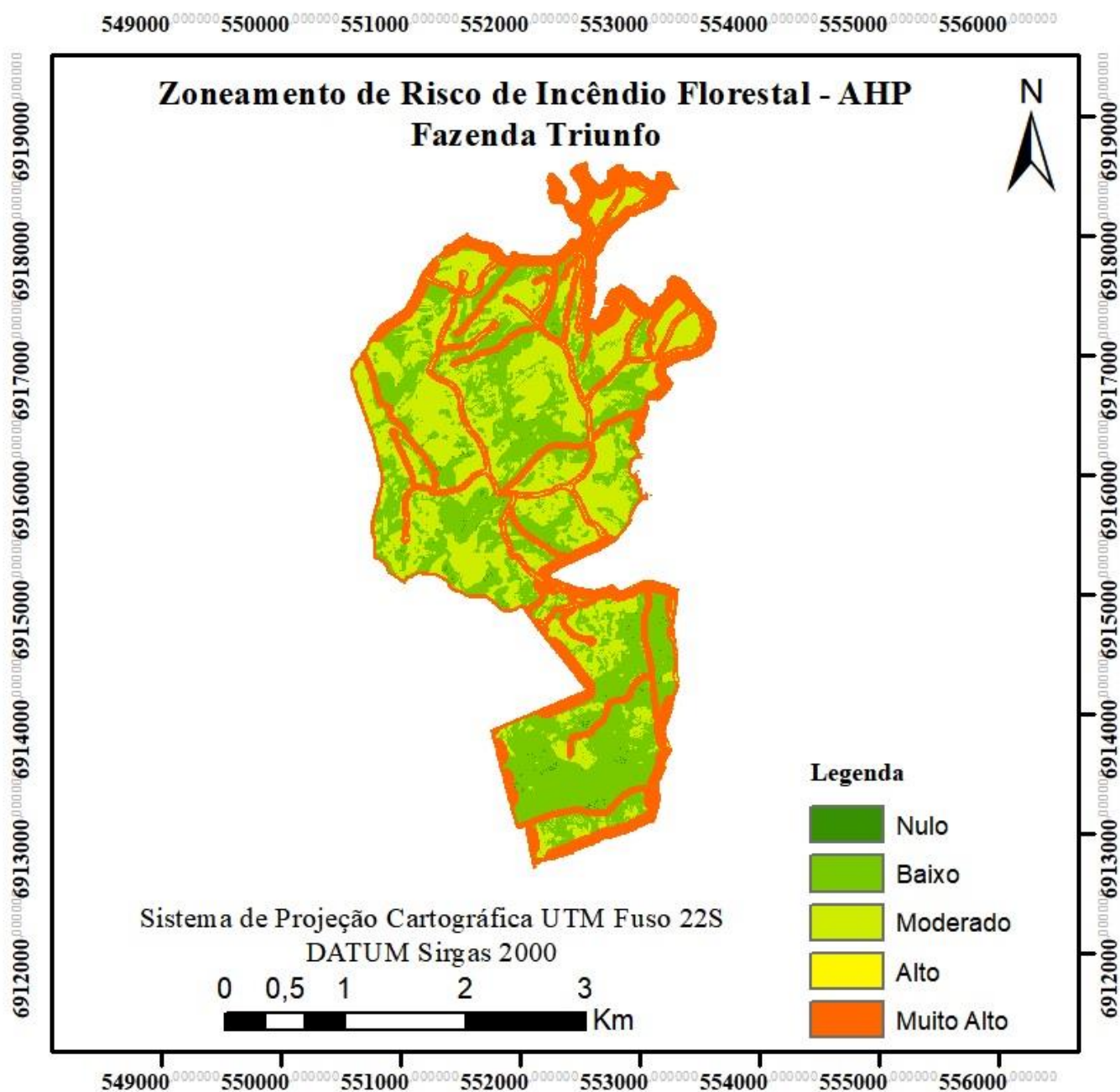
Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

Figura 15 – Mapa de risco de incêndio da Fazenda Estrela técnica AHP



Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

Figura 16 – Mapa de risco de incêndio da Fazenda Triunfo técnica AHP



Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

#### 4.9 VALIDAÇÃO DOS MAPAS DE RISCO DE INCÊNDIOS FLORESTAIS PARA OS MODELOS TESTADOS

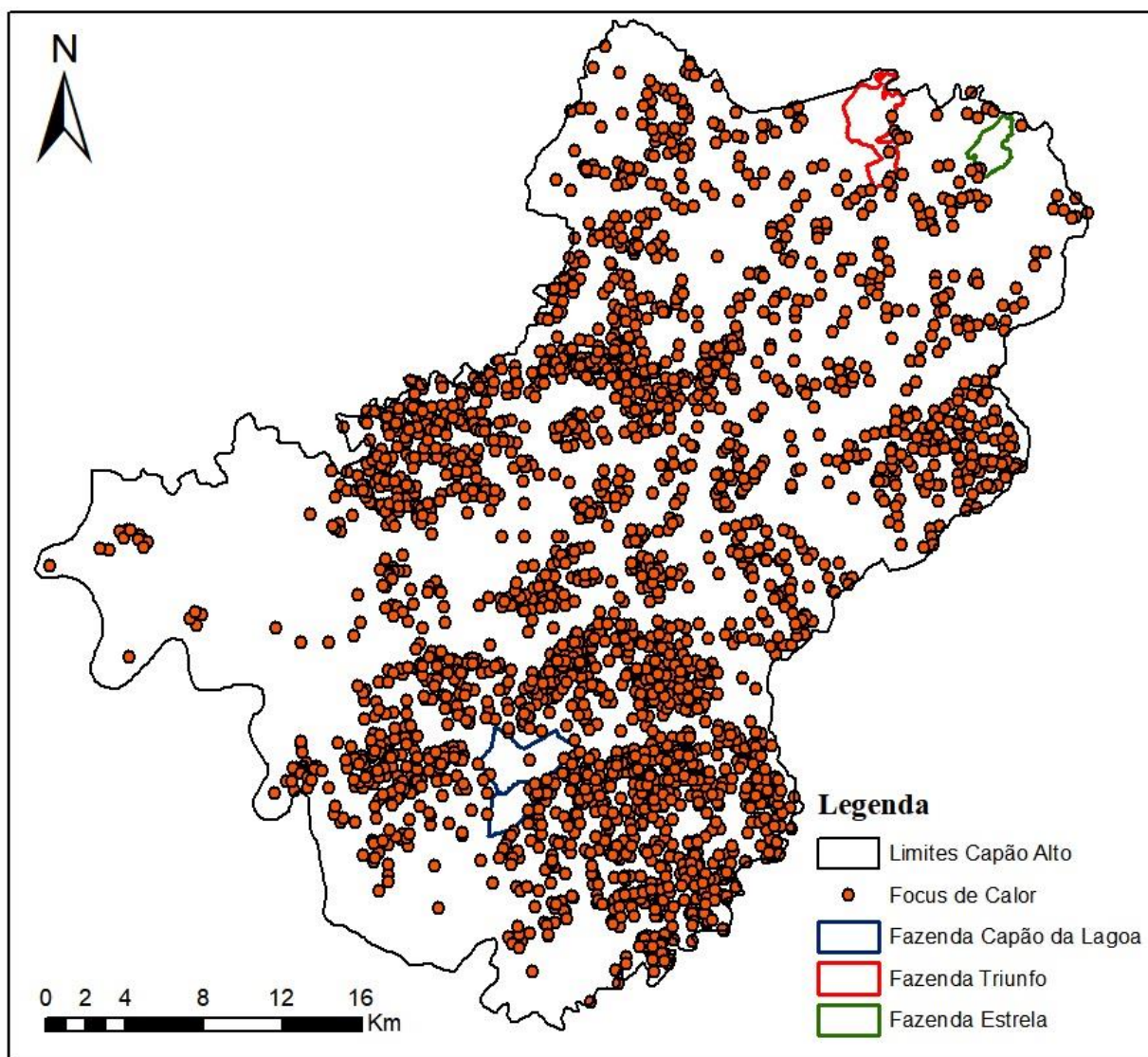
A validação do ZRIF se dá a partir da utilização de um registro de ocorrência de incêndios, que possibilita uma análise histórica de ocorrências, fornece subsídio e indica onde,



quando e de que forma concentrar esforços, já que os recursos são finitos (TETTO, 2012). Além disso, pode ser associado ao uso de um índice de perigo de incêndios contribuindo para indicar as medidas preventivas a serem adotadas, o comportamento do fogo esperado e a dificuldade de supressão do incêndio.

Outro recurso utilizado para a validação dos modelos foram os focos de calor, obtidos no banco de dados do Programa Queimadas do INPE (2018). Foram levantados os registros dos focos para o período de janeiro de 2008 até dezembro de 2018, mesmo período considerado para os dados meteorológicos. A figura 17 apresenta a distribuição da ocorrência de focos de calor dentro dos limites do município de Capão Alto, e para as propriedades estudadas.

Figura 17 – Mapa de ocorrência de focos de Calor para o Município de Capão alto no período de 01/01/2008 até 31/12/2018.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

O número de focos de calor registrados dentro dos limites das Fazendas Capão da Lagoa, Estrela, Triunfo foram nove, um e quatro focos, respectivamente. Estes números corroboram com a preocupação pontual da empresa, principalmente com a Fazenda Capão da Lagoa, a qual teve o maior número focos.

A tabela 23 apresenta registros de incêndios florestais fornecidos pela empresa proprietária das áreas, gerados a partir de relatórios de ocorrências registrados pelas equipes de vigilância.

Tabela 23 – Registro de ocorrência de incêndios

Nome Fazenda	Data	Horário	Coordenada	Área Atingida (ha)
<b>Capão da Lagoa</b>	25/08/2010	*	*	150
	02/08/2013	*	*	15
	25/08/2015	15:00	J 0534900 / UTM 6884483	1,5
	26/08/2016		J 0533015 / UTM 6885233	0,18
<b>Estrela</b>	22/12/2010	*	*	8
	20/02/2010	*	*	0,01
	08/01/2018	20:30	J 0558777 / UTM 6915444	13,4
<b>Triunfo</b>	19/07/2012			0,01
<b>Triunfo</b>	24/08/2012			0,03
<b>Triunfo</b>	24/08/2012			0,03

\*Sem Registro. Fonte: Klabin S. A.

A tabela 24 mostra a associação dos focos de incêndio registrados pela empresa em relação aos mapas de risco.

Tabela 24 – Localização dos focos de incêndio em relação aos mapas de risco

Fazenda	Coordenada	Modelo	
		Oliveira	AHP
<b>Capão da Lagoa</b>	J 0534900 / UTM 6884483	Extremo	Muito Alto
	J 0533015 / UTM 6885233	Muito Alto	Muito Alto
<b>Estrela</b>	J 0558777 / UTM 6915444	Moderado	Alto

Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

A análise da tabela 24 indica que os mapas de risco são válidos para o monitoramento do risco de incêndios. No entanto, será necessário mais registro das coordenadas da posição das ocorrências de incêndio para aferir a eficácia dos modelos testados. Oliveira (2002) validou o ZRIF por meio da comparação com focos de calor no período considerado, obtidos de imagem

Landsat e por mapas construídos a partir do histórico de ocorrências de incêndios registradas pelos bombeiros paranaenses na mesma época considerada no estudo.

A tabela 25 apresenta a associação dos focos de calor registrados pelo Programa Queimadas do INPE correlacionados aos mapas de risco.

Tabela 255 – Localização dos focos de calor do Programa Queimadas em relação aos mapas de risco

Fazenda	Coordenada Latitude / Longitude	Modelo	
		Oliveira	AHP
Capão da Lagoa	-28,16 / -50,658	Muito Alto	Muito Alto
	-28,173 / -50,647	Alto	Baixo
	-28,172 / -50,629	Extremo	Muito Alto
	-28,17241 / -50,62762	Moderado	Baixo
	-28,17936 / -50,66755	Muito Alto	Muito Alto
	-28,184 / -50,644	Muito Alto	Muito Alto
	-28,186 / -50,647	Moderado	Baixo
	-28,18951 / -50,64445	Extremo	Muito Alto
	-28,196 / -50,648	Extremo	Moderado
Estrela	-27,90062 /	Moderado	Moderado
Triunfo	-27,893 / -50,462	Baixo	Baixo
	-27,90475 / -50,46157	Baixo	Baixo
	-27,90672 / -50,46247	Extremo	Muito Alto

Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

Os dados apresentados na tabela 25 indicam a eficácia dos modelos, uma vez que grande parte dos focos de calor se encontram em áreas do mapa de risco de incêndios nas classes de risco muito alto ou extremo. Cabe salientar, que apesar de haver focos em áreas indicadas como risco baixo ou moderado, esses estão localizados a uma distância inferior a 5 metros de áreas com predomínio de risco de incêndio muito alto ou extremo, o que indica a resposta satisfatória dos modelos, mesmo nestes pontos.

Ao comparar os resultados obtidos para os dois modelos testados, pode-se dizer que a AHP conseguiu um resultado mais consistente quando avaliados os registros da empresa, pois todos os focos de incêndio foram em locais de risco muito alto e alto. No entanto quando os modelos foram aplicados as ocorrências de focos de calor do Programa Queimadas (INPE, 2018), o modelo de Oliveira (2002) apresentou melhor indicador do risco. A vantagem do modelo AHP, é a possibilidade e capacidade do modelo de se inserir as particularidades locais e a experiência dos tomadores de decisão, que é alcançado mediante a técnica AHP.

## 5. CONCLUSÕES

- As metodologias aplicadas no trabalho possibilitaram criar o zoneamento de risco de incêndios florestais para as Fazenda Capão da Lagoa, Estrela e Triunfo;
- Os mapas temáticos de risco de incêndio permitem avaliar a relação que cada variável possui sobre o risco de incêndio florestal;
- A técnica AHP mostrou-se eficaz na determinação de pesos para os fatores considerados no ZRIF;
- O ZRIF obtido condiz com os focos de incêndios verificados pela empresa;
- A revisão bibliográfica possibilitou verificar que as metodologias utilizadas não apresentaram grandes variações e que a utilização de uma variável dinâmica como o FMA<sup>+</sup> poderá ser uma mudança metodológica importante.
- O ZRIF oferece a possibilidade de um planejamento mais assertivo de ações de prevenção e monitoramento relacionadas às classes de risco elevados presentes no mapa.

## 6. RECOMENDAÇÕES

1. Recomenda-se validar os modelos obtidos considerando-se a utilização de registros de fogo via PrevFogo;
2. Recomenda-se atribuir pesos diferentes a matriz de importância conforme critérios dos tomadores de decisão da empresa e suas peculiaridades;
3. Associar dados de carga de água nas folhas como parâmetro de zoneamento de risco de incêndio;
4. Associar as variáveis ambientais representadas pelo índice de monte alegre alterado como variável de risco de incêndio.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACR. Associação Catarinense de Empresas Florestais. **Anuário Estatístico de Base Florestal para o Estado de Santa Catarina 2016 (Ano Base 2015)**. Lages, SC. 2016.

AGUIAR, R. D.; SANTOS, L. F. M.; MATRICARDI, E. A. T.; BATISTA, I. X. Zoneamento de risco de incêndios florestais no Parque nacional da Chapada dos Veadeiros – GO. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v. 11, n. 21, p. 1943 – 1957, 2015.

ALMEIDA, R. **Forest fire risk areas and definition of the prevention priority planning actions using GIS**. Disponível em:  
<[www.sgi.ursus.maine.edu/gisweb/spatdb/egis/eg94193.html](http://www.sgi.ursus.maine.edu/gisweb/spatdb/egis/eg94193.html)>. Acesso em: 10 jan .2019.

ALVES, M.V.G.; BATISTA, A.C.; SOARES, R.V.; KOEHLER, H.S.; PEREIRA, J.F. Modelagem de umidade do material combustível, baseada em variáveis meteorológicas. **Revista Floresta**, Curitiba v. 39, p. 167-174, 2009.

ANDERSON, L. O.; *et al.* Conceptual model of disaster risk management and warning system associated with wildfires and public policy challenges in Brazil. **Territorium**, Coimbra, v. 1, p. 43-61, 2018.

BACHMANN, A. Consistent wildland fire risk terminology is needed. **Fire Management Today**, Oregon, v. 61, n. 4, p. 28-33, 2001. Disponível em:  
<[http://www.fs.fed.us/fire/fmt/fmt\\_pdfs/fmt61-4.pdf](http://www.fs.fed.us/fire/fmt/fmt_pdfs/fmt61-4.pdf)>. Acesso em 10 ago. 2018.

BARCELOS, M. A. **Padronização de condutas do CBPMSC em operações de ventilação de incêndios**. 2001. Trabalho de conclusão de curso (Especialização de Bombeiros para Oficiais) – Centro de Ensino da Polícia Militar, Florianópolis, 2001. 81 f.

BATISTA, A. C. **Incêndios florestais**. Recife: Imprensa Universitária da UFRPE, 1990. 115p.

BATISTA, A. C. Mapas de risco: uma alternativa para o planejamento de controle de incêndios florestais. **Floresta**, Curitiba, v. 30, n. 1, 2, p. 45-54, 2000.

BATISTA, A. C.; SOARES R. V. **Manual de prevenção e combate a incêndios florestais**. Curitiba: Fundação de Pesquisas Florestais do Paraná, 2003. 52 p.

BATISTA, A. C.; OLIVEIRA, D. S.; SOARES, R. V. **Zoneamento de risco de incêndios florestais para o Estado do Paraná**. Curitiba, FUPEF do Paraná, Série Técnica vol.2 n. 2, 86p. 2002.

BATISTA, A. C.; OLIVEIRA, D. S.; SOARES, R. V. **Zoneamento de risco de incêndios florestais para o estado do Paraná**. Curitiba: FUPEF, 2002. 86 p. (Série técnica n. 2).

BATISTA, A. C.; TETTO, A. F.; DEPPE, F.; GRODZKI, L.; GRASSI, J. T. Análise dos impactos das mudanças climáticas sobre o risco de incêndios florestais no estado do Paraná. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 42, n. 104, p. 491 – 501, 2014.



BATTAGLIN, D. **Combate a incêndio florestal: influência da inclinação do terreno na propagação do incêndio em condições de laboratório**. 64 f. 2012. Monografia (CFO CBMSC) – Academia de Bombeiros Militar, Florianópolis, SC.

BROWN, J. K. ; BEVINS, C. D. Surface fuel loadings and predicted fire behavior for vegetation types in the northern Rocky Mountains. Utah: **U.S.D.A. Forest Service**, 1986.

BROWN, A. A.; DAVIS, K. P. **Forest fire: control and use**. 2. ed. New York: McGraw Hill Book, 1973.

BURGAN, R. E.; SHASBY, M.B. Mapping Broad-Area Fire Potencial From Digital Fuel, Terrain, and Weather Data. **Journal of Forestry**, Bethesda, v.82, n.4, p.228-231, 1984.

CASTAÑEDA, A. Zonificación para el manejo de incendios en plantaciones forestales En Colombia. **Boletín de Protección Forestal**, Colombia, n.2, p.38-46, 1997.

CHANG, Y; ZHU, Z.; BU, R.; LI, Y.; HU. Y. Environmental controls on the characteristics of mean number of forest fires and mean forest area burned (1987-2007) in China. **Forest Ecology and Management**, v. 356, n. 2015, p. 13-21, 2015.

CHHETRI, D. B. **Seasonality of forest fire in Bhutan**. Disponível em: <[www.ruf.uni-freiburg.de/fireglobe/](http://www.ruf.uni-freiburg.de/fireglobe/)> Acesso em: 10 ago. 2018.

CHOU, Y. *et al.* Spatial autocorrelation of wildfire distribution in the Idyllwild Quadrangle, San Jacinto Motains, California, USA. **Environmental Management**, New York, v. 17, n. 1, p.129-140, 1990.

CHOU, Y.; MINNICH, R. A.; CHASE, R. A. Mapping Probability of Fire Occurrence In San Jacinto Montains, California , USA. **Environment al Management**, New York, v. 17, n. 1, p. 129-140, 1993

CHUVIECO, E.; CONGALTON, R. G. **Aplication of remote sensing and geographic information systems to forest fire hazard mapping**. REMOTE SENSING OF ENVIROMMENT, New York, v. 29. p. 147-159, 1989.

CHUVIECO, E., SALAS, F., AND VEGA, C. *Remote Sensing and G.I.S. for Long-Term Fire Risk Mapping*, **Megafiresproject ENV-CT96-0256**, Alcalá de Henares, p. 91-108, 1997.

COUTO, E. A. CANDIDO, J. F. **Incêndios Florestais**. Universidade Federal de Viçosa. Imprensa Universitária, Viçosa – MG, 1992, 101 p.

FARIA, A. B. C.; OLIVEIRA FILHO, P. C.; DISPERATI, A. A.; VENÂNCIO, D. L.; SILVA, P. C. Plano de Prevenção e Combate a Incêndios Florestais para o Campus da UNICENTRO/IRATI. **Floresta**, Curitiba, PR, v. 39, n. 4, p. 887-895, 2009.

FERRAZ, S. F. B.; VETTORAZZI, C. A. Mapeamento de risco de incêndios florestais por meio de Sistema de Informações Geográficas (SIG). **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 53, p. 39-48, 1998.

FERREIRA, M. P.; KOPROSKI, L.; ZANOTTA, D. C. **Uma abordagem fuzzy no zoneamento e risco de incêndio**. Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, Curitiba, PR, Brasil, 30 de abril a 05 de maio de 2011.

FONSECA, Ê., M., B.; RIBEIRO, G., A. **Manual de prevenção de incêndios florestais**. Belo Horizonte: CEMIG, 2003.

FREIRE, S.; CARRÃO, H.; CAETANO, M. R. **Produção de cartografia de risco de incêndio florestal com recurso a imagens de satélite e dados auxiliares**. 2002. Disponível em: <<http://www.igeo.pt/gdr/pdf/Freire2002.pdf>> . Acesso em: 30 jun, 2017.

GETTER, J. R. Wild fire Hazard Classification Mapping For Suburban Land Use Planning. **Fire Management Notes, Washington**, v.37, n.3, p. 4-5, 1976.

GUIMARÃES, C. C. B.; VALLADARES, G. S.; MARTINS, C. M. Uso das terras e declividade no Sertão central do Ceará, Brasil. **Revista Nordestina de Biologia**, v. 24, n. 1, p. 3-18, 2016.

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES. **Árvores plantadas**. Disponível em:<<https://www.iba.org/arvores-plantadas/>> Acesso em: 10 de janeiro de 2018.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Manual técnico da vegetação brasileira**. 2 ed., revista e ampliada. Rio de Janeiro: IBGE, 2012. 275 p.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS – INPE. **Portal do Monitoramento de Queimadas e Incêndios**. Disponível em <<http://www.inpe.br/queimadas>>. Acesso em: 15/03/2018.

JUVANHOL, R. S. **Modelagem da vulnerabilidade à ocorrência e propagação de incêndios florestais**. 2014. 78 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, ES. 2014.

KÖPPEN, W. **Climatología**: con un estudio de los climas de la tierra. Mexico: Fondo de Cultura Economica. 1948. 478 p.

KOPROSKI, L.; BATISTA, A. C.; SOARES, R. V. Ocorrências de incêndios florestais no Parque Nacional de Ilha Grande – Brasil. **Floresta**, Paraná, v. 34, n. 2, p. 193-197. 2004.

KOPROSKI, L. P. **Risco de incêndio e suas correlações com a diversidade biológica no Parque Estadual do Cerrado (Paraná, Brasil)**. 2010. 226 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba. 2010.

LIZ, J. P. C. **Zoneamento de Risco de Incêndios Florestais na Reserva Biológica do Aguaí. Dissertação**. 2014. 103 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages. 2014.

MAUGER, J., S. **Incêndios florestais: causas, consequências e como evitar**. Instituto Brasília Ambiental, 2009.

MELO, R. R. de. **Dinâmica de ocorrência de incêndios florestais em unidade de conservação influenciada por diversos usos e cobertura do solo: APA Gama e Cabeça de**

Veado – DF. 2018. 85 f., il. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade de Brasília, Brasília, 2018.

SILVA, K. M. **Florística de áreas úmidas no planalto catarinense**. 2011. 84 f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) - Universidade do Estado de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias, Lages, SC. 2011.

MOTTA, R. S.; MENDONÇA, M. J. C.; NEPSTAD, D.; DIAZ, M. del C. V.; ALENCAR, A.; GOMES, J. C.; ORTIZ, R. A. **O custo econômico do fogo na Amazônia**. Rio de Janeiro: IPEA, 2002. 42p.

MYERS, R.L. 2006. **Convivendo com o fogo**: Manutenção dos ecossistemas & subsistência com o Manejo Integrado do Fogo. The Nature Conservancy. 36p.

NUNES, J. R. S. **Sistema integrado de controle de incêndios florestais para o Estado do Paraná – Brasil**. 110 f. (Pós-Doutorado em Engenharia Florestal) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2007.

OLIVEIRA, D. S. **Zoneamento de risco de incêndios florestais no norte de Santa Catarina**. 2002. Curitiba. 112 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2002.

OLIVEIRA, D. S.; BATISTA, A. C.; MILANO, M. S. **Fogo em Unidades de Conservação**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE UNIDADES DE CONSERVAÇÃO, Campo Grande. Anais do 2º Congresso Brasileiro de Unidades de Conservação. Campo Grande: Rede Nacional Pró Unidades de Conservação, p. 200-207, 2000.

PAZ, S. CARMEL, Y. JAHSHAN, F. SHOSHANY, M. Post-fire analysis of pre-fire mapping of fire-risk: a recent case study from Mt. Carmel (Israel). **Forest Ecology and Management**: 2011. Disponível em:<<http://dx.doi.org/10.1016/j.foreco.2011.06.011>> Acesso em 01 ago. 2018.

PIERONI, J. P. **Definição de áreas prioritárias à recuperação, visando a produção de água em microbacias hidrográficas**. 2018. 185 f. Tese (Doutorado em Geociências e Meio Ambiente) – Universidade Estadual Paulista, Rio Claro. 2018.

PHILIPP, M., M. **Análise do perigo de incêndio em municípios do estado de Mato Grosso por meio da Fórmula de Monte Alegre**. 90 f., 2007. Dissertação (Mestrado em Física e Meio Ambiente) - Universidade Federal de Mato Grosso, Mato Grosso, 2007.

PRUDENTE, T. D. **Geotecnologias aplicadas ao mapeamento de risco de incêndio florestal no Parque Nacional da Chapada dos Veadeiros e áreas de entorno**. 116 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2010.

RAFFO, J. O Processo Analítico Hierárquico e seu uso na modelagem do espaço geográfico. **Revista Do Departamento De Geografia - USP**, São Paulo, v. especial, 26-37, 2012.

RIBEIRO, L.; KOPROSKI, L. P.; STOLLE, L.; LINGNAU, C.; SOARES, R. V.; BATISTA, A. C. Zoneamento de risco de incêndios florestais para a fazenda experimental do Canguiri, Pinhais (PR). **Floresta**, Curitiba, v. 38, n. 3, p. 561 - 572, 2008.

RIBEIRO, L.; SOARES, R. V.; BEPLER, M. Mapeamento de risco de incêndios florestais no município de Novo Mundo, Mato Grosso, Brasil. **Cerne**, Lavras, v. 18, n. 1, p. 117 - 126, 2012.

RIVERA-LOMBARDI, R. J., KRUG, T.; SANTOS, J. R. Permanência média de cicatrizes do fogo em diferentes tipos fisionômicos do cerrado brasileiro, utilizando dados do sensor TM/Landsat. **Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Goiânia, Brasil, 16-21, INPE, p. 3269-3276. Abril 2005.

RODRIGUES, A., N., C. **Considerações sobre prevenção e combate aos incêndios florestais no Estado do Rio de Janeiro**. 2008. Monografia (Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal) – Instituto de Florestas da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Seropédica, RJ. 2008.

SAATY, T.L. The analytic hierarchy and analytic network measurement processes: Applications to decisions under risk. **European Journal of Pure and Applied Mathematics**, Pittsburgh, v.1, n. 1, p. 122–196, 2008.

SALAS, J.; CHUVIECO, E. Geographic information systems for wild land fire risk mapping. **Wild fire**, Washington, v.3, n.2, p. 7-13, jun. 1994.

SECRETARIA DE ESTADO DO DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO SUSTENTÁVEL DE SANTA CATARINA. **SIGSC**: Banco de dados. Florianópolis: SDS, 2018. Disponível em: < <http://sigsc.sds.sc.gov.br/>>. Acesso em: 10 mar. 2018.

SEGER, C. D. *et al.* Caracterização do material combustível fino da estepe gramíneo-lenhosa no estado do Paraná, Brasil. **Ciência Florestal** [online], v. 28, n. 2, p. 863-874. 2018.

SILVA, J. S. V.; FEITOSA, R. G. F. Fatores que influenciam na velocidade de venda dos imóveis: um estudo de caso usando a Metodologia AHP. **Revista Tecnologia**, Fortaleza, v. 28, n. 2, p. 229-237, dez. 2007.

SILVA, I. D. B. **Sistema de alerta de incêndio florestal**. Campinas, SP: [s.n.], 2017.

SOARES, R. V. **Incêndios Florestais**: controle e uso do fogo. Curitiba: Fundação de Pesquisas Florestais do Paraná, 1985. 213 p.

SOARES, R. V. Novas tendências no controle de incêndios florestais. **Revista Floresta**, Curitiba, v. 30, n. 1/2, p. 11-21. 2004.

SOARES, R. V.; BATISTA, A. C. **Meteorologia e climatologia florestal**. Curitiba: UFPR / Centro de Ciências Florestais e da Madeira, 2004. 195 p.

SOARES, R. V.; BATISTA, A. C. **Incêndios florestais**: controle, efeitos e uso do fogo. Curitiba: FUPEF, 2007.

SOARES, R. V.; BATISTA, A.C.; NUNES, J. R. S.; **Incêndios Florestais no Brasil: O Estado da Arte**. Curitiba: UFPR, 2009.

SOUSA, C. *et al.* **Relatório do Projeto de Cartografia de Risco de Incêndio Florestal-CRIF2 a Fase**. Disponível em: <www.terravista.pt> Acesso em: 17 abr. 2012.

SOUZA, K., et al. Estrutura e estratégias de dispersão do componente arbóreo de uma floresta subtropical ao longo de uma topossequência no Alto-Uruguaí. **Scientia Florestalis**, Piracicaba, v. 43, n. 106, p. 321-332, jun. 2015.

SOUTO, P. C.; EDIMAR, V. J.; JUNIOR, C.; ALMEIDA, F. C. P.; MARTINS S.; ARAUJO, I. E. L.; SOUTO, S. S. Quantificação do material combustível em plantios florestais e em remanescente de mata atlântica no brejo da Paraíba. **Engenharia Ambiental**, Espírito Santo do Pinhal, v. 6, n. 3, p. 473 - 481, 2009.

TETTO, A. F. **Avaliação do risco como subsídio para o planejamento da proteção contra incêndios florestais em unidades de conservação: estudo de caso da FLONA de Irati – PR**. 109 f. Dissertação (Mestrado em Conservação da Natureza) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2009.

TETTO, A. F.; BATISTA, A. C.; SOARES, R. V.; NUNES, J. R. S. Comportamento e ajuste da fórmula de Monte Alegre na Floresta Nacional de Irati, Estado do Paraná. **Scientia Florestalis**, Piracicaba, v. 38, n. 87, p. 409 – 417, set. 2010.

TETTO A. F. BATISTA, A. C. SOARES, R. V. **Zoneamento de risco de incêndios florestais para a Floresta Nacional de Irati, Estado do Paraná, Brasil**. SCIENTIA FORESTALIS, Piracicaba, v. 40, n. 94, p. 259-265, jun. 2012.

TETTO A. F. **Comportamento Histórico dos Incêndios Florestais na Fazenda Monte Alegre no período de 1965 a 2009**. 2012. 114 f. Tese (doutorado) - Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal. Área de concentração: Conservação da Natureza. 2012.

TORRES, F. T. P., ROQUE, M. P. B., LIMA, G. S., MARTINS, A. L. L. F. Mapeamento do risco de incêndios florestais utilizando técnicas de geoprocessamento. **Floresta e Ambiente**, Viçosa, v. 24: e00025615. 2017.

VAKALIS, D., SARIMVEIS, H., C., T. KIRANOUDIS, C., T., ALEXANDRIDIS, A., BAFAS, G., V. A GIS based operational system for wildland fire crisis management, I. Mathematical modelling and simulation. **Applied Mathematical Modelling**, 2004, v. 28. p 411-425.

VIEIRA, F., I. **Combate a incêndio florestal: determinação do Índice de eficiência global de retardantes químicos de curta e de longa durações e avaliação de seus efeitos sobre a redução da intensidade do fogo em vegetação, em condições de laboratório**. 2011. 77 f. Monografia (Curso de Formação de Oficiais) – Centro de Ensino Bombeiro Militar. Corpo de Bombeiros Militar de Santa Catarina. Florianópolis, 2011.

WATZLAWICK, L. F.; KIRCHNER, F. F.; SANQUETTA, Carlos Roberto. Estimativa de biomassa e carbono em floresta com araucária utilizando imagens do satélite IKONOS II. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 19, n. 2, p. 169-181, 2009.

WHITE, L. A. S.; WHITE, B. L. A.; RIBEIRO, G. T. Modelagem especial do risco de incêndio florestal para o município de Inhambupe, BA. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 36, n. 85, p. 41-49, 2016.