

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO
INSTITUTO FÍSICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FÍSICA AMBIENTAL

**MODELAGEM ESPAÇO-TEMPORAL DE INCÊNDIOS
URBANOS EM ÁREA ABERTA EM CUIABÁ, MATO
GROSSO**

ANTÔNIO RAMOS CORRÊIA

PROF. DR. CARLO RALPH DE MUSIS
Orientador

Cuiabá, MT
DEZEMBRO/2021

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO
INSTITUTO FÍSICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FÍSICA AMBIENTAL**

**MODELAGEM ESPAÇO-TEMPORAL DE INCÊNDIOS
URBANOS EM ÁREA ABERTA EM CUIABÁ, MATO
GROSSO**

ANTÔNIO RAMOS CORRÊIA

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Física Ambiental da Universidade Federal de Mato Grosso, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Física Ambiental.

PROF. DR. CARLO RALPH DE MUSIS
Orientador

**Cuiabá, MT
DEZEMBRO/2021**

Dados Internacionais de Catalogação na Fonte.

C824m Correia, Antonio Ramos.

MODELAGEM ESPAÇO - TEMPORAL DE INCÊNDIOS
URBANOS EM ÁREA ABERTA EM CUIABÁ, MATO
GROSSO

/ Antonio Ramos Correia. -- 2021

xviii, 134 f. : il. color. ; 30 cm.

Orientadora: CARLO RALPH DE MUSIS.

Co-orientador: VITOR HUGO DANELICHEN.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Mato
Grosso, Instituto de Física, Programa de Pós-Graduação
em Física Ambiental, Cuiabá, 2021.

Inclui bibliografia.

1. MODELAGEM DE INCÊNDIO. 2. INCÊNDIO EM
ÁREA ABERTA. 3. CONFORTO URBANO. I. Título.

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

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



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO
PRÓ-REITORIA DE ENSINO DE PÓS-GRADUAÇÃO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO
EM FÍSICA AMBIENTAL

FOLHA DE APROVAÇÃO

TÍTULO: MODELAGEM ESPAÇO TEMPORAL DE INCÊNDIOS URBANOS E, ÁREA ABERTA EM CUIABÁ-MT

AUTOR: DOUTORANDO ANTONIO RAMOS CORREIA

Tese defendida e aprovada em **17** de **DEZEMBRO** de **2021**.

COMPOSIÇÃO DA BANCA EXAMINADORA

1. **Prof. Dr. CARLO RALPH DE MUSIS** (Presidente Banca / **Orientador**) - INSTITUIÇÃO: Universidade de Cuiabá
2. **Prof. Dr. JOSÉ DE SOUZA NOGUEIRA** (Membro Interno) - INSTITUIÇÃO: Universidade Federal de Mato Grosso
3. **Prof. Dr. JOÃO BASSO MARQUES** (Membro Interno) - INSTITUIÇÃO: Universidade Federal de Mato Grosso
4. **Prof. Dr. VICTOR HUGO DE MORAIS DANELICHEN** (Membro Externo) - INSTITUIÇÃO: Universidade de Cuiabá
5. **Profa. Dra. ÂNGELA SANTANA DE OLIVEIRA** (Membro Externo) -

INSTITUIÇÃO: Instituto Federal de MatoGrosso

6. **Profa. Dra. ROSÂNGELA MARIA GUARIENTE** (Membro Externo)

Cuiabá, 17/12/2021.



Documento assinado eletronicamente por **Victor Hugo de Moraes Danelichen**, **Usuário Externo**, em 08/12/2021, às 10:31, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decretonº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **ANGELA SANTANA DE OLIVEIRA**, **Usuário Externo**, em 08/12/2021, às 12:57, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decretonº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **CARLO RALPH DE MUSIS**, **Usuário Externo**, em 10/12/2021, às 11:32, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **JOÃO BASSO MARQUES**, **Docente da Universidade Federal de Mato Grosso**, em 22/12/2021, às 10:09, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Rosangela Maria Guarienti Ventura**, **Usuário Externo**, em 22/12/2021, às 11:17, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decretonº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site http://sei.ufmt.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_a_cesso_externo=0, informando o código verificador **4228432** e o código CRC **CC11B847**.

“E Deus deu a Noé o sinal do Arco Íris. Basta de água, a próxima vez será fogo!”

DEDICATÓRIA

ÀS: Minhas adoráveis netas:

Alice Werges Corrêa

Júlia Werges Corrêa

Luísa Barros Corrêa

Giovana Barros Corrêa

AGRADECIMENTOS

- ❖ Ao criador de todas as coisas do universo.
- ❖ A minha família.
- ❖ Ao professor Carlo Ralph de Muis
- ❖ A todo corpo docente do programa
- ❖ Aos colegas amigos que incentivam

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	XII
LISTA DE TABELAS	XIV
LISTA DE QUADROS	XV
LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS	XVI
RESUMO	XVIII
ABSTRACT	XX
1. INTRODUÇÃO	18
1.1 PROBLEMÁTICA	18
1.2 JUSTIFICATIVA	19
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	22
2.1 AVALIAÇÃO DO RISCO DE INCÊNDIO	26
2.1.1 Normatização Internacional de Riscos	26
2.1.2 Transpor os ditames da NBR ISSO 31000/2009 - Gestão de riscos: Princípios e diretrizes	33
2.1.3 Índices de Perigo de Incêndio	35
2.1.4 O Fire Weather Index (<i>FWI</i>) e outros modelos que avaliam risco pela Umidade do material Combustível (<i>UMC</i>)	37
2.1.5 O Índice de Nesterov	42
2.1.6 Índice de Angstrom e de Lourenço	44
2.2 AVALIAÇÃO DO RISCO DE INCÊNDIO NO BRASIL	45
2.2.1 Fórmula de Monte Alegre (<i>FMA</i>)	47
2.2.2 Fórmula de Monte Alegre Alterada (<i>FMA+</i>)	48
2.2.3 Avaliação do risco de incêndio em Mato Grosso	48
2.2.4 Avaliação do risco de incêndio em Cuiabá	49
2.3 O SISTEMA FUZZY OU TEORIA DOS CONJUNTOS NEBULOSOS (TCN)	51

2.3.1	Lógica Fuzzy e Lógica Booleana	51
2.3.2	Raciocínio da lógica Fuzzy	52
2.3.3	Lógicas: Clássica e Difusa	57
2.3.4	Conjunto Fuzzy e seus conceitos (terminologia)	58
2.3.5	Modificadores linguísticos	58
2.3.6	Expressões de funções de pertinência.....	59
3.	MATERIAL E METODOS	61
3.1	LOCAL DE ESTUDO	61
3.2	FONTES DE INFORMAÇÕES	62
3.2.1	Regras.....	63
3.2.2	Monte Carlo	64
3.2.3	Rotinas computacionais	64
4.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	65
4.1	VARIÁVEIS LINGÜÍSTICAS PARA O UNIVERSO DE DISCURSO “INCÊNDIO” EM ÁREA ABERTA NO MUNICÍPIO DE CUIABÁ	65
4.1.1	Primeira variável linguística: Cobertura vegetal em Cuiabá	68
4.1.2	Segunda variável linguística: O relevo de Cuiabá	77
4.1.3	Terceira variável linguística: A Vizinhança	79
4.1.4	Quarta variável linguística: A gestão pública	89
4.1.5	Quinta variável Linguística: A defesa civil a nível de Estado.....	90
4.1.6	Sexta variável linguística: A defesa Civil a nível municipal.....	91
4.1.7	Sétima variável linguística: Vento	92
4.1.8	Oitava variável Linguística: Precipitação (<i>Ppt</i>).....	94
4.1.9	Nona variável Linguística: Insolação	97
4.1.10	Décima variável Linguística: Temperatura.....	98
4.1.11	Décima primeira variável Linguística: Umidade relativa do ar	99

4.1.12	Decima segunda variável linguística: Evaporação.....	99
4.2	BASE DE DADOS	100
4.3	VALIDAÇÃO	100
4.4	ANÁLISE ESTATÍSTICA	103
5.	CONCLUSÕES	108
6.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	111

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 01: Monitoramento e análise de crise dos princípios da gestão de riscos, estrutura e processo.	29
FIGURA 02: Relacionamentos entre os princípios da gestão de riscos, estrutura e processo.	30
FIGURA 03: Quadro de situações ao risco.	31
FIGURA 04: Percepção da Lógica Fuzzy. (A) Sistema Booleano e (B) Teoria dos Conjuntos Nebulosos.	53
FIGURA 05: Sistema de inferência Fuzzy.	55
FIGURA 06: Relacionamento entre os termos matemáticos (a) e os termos linguísticos Fuzzy (b).	57
FIGURA 07: (A) Função de pertinência triangular com parâmetros [a b c]. (B) Função de pertinência triangular modificada pela potência $d = 0,5$	59
FIGURA 08: Localização da cidade de Cuiabá.	61
FIGURA 09: Vestígio de queima em casca de árvore de cerrado.	71
FIGURA 10: Serapilheira em área desmatada.	72
FIGURA 11: Incêndio em “ecoponto” Municipal.	74
FIGURA 12: Gramíneas verdes após ação de queima.	74
FIGURA 13: Capim colônia verde, após queima.	75
FIGURA 14: Pirâmide etária da cidade de Cuiabá.	81
FIGURA 15: Imagem da influência de vizinhança como fonte de ignição de fogo em campo.	82
FIGURA 16: Mostrando vizinhança que deu início ao fogo e sua direção de queima.	82
FIGURA 17: Ocupação de solo por classe de renda.	84
FIGURA 18: Vento ocorrido em período de incêndio (25/04/2016 -01/05//2016). (A) Velocidade do vento em Km/h e (B) direção do vento.	93
FIGURA 19: Precipitação (mm) para o dia de ocorrência de incêndio, 25/04/2016.	94
FIGURA 20: Balanço Hídrico climatológico para as séries 1931-1960 e 1961-1990.	96
FIGURA 21: Perfil da dinâmica hídrica do solo.	97

FIGURA 22: Densidade cruzada entre o índice de risco de incêndio estimados pelo modelo Fuzzy e manualmente, pelo pesquisador.....	101
FIGURA 23: Dispersão da raiz quadrada dos resíduos padronizados em relação aos valores ajustados.	101
FIGURA 24: Gráfico de ajuste a distribuição Normal.	102
FIGURA 25: Dispersão entre o resíduo padronizado e a alavancagem.....	102
FIGURA 26: Focos de incêndio nos anos de 2013 a 2017.	103

LISTA DE TABELAS

TABELA 01: Classificação das formas de relevo	79
TABELA 02: Valores obtidos para os intervalos de confiança da mediana para as variáveis estudadas.....	105

LISTA DE QUADROS

QUADRO 01: Classes de risco para os subíndices do FDI.....	41
QUADRO 02: Grau de risco relacionado a somatória do Índice de inflamabilidade (G).....	43
QUADRO 03: Condições de ocorrência de incêndios segundo o Índice de Angstrom (IA).	44
QUADRO 04: Definições dos graus de riscos para o Índice de Lourenço.	45
QUADRO 05: Definições dos graus de riscos para o índice de Lourenço	48
QUADRO 06: Classe de renda versus risco de incêndio.....	88
QUADRO 7: Proximidade ao combustível versus risco de incêndio.	88
QUADRO 8: Eficiência da gestão do governo versus risco de incêndio.....	90
QUADRO 9: Relação gestão, conscientização, prevenção e combate versus risco alto de incêndio.	92
QUADRO 10: Condição do vento versus velocidade em $m s^{-1}$	94
QUADRO 11: Risco decorrente da variável precipitação.	97
QUADRO 12: Relação insolação e risco de incêndio.	98
QUADRO 13: Relação insolação e risco de incêndio.	98
QUADRO 14: Relação insolação e risco de incêndio.	99
QUADRO 15: Relação evaporação e risco de incêndio.	100
QUADRO 16: Variáveis linguísticas.	107
QUADRO 17: Variáveis linguísticas - a pertinência de cada uma das variáveis a conceituamos pela letra μ	107

LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

DP - Drenagem profunda

DPV - Déficit de pressão de vapor d'água

es - Pressão de saturação do vapor d'água atmosférico

ea - Tensão máxima de vapor ou Pressão de saturação do vapor d'água atmosférico

ET - Evapotranspiração

FMA - Fórmula de Monte Alegre

FMA + - Fórmula de Monte Alegre Alterada

G - Índice de inflamabilidade

LAI - Índice de área foliar da Floresta

Ppt - Precipitação

T - Temperatura do ar

Td - Temperatura do Ponto de Orvalho

UMC - Umidade do Material Combustível

UR - Umidade relativa do ar

u - Velocidade do vento

1º BBM - 1º Batalhão Bombeiro Militar “1º BBM” – Cuiabá/MT

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas

APPs - Áreas de Preservação Permanentes

BEA - Batalhão de Emergências Ambientais

CBM - Corpo de Bombeiros Militar

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IDH - Índice de Desenvolvimento Humano

INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

IPEA - Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada

POLITEC - Perícia Oficial e Identificação Técnica

RESUMO

CORRÊIA, A.R. **Modelagem espaço-temporal de incêndios urbanos em área aberta em Cuiabá, Mato Grosso**. Tese (Doutorado em Física Ambiental) - Instituto de Física, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2021.

O município de Cuiabá está sujeito a queimadas em sua área aberta no centro urbano e em área rural. O combustível que permite tais queimadas é caracterizado no centro urbano, pela vegetação rasteira dos canteiros das avenidas, dos parques, os ecopontos, terrenos baldios, depósitos ilegais de resíduos, representam combustíveis disponibilizados para incêndios em área aberta urbana. No meio rural, a vegetação é mais robusta consistindo em gramíneas maiores formadoras das pastagens, cerrado ralo, cerrado denso e até florestas de transição. A maior ocorrência de queimadas acontece nos meses da estação seca em especial nos meses de julho e agosto, provocando lançamento de volume muito alto de particulados, poluição visual, prejudicando a saúde e desconforto da população. Este trabalho visando a obtenção de um modelo para auxiliar o prognóstico de incêndio em área aberta urbana e rural do município de Cuiabá, escolheu doze variáveis (três geográficas, três de gestão do fogo, e seis meteorológicas) para compor as equações de pertinência exigidos pelos princípios da lógica Fuzzy também chamada de Teoria dos Conjuntos Nebulosos (TCN), utilizando como informações os dados de ocorrência de incêndios da Secretaria de Segurança Pública do Estado de Mato Grosso e os dados obtidos através do índice espectral NBR (Índice de Queimada Normalizada) para a detecção das cicatrizes de queimadas e avaliação da severidade do fogo. O período corresponde as datas 17/08/2013, 20/08/2014, 23/08/2015 e 28/08/2016, órbita e ponto 226/71 derivadas das refletâncias corrigidas aos efeitos atmosféricos e foram obtidas por meio do *Science Center Platform Processing Architecture* (ESPA) do serviço geológico US *geological Survey* (USGS); O desenvolvimento foi feito majoritariamente na linguagem R, possuindo um painel de demonstração em Shiny. Todos os códigos estão disponíveis em repositório público em <https://github.com/demusis/fuzzyIncendio>. O modelo foi testado por validação cruzada, apresentando um MAD de **16.88%**. Com esses resultados, concluímos que o modelo obteve um resultado verossímil em relação

aos resultados encontrados, mas uma ampliação das calibrações junto a especialistas o modelo pode ser aprimorado e servir como ferramenta para auxiliar os gestores, peritos criminais e profissionais da defesa civil quanto as suas práticas e políticas públicas.

Palavras-chave: Modelagem de incêndio, incêndio em área aberta, conforto urbano.

ABSTRACT

CORRÊIA, A.R. **Spatiotemporal modeling of urban fires in an open area in Cuiabá, Mato Grosso.** Thesis (Doctorate in Environmental Physics) - Institute of Physics, Federal University of Mato Grosso, Cuiabá, 2021.

The municipality of Cuiabá is subject to fire in its open area in the urban center and in rural areas. The fuel that allows such burnings is characterized in the urban center, by the undergrowth of the flowerbeds of avenues, parks, ecopoints, vacant lots, illegal waste deposits, represent fuels available for fires in open urban areas. In rural areas, the vegetation is more robust, consisting of larger grasses that form pastures, thin savanna, dense savanna and even transition forests. The highest occurrence of fires occurs during the dry season, especially in July and August, causing a very high volume of particulates to be released, visual pollution, harming the population's health and discomfort. This work, aiming to obtain a model to aid fire prognosis in an open urban and rural area of the municipality of Cuiabá, chose twelve variables (three geographic, three fire management, and six meteorological) to compose the membership equations required by Fuzzy logic principles also called Fuzzy Set Theory (TCN), using as information the fire occurrence data from the Public Security Secretariat of the State of Mato Grosso and the data obtained through the spectral index NBR (Normalized Fire Index) for detection of burn scars and evaluation of fire severity. The period corresponds to the dates 08/17/2013, 08/20/2014, 08/23/2015 and 08/28/2016, orbit and point 226/71 derived from the corrected reflectances for atmospheric effects and were obtained through the Science Center Platform Processing Architecture (ESPA) of the US Geological Survey (USGS) geological service; Development was mostly done in R language, with a demo panel in Shiny. All code is available in a public repository at <https://github.com/demusis/fuzzyIncendio>. The model was cross validated, showing a MAD of 16.88%. With these results, we conclude that the model obtained a credible result in relation to the results found, but an expansion of the calibrations with specialists, the model can be improved and serve

as a tool to help managers, criminal experts and civil defense professionals regarding their public practices and policies.

Keywords: Fire modelling, open area fire, urban comfort.

1. INTRODUÇÃO

Estabelecer um modelo para previsão do risco de incêndio em área vegetadas, terrenos baldios, ecopontos e depósitos ilegais de resíduos para o município de Cuiabá, utilizando doze variáveis consideradas mais importantes para inferir direta ou indiretamente para ocorrência do fogo. Constitui uma abordagem inédita para todos os modelos de risco de incêndio conhecidos, que naturalmente não será obtido no primeiro momento, mas ao longo de um período capaz de calibração do modelo, através de confirmações contínuas até que se torne um modelo consolidado.

O grande benefício, é antecipar ações de combate a incêndio urbano em área aberta, através de economia de recursos, melhoria do conforto urbano através da qualidade do ar, redução da temperatura na estação seca.

O modo diferenciado de combate, deve ser implementado através de modelagem capaz de considerar os fatores meteorológicos, a ação de governo, a natureza da vizinhança, a cobertura vegetal, a topografia entre outras variáveis que sabidamente contribuem para o aparecimento do fogo, adicionados a ferramentas digitais que possam interagir entre população e instituições para aumentar a eficiência (WEILER; GROSSNIKLAUS; SCHOLL, 2016).

O incêndio passará a ser tratado considerando doze variáveis que possam influenciar a ocorrência de incêndio, com a vantagem de que a cada ano, modificações no sistema de gestão possam ser inseridas de forma a evitar incêndios.

1.1 PROBLEMÁTICA

A grande quantidade de variáveis influenciadoras para ocorrência de incêndios em área urbana aberta de um aglomerado populacional como a cidade de Cuiabá, configura a maior dificuldade a ser transposta. Por um lado, a peculiar temperatura, umidade relativa do ar, associada a cobertura vegetal e aos hábitos das pessoas que residem na cidade, representam um grande quebra cabeças para elaboração de um sistema que redunde em um modelo matemático envolvendo todas estas condições.

Estabelecer de antemão estas informações por si só configura um grande trabalho, desde a obtenção de dados, correlacioná-los e obter uma resposta satisfatória para uma modelagem eficiente em um primeiro momento.

No entanto, partindo dos dados de ocorrência dos incêndios, associados aos demais dados de meteorologia, população, cobertura vegetal, utilizando a teoria fuzzy, será possível estabelecer uma primeira matriz para o modelo de risco.

1.2 JUSTIFICATIVA

O perigo de incêndio está vinculado a dois tipos determinantes de riscos de incêndio (NUNES, SOARES, BATISTA, 2006): o primeiro denominado constante, inerente a natureza do material combustível, relevo, tipo de floresta e o segundo, diz respeito às condições climáticas, como a velocidade do vento, a umidade relativa, temperatura, ponto de orvalho precipitação, evaporação e instabilidades climáticas.

Araya-Muñoz et al. (2017), utilizaram os recursos de satélite combinados com o soft ARCGIZ, para avaliar através da lógica difusa os impactos da multiplicidade dos riscos urbanos da cidade de Concepción no Chile. Os riscos urbanos para a cidade de Cuiabá, ao contrário dos grandes incêndios de Portugal ou da Califórnia, não têm incluído vítimas fatais devido à natureza do combustível exposto. No entanto, os prejuízos materiais, ambientais são consideráveis adicionados ainda ao custeio do órgão público ao combate do incêndio.

O esforço para a redução da atividade de fogo e incendiária, passa por conhecer bem as condições climáticas dos meses normal de incêndio, conscientizar a população, dotar a cidade de um planejamento eficiente e por fim aparelhar bem as instituições de defesa civil para o combate regular ao incêndio.

Shaw e Simões (1999) recomendam a utilização da lógica Fuzzy por ser um método capaz de expressar de uma maneira sistemática quantidades imprecisas, vagas ou mal definidas.

O conjunto dessas medidas resulta na condição de gerar meios de aproximar a predição de fogo de forma mais objetiva, melhorando a atividade de governança. Para alcançar este objetivo, o estudo das variáveis envolvidas como condicionantes do incêndio, são relacionadas e descritas uma a uma para então desenvolver um modelo

através da lógica Fuzzy, também chamada nebulosa, difusa e as vezes ainda chamada da teoria das possibilidades.

Cuiabá, a capital de Mato Grosso, é uma cidade quente, condição asseverada na estação seca pela ocorrência de incêndios na área urbana e rural do município (SILVA, et al., 2018). Estes incêndios têm origem em sua grande maioria pelo fogo posto (intencional), para limpeza de terrenos baldios, ou depósito de lixo e entulhos ilegais (MATO GROSSO, 2015) mesmo raciocínio para os incêndios fora da área urbana, que são em sua maioria fogo intencional, também para limpeza do solo, mas com objetivo de produção agrícola ou pecuária.

Os locais que configuram motivação de incêndio são os terrenos baldios, as áreas de urbanização públicas e as áreas de preservação. Os terrenos baldios, configuram em sua maioria a propriedade privada. Enquanto as áreas de preservação são públicas; municipais, estaduais ou federais.

O sistema de preservação tem como dirigentes gestores, representantes de classes sociais de diversos interesses e por esta razão, constituem um espaço verde com duplo sentido, o primeiro do ponto de vista de consolidar como um ecossistema preservado; o segundo como uma reserva de interesse para o crescimento urbano (LEON; KIM, 2017).

A luta anual da defesa civil e Corpo de Bombeiros tem se revelado insuficiente utilizando os procedimentos tradicionais, cuja gestão não antecipa soluções quanto aos incêndios, necessitando modificar o modo operacional na prevenção e extinção de incêndios.

A fuligem decorrente de incêndios em áreas abertas tem como resultado imediato o aparecimento de ilhas de calor além de associação entre o material particulado a doenças respiratórias (CARMO et al., 2010).

O desconforto gerado pelo calor e fuligem das queimadas urbanas, o custo de combate a incêndio, e em particular o custo da manutenção da saúde da população, justificam o estudo, na medida em que existindo um modelo como ferramenta de gestão, a eficiência do serviço público age como melhoria urbana imediata.

Logo, este trabalho visa elaborar um modelo espaço temporal de incêndios urbanos em áreas abertas e ilhas de calor para o município de Cuiabá, através de dados gerados pelas imagens de satélites dos focos de incêndio registrados para os anos de

2013, 2014, 2015 e 2017. Esses dados foram incorporados como variáveis ou universo de discurso juntamente com os fatores meteorológicos, a gestão pública, a vizinhança e o relevo, aplicando-os a teoria Fuzzy através do desenvolvimento de um programa específico baseado em linguagem Python.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O fogo é uma das fontes mais críticas de perturbação para os ecossistemas terrestres, conforme revisado em diversos estudos (CHUVIECO et al., 2019; HANTSON et al., 2016; MOUILLOT et al., 2014) e suas referências. De acordo com o Global Climate Observing System (GCOS), o fogo é uma das 17 Variáveis Climáticas Essenciais da Terra (FORNACCA ET al., 2018; LOTUFO et al., 2020; CAMPAGNOLO et al., 2021), sendo a pesquisa desta variável climática essencial pode ser de natureza física, química, biológica, ou ainda uma combinação de diversas variáveis que assumem fatores convergentes na caracterização do sistema climático.

O estudo de Prata (2019) trabalha com alguns cenários de variáveis, considerando diversos aspectos condicionantes a ocorrência do fogo. Cada incêndio agrupa para sua ocorrência uma sequência de variáveis e a observação destas, levantam novos questionamentos dos pesquisadores, daí a elaboração e existência de diversos índices e equações preditivas. Prata (2019) apresenta a intervenção da proximidade de vizinhança, na medida em que contabiliza as distancias ao centro urbano, distância para a estrada, distância para assentamento rural, deixando claro que a contribuição humana para o fenômeno do fogo é uma variável importante e consolidando o próprio fogo como uma variável importante dentro da diversidade das demais para ocorrência continuada ano a ano dos incêndios.

A presença do fogo em algumas regiões como as savanas é um fenômeno natural, pertinente aquele meio ambiente. No entanto, em outros lugares, a existência do fogo é função do grau de umidade da matéria seca, que por sua vez depende de todas as demais variáveis climáticas. A temperatura auxilia bastante para a intensidade do fogo, mas não tem grande influência na velocidade de propagação deste. Os elementos meteorológicos influenciam na ocorrência do fogo que é uma reação química que altera a condição do tempo e por ele é alterado. Impossível não perceber o efeito básico do fogo, quer pela alteração da temperatura, da umidade do ar, do material particulado em suspensão, da alteração da umidade do solo, e com isso modificando a evapotranspiração, a cobertura vegetal, o risco de morte de seres vivos entre outras modificações (TORRES, et al., 2019).

Ao longo da história, os humanos têm utilizado o fogo como ferramenta de gestão ambiental, seja para reduzir a quantidade de biomassa presente na paisagem ou para controlar a flora e a fauna silvestres (BIRD e CALI, 1998; BOWMAN et al., 2009). As características da vegetação, principalmente cargas de biomassa e umidade, determinam o comportamento do fogo (ARCHIBALD et al., 2013; HANTSON et al., 2016), mas o fogo também modifica a estrutura e a evolução da vegetação (BOND e KEELEY, 2005).

O fogo é um processo ecológico chave em muitas áreas florestais, e sua variação em tamanho e severidade influencia fortemente a estrutura da floresta e os habitats da vida selvagem (HERRANDO e BROTONS, 2002; HERRANDO, BROTONS e LLACUNA, 2003), devido ao impacto que o fogo afeta cada áreas florestadas, dependendo da intensidade do fogo e do tempo de residência, bem como da capacidade da árvore em proteger os tecidos sensíveis (BUTLER e DICKINSON, 2010; MICHALETZ e JOHNSON, 2007), que está relacionada à espécie e tamanho de cada árvore (CATRY et al., 2010). Este aspecto é especialmente relevante quando as respostas retardadas ao fogo precisam ser contabilizadas (SOVEREL et al., 2010; VALOR et al., 2017), já que cada árvore responde de forma diferente à mesma intensidade de fogo dependendo de seu tamanho, características fisiológicas dependentes da espécie e intervalo de tempo desde o evento de incêndio.

Um incêndio é considerado um desastre natural por causar grandes impactos na sociedade tanto na ordem social como no meio ambiente (CLARET, 2006). Apesar da legislação no país ter se tornado mais rigorosa ao longo dos anos, os aglomerados, os adensamentos populacionais, a iminência de riscos naturais e as atividades antrópicas que ocasionam incêndios florestais e incêndios urbanos ainda fazem parte da rotina diária da grande maioria das cidades brasileiras (CORRÊA, 2017).

Uma característica associada à segurança contra incêndio é a incerteza relacionada aos diversos fenômenos ligados a este tema. Para o tratamento dessa incerteza é importante conhecer o histórico destas ocorrências, pois a partir desse histórico é possível conhecer as principais linhas de incidências, adotar medidas que melhorem a prevenção, criar campanhas de informação e sensibilização do público, buscar e introduzir inovações tecnológicas que permitam controlar os riscos mais

graves e intervir de forma mais eficaz nos sinistros (PRIMO, COELHO e RODRIGUES, 2008).

Na medida em que o crescimento urbano acelera, há um aumento na construção de imóveis residenciais e comerciais, ocasionando assim a destruição de áreas vegetadas (CORRÊA, 2011; WEBER et al., 2016), paralelamente a ocorrência de incêndios tem se intensificado com o decorrer dos anos (GUIMARÃES et al., 2019). Com isso, estas catástrofes trazem com ela diversos prejuízos sociais, políticos e econômicos para a sociedade (ALVES et al., 2016).

As estatísticas nacionais indicam um percentual bastante significativo das ocorrências dos incêndios tendo como fator de ativação as instalações elétricas em qualquer edificação, uma vez que o alto consumo de energia elétrica aumenta os riscos de incêndios por eletricidade, principalmente por sobrecarga (SILVA, 2011). Esses eventos na maioria das vezes têm início pela sobrecarga em condutores que, ao terem ultrapassado seus limites de condução de corrente, aquecem e perdem a isolação, dando origem ao fogo (BARRETO et al., 2020).

Já os incêndios florestais e as queimadas são distúrbios ecológicos recorrentes em ecossistemas florestais (FULTZ et al., 2016; HEYDARI et al., 2017; TABOADA et al., 2017), sendo fatores generalizados de perturbações do ecossistema (BOND et al., 2005), causando vítimas humanas inestimáveis, efeitos negativos no sequestro de carbono e perdas econômicas substanciais (FAO, 2007; MONTAGNÉ-HUCK & BRUNETTE, 2018; Pellegrini et al., 2018), além do fato da prática do uso de fogo ainda ser o elemento mais utilizado no manejo de ambientes agropastoris, por ser uma alternativa muito barata e já estar inserido na cultura agrícola e na ‘limpeza’ de novas ambientes desmatados (RIBEIRO et al., 2008).

A maioria dos incêndios e queimadas florestais tem origem antrópica, podendo ser de forma intencional ou não (SANTOS et al., 2006; GUIMARÃES et al., 2019), que são agravados por fatores como clima, seca, velocidade do vento ou até mesmo pelo relevo da área, atuando direta ou indiretamente em sua propagação (SANTOS, 2004). Evidências científicas sustentam a hipótese de que as mudanças climáticas podem alterar a dinâmica do fogo por meio dos efeitos diretos e indiretos que exercem sobre a umidade e disponibilidade do combustível (PAUSAS e RIBEIRO, 2013;

SEIDL et al., 2017; WILLIAMS e ABATZOGLOU, 2016; MAFFEI & MENENTI, 2019) e, finalmente, sobre a probabilidade de distribuição de variáveis dependentes, como ocorrência de incêndio, área queimada e taxa de propagação (FLANNIGAN et al., 2016; PODSCHWIT et al., 2018; SYPHARD et al., 2018).

No Brasil, as causas dos incêndios florestais têm sido principalmente devido ao uso incorreto do fogo por pessoas, para renovação de pastagens e limpeza de restos de cultura nas propriedades vizinhas (MEDEIROS e FIEDLER, 2004). Neste sentido, frequentemente não são realizados aceiros (desbaste de um terreno ou propriedade que circula as plantações), as condições climáticas não são verificadas, o período da realização da queima é inadequado e há desconhecimento sobre equipamentos de controle do fogo e alternativas ao uso de queimadas. Além disso, são também causas frequentes a ação de incendiários, caçadores, pescadores e soltura de balões, entre outras (MEDEIROS, 2002).

Nas últimas décadas, com a crescente ocupação e conversão do cerrado em áreas agrícolas, as florestas e pastagens localizadas nesse bioma têm sido constantemente impactadas pela ação frequente de incêndios florestais. A ocorrência de grandes incêndios nesse tipo de bioma pode ser considerada uma grave ameaça para a conservação da biodiversidade e manutenção de processos ecológicos. Estes incêndios são particularmente graves para áreas pequenas, em ecossistemas muito sensíveis ao fogo, áreas isoladas por cidades ou monoculturas agrícolas e áreas com espécies raras e/ou ameaçadas de extinção.

Entre os efeitos negativos das queimadas frequentes para a flora lenhosa, foram constatadas a diminuição da densidade arbórea, como consequência da redução do recrutamento de árvores, e o aumento do entouceiramento (formação de touceiras, grandes moitas, mais ou menos densas), além da diminuição da diversidade de espécies (SAMBUICHI, 1991). Silva (1999) e Sato (1996) verificaram elevadas taxas de mortalidade em cerrado campo sujo e cerrado sensu stricto após queimadas prescritas. Em fitofisionomias florestais, como cerradão, o fogo pode eliminar muitos indivíduos, tornando este tipo de formação mais rala em termos de elementos lenhosos (Souza e Soares, 1983). Também já foram verificados impactos negativos sobre a reprodução

sexual através da destruição de estruturas reprodutivas (frutos, flores, sementes) (HOFFMANN, 1998).

2.1 AVALIAÇÃO DO RISCO DE INCÊNDIO

2.1.1 Normatização Internacional de Riscos

Nos anos de 1945 e 1946, pós-guerra, os países aliados tiveram dificuldades entre si para estabelecerem normas técnicas comuns para os diversos trabalhos de reconstrução compartilhada entre eles. Por essa razão, inicialmente seguiram as normas consolidadas do Reino Unido, quando então criaram normatização comum a todos.

Segundo o departamento de Agronomia dos EUA – USDA, através do seu departamento de serviços florestais, os Estados Unidos da América têm um forte sistema de combate a incêndio florestal, notadamente liderado pelo Estado da Califórnia, cujo poder de combate ao incêndio é proporcional ao poder dos bombeiros de Nova York (NYFD), Los Angeles (LAFD) e Chicago (CFD) juntos.

O modo operacional de combate a incêndio está inserido ao departamento de recursos naturais e entre todos os assuntos da natureza está a prevenção e combate a incêndios florestais combinados com a preservação do solo, vegetal, águas etc.

Para o caso de combate a incêndio florestal, foi criado no contexto da preservação de recursos naturais o California Department Forestry and Fire Protection (CDFFP - CAL FIRE) que tem o poder público, como o gestor principal, um corpo de combatentes de incêndio em associação com os municípios e condados, que integram uma rede eficiente de combate a incêndio. A CAL FIRE tem a maior frota civil de aeronaves destinadas a combate a incêndio do país e o efetivo de viaturas é também imenso (FIRE, 2019; MANAGEMENT TASK FORCE, 2021; CAL FIRE, 2021).

Na Europa, existe uma comissão da Comunidade Europeia, European civil protection and humanitarian aid operations, que funciona como uma associação internacional de combate a incêndio florestais e outras calamidades (EUR-LEX, 2019). Os países mais ao sul da Europa são aqueles que mais sofrem com incêndios. Este organismo tem um Centro de Coordenação de resposta de emergência (CCRE), é

a estrutura de resposta a urgências da Comissão Europeia. Em 2017, por exemplo, houve 17 ocorrências envolvendo os países: Portugal, Itália, Montenegro, França e Albânia. Em 2018, diminui para cinco ocorrências, sendo duas na Suécia em Portugal, Grécia e Letônia.

O Brasil, na sequência organizou através da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), a NBR 31000, pela qual orienta toda a gestão de riscos de acordo com os preceitos gerais dos países aliados (OTAN). A NBR ISO 31000/2009 (2009), Gestão de Riscos válida a partir de 2009, estabelece critérios para avaliação e gestão de riscos no Brasil. O primeiro conceito apresentado por essa norma é o conceito risco. Segundo a norma, risco é todo fator externo ou interno que podem proporcionar a existência de um problema, se e quando irá acontecer.

A NBR ISO 31000/2009 (2009), prevê e descreve um processo sistemático para prevenção de risco em detalhes, e o sentido mais forte dessa norma está representado pelo caráter contínuo baseado em princípios, estrutura e processo visando melhorias constantes, em busca da chamada aproximação sucessiva de resultados.

A referida norma recomenda contínua atualização da melhoria do gerenciamento de risco, promovendo assim procedimentos cada vez mais interativos entre predição e resultados. Esta recomendação da norma visa dinamizar e otimizar o sistema continuamente. Embora toda organização tenha gestão de riscos, a norma estabelece um mínimo de princípios para que essa gestão seja eficaz. A norma NBR ISO 31000/2009 (2009) estabelece:

Cada setor específico ou aplicação da gestão de riscos traz consigo necessidades particulares, vários públicos, percepções e critérios. Portanto, uma característica-chave desta Norma é a inclusão do estabelecimento do contexto como uma atividade no início deste processo genérico de gestão de riscos. O estabelecimento do contexto captura os objetivos da organização, o ambiente em que ela persegue esses objetivos, suas partes e a diversidade de critérios de risco – o que auxiliará a revelar e avaliar a natureza e a complexidade de seus riscos.

A compreensão da norma é constituída de vários passos, sem os quais não será possível executar em sua íntegra. A identificação de riscos em qualquer que seja o sistema, implica necessariamente em estabelecer o contexto em que se quer identificar o risco.

Neste caso, a identificação consistirá em que área da ciência ou tecnologia se deseja atuar, delimitando a área geral e específica do assunto. A partir da consolidação deste contexto, é que possibilita ao chamado Processo de Avaliação de Risco (PAR).

O PAR tem início na identificação formal de todos os riscos envolvidos no processo, científico ou tecnológico de um processo. Estes riscos, envolvem todos os eventos possibilidades notáveis, diretos e indiretos. Há que evocar possibilidades de riscos mecânicos, biológicos, químicos, físicos, sociais, comportamentais etc.

Identificados todos os riscos, a providência que se segue é a análise individual de cada risco. Um dos detalhes de análise de risco, para exemplificar, é chamado de “*compliance*”. Estar em “*compliance*”, se refere aos controles internos e de governança corporativa, que fazem parte do conjunto de normas que sustentam o controle de riscos.

Após a identificação e análise de riscos, segue a avaliação destes riscos em níveis de influência em beneficiar ou não o processo. O risco devidamente avaliado indica o seu peso em influência e, portanto, o seu nível de possibilidade de ocorrência (Figura 01).

Tendo sido o risco devidamente avaliado, segue ao tratamento fechando assim o ciclo do processo, convergindo para o monitoramento e análise crítica de todo o processo, denominado de Comunicação e Consulta. Importante salientar que cada fase, a começar pelo Estabelecimento do Contexto, tem relação dual entre a Comunicação e Consulta e Monitoramento e Análise Crítica. É uma avaliação constante entre estas duas ferramentas de planejamento.

Uma vez vencida a dualidade de Comunicação e Consulta *versus* Monitoramento e Análise Crítica, seguem a implantação destes movimentos no cotidiano das Instituições. A estrutura é composta pelo “Mandato de Comprometimento” (Figura 02) através da criação de mecanismos de gestão capazes de gerenciar riscos visando a contínua melhoria da estrutura; implementação da gestão de riscos; estas duas fazendo estações de parada para reflexão constantemente à origem que concebeu a estrutura de gestão de riscos e a outra referente a estação denominada Monitoramento e análise crítica (ABNT NBR ISO 31000, 2009).

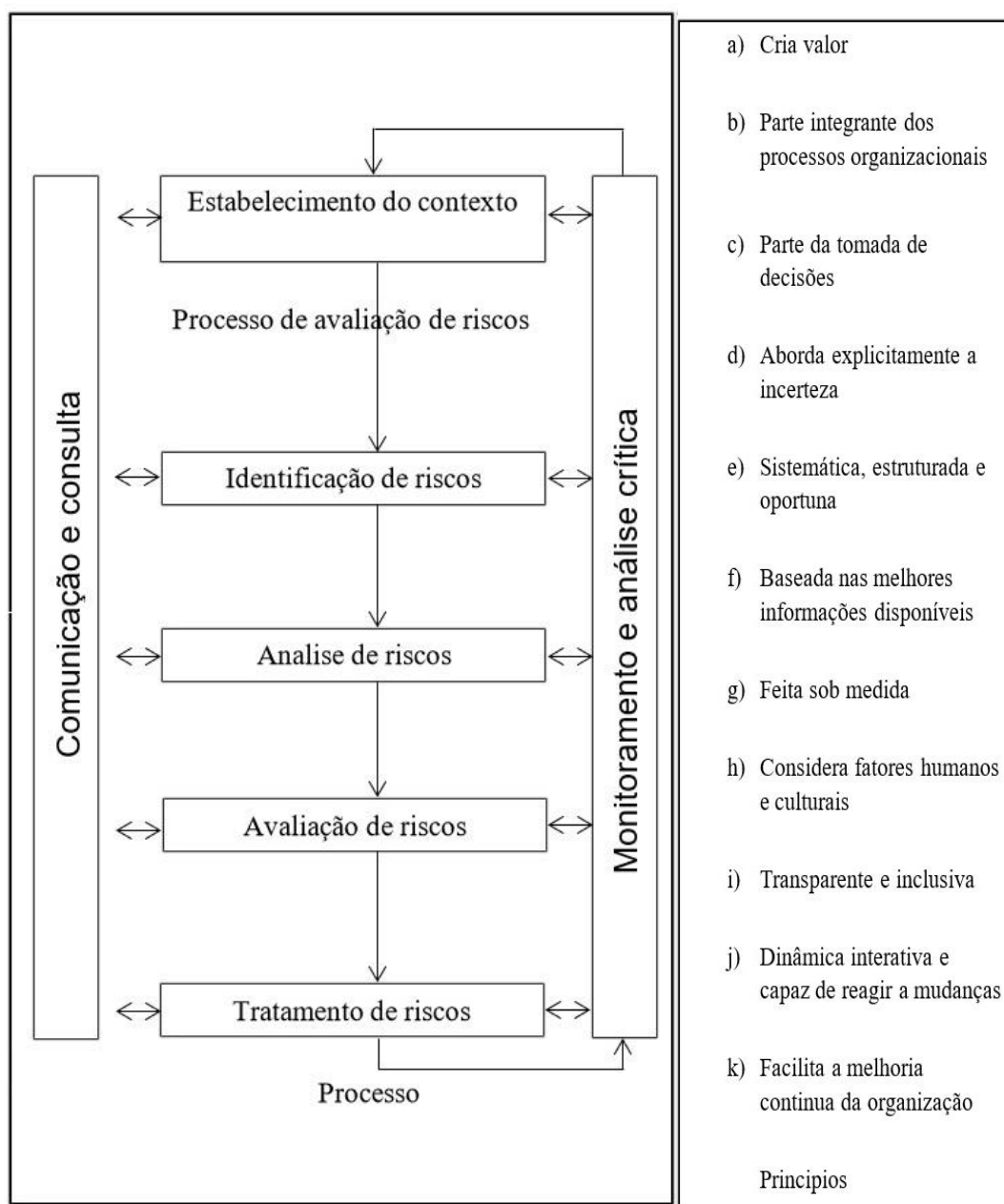


FIGURA 01: Monitoramento e análise de crise dos princípios da gestão de riscos, estrutura e processo.

FONTE: Adaptado de NBR ISO 31000/2009 (2009).

Com isso, os princípios é o conjunto de: criar valor; integração de partes dos processos organizacionais; participação na tomada de decisões; a abordagem explícita sobre a incerteza; sistematização estruturada e oportuna baseada nas melhores informações disponíveis; concepção imaginada sob medida considerando fatores humanos, culturais, transparente e inclusiva, dinâmica interativa e capaz de reagir a mudanças facilitando assim a melhoria constante da organização.

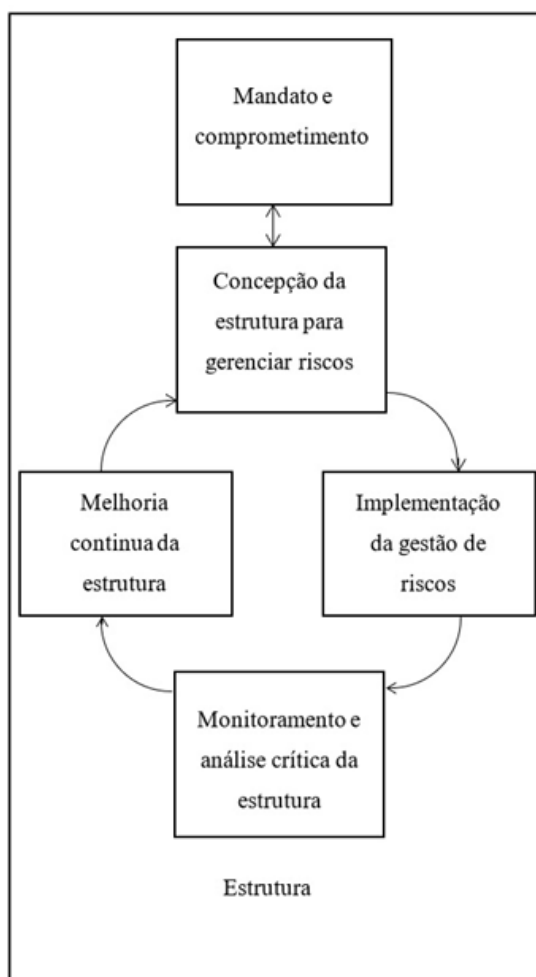


FIGURA 02: Relacionamentos entre os princípios da gestão de riscos, estrutura e processo.
FONTE: Adaptado de ABNT, NBR ISO 31000/2009 (2009).

A pertinência ou possibilidade de perigo analisada na gestão de risco deve ser comparada a pertinência ou possibilidade com a probabilidade (Figura 03). O perigo quase sempre é diferente do risco. Todo perigo emana uma avaliação maior ou menor de risco de acordo com a vulnerabilidade do processo versus seu valor econômico ou mesmo de vidas em jogo. A norma alerta, então para o perigo oriundo da possibilidade *versus* susceptibilidade associado ao outro perigo de origem da vulnerabilidade referente ao valor econômico totalizando um risco grande (ABNT, NBR ISO 31000/2009). Logo, o risco é a convergência de perigos.

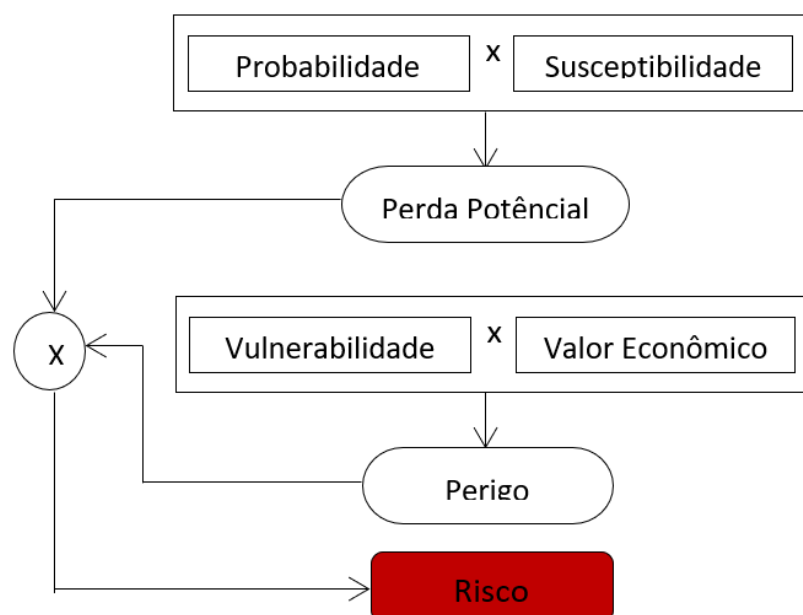


FIGURA 03: Quadro de situações ao risco.
FONTE: Adaptado de Teodoro e Duarte (2013).

Um índice que orienta o perigo de incêndio representa a possibilidade de definir o módulo de intensidade do fogo acontecer e se propagar na presença de uma fonte de ignição. Normalmente, chega-se a um valor numérico único que deverá ser confrontado com a ocorrência em campo, utilizando diariamente dados observados e ou medidos (CARAPIÁ, 2006).

Os fatores constantes de risco estão muito ligados ao princípio e propagação de incêndio, situação influenciada sobremaneira pelo grau de umidade do material morto fino que proporciona a eclosão e o material morto médio para a propagação e manutenção do incêndio.

Machado et al. (2014), em estudo para o município de Cuiabá, associa os fatores de riscos climáticos a atividade humana, tais como limpeza de pastos, limpeza de terrenos, ações de pescadores, ações de vandalismo especialmente durante os últimos meses da estação seca (agosto e setembro), época em que o efeito da evaporação resseca o combustível, vegetal que para o município estudado configura de material fino e médio em grande quantidade.

Fato a considerar sobre qualquer estudo para índice de risco de incêndio, é a ocorrência do incêndio antrópico, normalmente na estação seca ocasião em que o foco

produtivo agropecuário é máximo em incêndios autorizados ou não, destinados a limpeza sanitária e outros objetivos, que normalmente fogem ao controle, por excesso de combustível fino e seco, ventos. Os incêndios naturais são muito difíceis de ocorrerem devido à sua causa fundamental está baseada na função ígnea de descargas atmosféricas que preferencialmente acontecem na estação chuvosa, e neste caso, mesmo eclodindo fogo, não prospera devido a precipitação que se segue àquelas descargas atmosféricas (GOULART et al., 2011).

A associação de fatores de riscos constantes e variáveis aos decorrentes da ação humana conferem a ocorrência aos costumes tecnológicos de uso do solo para fins agrícolas pela grande maioria da população, caracterizando assim a maioria dos incêndios como oriundos dessas atividades no campo e nas áreas abertas das cidades (SILVA et al., 2018).

Através do desenvolvimento de índices dependendo dos pesquisadores em diversas regiões do mundo, são estipuladas variáveis em função de dados específicos de cada região e a critério de fundamentos teóricos adotados pelos pesquisadores.

Para formular um índice, de risco de incêndio é necessário que sejam levantados em conta os elementos naturais e não naturais que contribuam para o aparecimento do fogo, seja ele natural ou provocado. Esses elementos constituem os fatores de incêndio, que podem ser permanentes na natureza, aqui denominados constantes, e fatores temporários aqui denominados fatores variáveis.

Os fatores constantes são definidos pela característica do material combustível, topografia, pela estrutura de controle de incêndios e recursos aplicados nessa atividade. Os fatores variáveis são constituídos pela umidade do material combustível, umidade do ar, temperatura, temperatura do ponto de orvalho, precipitação, ventos, radiação solar etc. A natureza de utilização do solo, costumes agrícolas, áreas fronteiriças urbanas / rural, cultura e demografia.

A classificação dos índices de risco de incêndio é dividida em dois métodos em função dos dados de entrada (CARAPIÁ, 2006).

- O método estritamente meteorológico – que pode ser não acumulativo (dados do dia) e cumulativo.

- O método potencial, classificado como estruturais ou de longo prazo, dinâmicos ou de curto prazo, método integrado que consideram o estrutural e dinâmico em conjunto (CARAPIÁ, 2006).

2.1.2 Transpor os ditames da NBR ISSO 31000/2009 - Gestão de riscos: Princípios e diretrizes

Os incêndios florestais são afetados por complexas interações que envolvem a vegetação, clima, topografia e atividades antrópicas no decorrer do tempo (TORRES et al., 2017). Essa complexidade das interações de fatores envolvidos na ocorrência de incêndios, seja de escala espacial e temporal, vai influenciar no comportamento do fogo dificultando, conseqüentemente, a modelagem de incêndios (LINN et al., 2012).

Para Barlow et al. (2012) a previsão de incêndios pode ser dificultada pela dependência que existe entre fatores antrópicos e ambientais. Todavia, Borges et al. (2011) afirmam que para que haja tanto o planejamento quanto a designação de recursos ao combate de incêndios florestais é necessário o conhecimento do risco que a área oferece.

Nesse sentido, Fernandes et al. (2011), Bridgewater (1993), Coelho Netto et al. (2007) e Fernandes (2009) apontam como alternativa para a compreensão da estrutura, função e 41 dinâmica dos elementos da paisagem a utilização de ferramentas de geoprocessamento para definição da espacialização de fenômenos, tais como, os incêndios florestais.

Soares e Batista (2007) afirmam que a análise detalhada e criteriosa de cada variável associada ao risco de incêndio, permite o estabelecimento de níveis de risco, conforme a influência que cada variável exerce tanto na ignição quanto na propagação do fogo para cada local analisado. Tetto (2012) destaca que a determinação de áreas de ocorrência de incêndios mais frequentes, tendo como produto a geração de mapas de risco, possibilita a visualização das áreas de maior risco e, ao mesmo tempo, auxilia na escolha de medidas de prevenção para essas áreas. Corroborando, para Torres (2017) a análise espacial de ocorrências pode auxiliar no fornecimento de informações orientando esforços para o planejamento e diminuição dos riscos.

Além disso, a utilização de técnicas de geoprocessamento, tais como o Sistema de Informações Geográficas (SIG) contribui para o zoneamento de risco. Segundo Oliveira (2002), o zoneamento de risco trabalha com o agrupamento de mapas de risco gerados, por meio de métodos que permitem associar os fatores ambientais com incêndios, possibilitando mapear o risco potencial de incêndios em função da correlação dos fatores analisados em relação ao fogo.

Segundo o documentário o estudo de Williams (2000), The USDA Forest Service, First century, o governo dos Estados Unidos foi a primeira nação a ter o entendimento de prevenir e combater incêndios florestais, através de diversas organizações federais estaduais e privados em conjunto com o Ministério da Agricultura daquele país. O grande incêndio de Idaho de 1905 acelerou o processo de desenvolver um sistema de proteção as florestas, United States Forest Service – USFS, no ano de 1910. Na oportunidade, foi criado o Serviços Florestais ligado ao Ministério da Agricultura daquele país. Em 1940 e 1954 floresceu nos Estados Unidos grande quantidade de índices de riscos de incêndio nos diversos estados e municípios de forma que em 1958 foi criado um sistema nacional de índices de riscos para o país pelo Comitê de pesquisa de Serviços florestal (WILLIAMS, 2007).

Em 1968, foi criado o *National Fire Danger Rating System* (NFDRS). Em 1970, foi testada a NFRDS nos estados do Arizona, Novo México e Geórgia. Em 1972, como resultado, foi lançada então a primeira versão do NFDRS. Em 1975 deu início a versão automática do sistema através do *Administrative and Forest Fire Information Retrieval and Management System* (AFFIRMS). Ao sistema foram introduzidas inúmeras melhorias em resposta aos usuários sendo lançado a partir de 1978 em diante através de contribuições diversas em especial do sudeste do país em 1988, em que o sistema AFFIRMS foi substituído pelo *Weather Information Management System* (WIMS), sistema sendo utilizado até os dias de hoje nos EUA após frequentes ajustes (ROUSE et al., 1974).

Foi ainda desenvolvido em épocas mais recentes nos Estados Unidos, a utilização do Índices de Vegetação de Diferença Normalizado (NDVI), através do Sistema de Informação Geográfica (SIG), que incorpora dados de satélite em rede de informações possibilitando ao que é chamado de Potencial de Incêndio (*Fire Potential*

Index – FPI). O uso do NDVI tem sido utilizado para o Monitoramento das plantações e cultura; a detecção de secas e de pragas, a estimativas de produtividade, mapeamento agrícola e mapeamento hídrico. A energia consumida pela vegetação deixa assinatura através dos espectros. Exatamente pelos espectros deixados pela vegetação é que o conceito de NDVI se traduz em forma de índice (ROUSE et al., 1974).

O NDVI pode ser utilizado para auxílio de dimensionamento do potencial de incêndio avaliando a massa vegetal existente em uma região, consistindo assim na determinação do risco de incêndio em combinação com outros fatores de risco.

Este método possui maior resolução espacial que o NFDRS (1 km em oposição a 10 km), foi em vários países como Espanha, Chile, México e França, obtendo-se bons, podendo ser utilizados em âmbito nacional ou local (CARAPIÁ, 2006).

No Canadá no ano de 1960, teve o desenvolvimento do *Canadian Forest Fire Danger System* (CFFDRS) apesar dos estudos sobre índices de risco de incêndio existissem desde 1929 em Ontário, atividade esta que permitiu chegar ao sistema atual em vigor, constituído por quatro módulos, abaixo descritos.

- 1) Sistema Canadense de índice climático de incêndio Florestal – *FWI*;
- 2) Sistema Canadense de Predição do Comportamento de Incêndios Florestais (*FBP*);
- 3) Sistema Canadense de Previsão de Ocorrência de Incêndios Florestais (*FOP*);
- 4) Sistema de Umidade de combustível acessório.

Esse modo Canadense de modelagem de risco, considera a combinação destas informações obtidas pelo índice climático de incêndio Florestal – *FWI* (Fire wheather Index); o sistema de predição do comportamento de incêndio florestal – *FBP* (Fire Burned Prediction); o sistema de previsão de ocorrência de incêndios florestais – *FOP* (Fire Ocurrency Prediction) e finalmente o Sistema de umidade do combustível acessório (NATURAL RESOURCES CANADA, 2020).

2.1.3 Índices de Perigo de Incêndio

O conhecimento dos riscos de incêndio florestais representa uma forma eficiente para o correto planejamento e destinação de recursos para o combate. Nesse sentido, a utilização de um índice confiável, além de importante para o planejamento,

é primordial para o mapeamento e estabelecimento de zonas de perigo, bem como para definição do número e localização de torres de advertência pública do grau de risco, o qual é considerado importante nos programas de educação ambiental (BORGES, 2011).

O índice de risco de incêndio ou perigo de incêndio representa uma tentativa de quantificar a probabilidade de ocorrência e propagação do fogo quando há uma fonte de ignição, tendo como base as condições atmosféricas de um dia ou de uma série temporal. Vale lembrar que o índice é representado por um único número e deve ser avaliado diariamente utilizando-se dados observados ou medidos (SOARES e BATISTA, 2007; TORRES e RIBEIRO, 2008).

A partir da década de 1930 foi iniciada a utilização de índices de perigo de incêndio florestais no Canadá (WRIGHT, 1933) e nos Estados Unidos (LOVERIDGE, 1935). Pereira et al. (2002) dividem os índices de incêndio em métodos cumulativos e não cumulativos e, estes, se baseiam somente nas condições do tempo vigentes no dia, como por exemplo o índice de Angstrom, que será mais bem detalhado nos próximos tópicos.

Os índices cumulativos levam em consideração conjunto de condições climáticas de sucessão de dias como, por exemplo, a Fórmula de Monte Alegre, a qual foi criada por Soares (1972) para a região de Telêmaco Borba, Paraná (ALVARES et al., 2014). Essa fórmula tem sido expandida para outras regiões do Brasil (SILVA et al., 2001; PEZZOPANE et al., 2001; RIBEIRO et al., 2011).

A fórmula de Monte Alegre se baseia na umidade relativa do ar, medida às 13:00 horas (SOARES, 1972). Após estudos realizados por Nunes et al. (2005), houveram alterações na fórmula considerando, além da umidade relativa do ar, a velocidade do vento medida às 13:00 horas.

Os índices de incêndio florestal, respondem em até 80% dos casos (CHENEY, 1968), servindo de respaldo para o planejamento eficiente no controle de incêndios florestais, através da análise das condições de risco, contribuindo para escolha de medidas preventivas, eficazes e econômicas.

2.1.4 O Fire Weather Index (*FWI*) e outros modelos que avaliam risco pela Umidade do material Combustível (*UMC*)

O *Fire Weather Index (FWI)* tem origem através do Serviço Florestal Canadense e é um modelo de perigo de ocorrência de incêndios elaborado em muitos experimentos de campo que perduraram entre 1928 e 1970, sendo o modelo mais testado no mundo, para se determinar o perigo de ocorrência de incêndios florestais de pinheiros naturais (WHITE, 2018).

O *FWI* é baseado no processamento progressivo de medições meteorológicas para a produção de três códigos de umidade de combustíveis mortos e três índices de comportamento de fogo, e não inclui nenhum modelo de umidade de combustíveis vivos (VAN WAGNER, 1974, 1987; MAFFEI & MENENTI, 2019). O papel da umidade dos combustíveis vivos é de fato crucial na previsão do comportamento do fogo, pois pode inibir ou promover a propagação do fogo (ROSSA et al., 2016; ROSSA e FERNANDES, 2017; USTIN et al., 2009). No entanto, seu valor não é adequadamente representado por modelos de perigo de incêndio, pois depende, além da variabilidade das condições meteorológicas, também da resposta da planta a ela, que é específica de cada espécie e de cada paisagem (RUFFAULT et al., 2018; MAFFEI & MENENTI, 2019).

A estimativa da Umidade do Material Combustível (*UMC*) tem diversos modelos matemáticos, no entanto, o método *FWI* é de longe o mais testado na prática (WHITE, 2018). O modelo considera diferentes condições, utilizando-se para tal 13 equações, conforme esquematizado abaixo (Equações de 1 a 13):

$$UMC = \frac{Po - Ps}{Po * 100} \quad (\text{Equação 01})$$

$$F = 101 - m \quad (\text{Equação 02})$$

$$K = 0,24 * \left[1 - \left(\frac{h}{100} \right)^{1,7} \right] + 0,088 * u^{0,5} * \left[1 - \left(\frac{h}{100} \right)^8 \right] \quad (\text{Equação 03})$$

$$E_d = 0,942 * H^{0,679} + 11 * e^{(h-100)/10} \quad (\text{Equação 04})$$

$$E_w = 0,597 * H^{0,768} + 14 * e^{(h-100)/8} \quad (\text{Equação 05})$$

$$\ln * (m - E_d) = \ln * (E_0 - E_d) - 2,303 * k \quad (\text{Equação 06})$$

$$\ln * (E_W - m) = \ln * (E_W - m_0) - 0,69 \quad (\text{Equação 07})$$

$$\Delta F = (T - 70) * (0,63 - 0,0065F_0) \quad (\text{Equação 08})$$

$$F = F_1 + \Delta F \quad (\text{Equação 09})$$

$$F_r = \left(\frac{F_0}{100}\right) * f(r_0) = 1 - C \quad (\text{Equação 10})$$

$$f(r_0) = -56 - 55,6 * \ln(r_0 + 0,04) \rightarrow 0,02 < r_0 < 0,055 \quad (\text{Equação 11})$$

$$f(r_0) = -1 - 18,2 * \ln(r_0 + 0,04) \rightarrow 0,055 < r_0 < 0,225 \quad (\text{Equação 12})$$

$$f(r_0) = 14 - 8,25 * \ln(r_0 + 0,075) \rightarrow r_0 > 0,225 \quad (\text{Equação 13})$$

$$C = 8,73 * e^{-0,1117 * F_0} \quad (\text{Equação 14})$$

$$M_{1h} = 0,003 + 0,2626 * H_{<10} - 0,001040 * T \quad (\text{Equação 15})$$

$$M_{1h} = 1,76 + 0,1601 * H_{<10 \text{ e } <50} - 0,001040 * T \quad (\text{Equação 16})$$

$$M_{1h} = 21,06 - 0,4944 * H_{>=50} + 0,005565 * H_2 - 0,0003 * H_{>=50} * T \quad (\text{Equação 17})$$

Onde as variáveis são apresentadas pelas abreviações abaixo:

- T – Temperatura ao meio-dia em °F
- H – Umidade ao meio-dia em percentual
- u – Velocidade do vento em mph
- ro - Chuva aberta ao meio-dia em polegadas
- re – Chuva efetiva total, DMC
- rd – Chuva efetiva DC

Código de Umidade de Combustível Fino (Fine Fuel Moisture Code - *FFMC*)

- m_0 - Teor de umidade do dia anterior
- m – Teor de umidade do ar após secagem
- Ed - Combustível fino EMC após secagem
- Ew – Combustível fino EMC úmido
- k – Constante equivalente ao logaritmo da taxa de secagem, *FFMC*, $\log_{10}$ m/dia

- $f(r_0)$ – Função de Chuva em FFMC
- C – Fator de correção da chuva efetiva em FFMC
- F_0 – FFMC do dia anterior
- F_r - FFMC após a chuva
- F_1 – FFMC antes do ajuste de temperatura
- ΔF – Ajuste de temperatura pelo FFMC
- F – FFMC atual de hoje

Código de Mistura úmida (Drought Moisture Code - *DMC*)

- M_0 - Conteúdo de umidade do dia anterior
- Mr – Conteúdo de umidade após a chuva
- M – Conteúdo de umidade
- k – Constante equivalente ao logaritmo da taxa de secagem, FFMC, $\log_{10}$ m/dia
- Le – Duração efetiva do dia em DMC em horas
- b - Variável de inclinação da chuva
- P_0 – DMC do dia anterior
- Pr – DMC após a chuva
- P – DMC

Código de Seca (Drought Code - *DC*)

- Q – Umidade equivalente DC, 0,01 polegada de água
- Q_0 – Umidade equivalente do dia anterior DC
- Qr - Umidade equivalente após a chuva
- V – Evapotranspiração 0,01 polegada de água por dia
- Lf - Ajuste da duração do dia em DMC
- D_0 – DC do dia anterior
- Dr - DC após a chuva
- D - DC

Índice de Incêndio do Tempo (Fire Weather Index - *FWI*)

- $f(u)$ – Função do vento

- $f(F)$ – Função do combustível fino
- $f(D)$ – Função do combustível úmido
- R – Índice de propagação inicial (ISI)
- U – Código de umidade ajustado (ADMC)
- B – FWI na forma intermediária
- S – FWI na forma final

O FWI é composto por seis índices sendo três primários, dois intermediários e um final que é a intensidade do fogo. O $FFMC$ (*Fine Fuel Moisture Code*) é calculado em função de dados climáticos medidos ao meio-dia da temperatura e umidade relativa do ar, velocidade do vento e precipitação pluviométrica (caso tenha chovido nas últimas 24 horas).

O modelo de Ray, Nepstad e Brando (2010) utilizou a serapilheira de quatro distintos pontos da Floresta Amazônica (Equações 14 e 15). Onde Log_e é o logaritmo na base Euler.

- LMC - Unidade do material combustível morto fino (%)
- LAI – Índice de área foliar da Floresta
- $VPDm$ – Déficit de pressão de vapor ambiente (KPa)
- $d - 1$ - O inverso do tempo decorrido deste a última precipitação (dias)
- UMC – Umidade do Material Combustível
- T – Temperatura em $^{\circ}C$
- u – Velocidade do vento m/s

Observar que este sistema Canadense é também utilizado pelo Serviço Florestal da Espanha, através de experimentos para correções ao ambiente local.

Apesar da existência de diversos índices de riscos de incêndio na Austrália, o método mais utilizado é o ábaco de McArthur (1967), para florestas e vegetação rasteira, baseado em uma sequência de tabelas circulares desenvolvidas empiricamente após 800 experimentos de incêndios (WHITE, 2018). Assim, o ábaco de MacArthur (1967) contempla a combustibilidade de Florestas e de vegetação rasteira através de índices específicos para cada natureza destas vegetações.

O índice de risco para incêndio florestal mais utilizado na Austrália é o índice de perigo de fogo, “*Fire Danger Index*” (*FDI*) que é o resultado da combinação de dois outros índices: o *Forest Fire Danger Index* (*FFDI*) e o *Grass Fire Danger Index* (*GFDI*).

O *FFDI*, foi criado por MacArthur (1967) nos anos 60 e é calibrado com valores de riscos de 0 a 100. A partir do valor 50 o risco é considerado extremo. A 13 de janeiro de 1939, houve um grande incêndio em estima-se que o valor deste índice tenha atingido 230.

O Quadro 01 apresenta os valores empíricos, resultados dos experimentos de MacArthur (1967), cuja interpretação do risco se dá através dos intervalos de risco conjugados do *FFDI* e *GFDI*. Esses valores também podem ser apresentados em forma de painel indicador de risco *FDI* (Figura 01).

QUADRO 01: Classes de risco para os subíndices do *FDI*.

Classes de Risco	Índices	
	<i>FFDI</i>	<i>GFDI</i>
Extremo	> 50	> 50
Elevado	24 – 49	20 – 49
Alto	12 – 23	8 – 19
Moderado	5 – 11	3 – 7
Baixo	0 – 4	0 – 2

FONTE: Do autor.

Pesquisas posteriores comparando o índice de MacARTHUR e o *Canadian Forest Fire Danger Rating System* (CFFDRS), resultaram grande similaridade posto que ambos são baseados em grande número de dados retirados de experimentos reais, pelos quais as tabelas de riscos são constituídas empiricamente na associação de dados meteorológicos e desenvolvimento do incêndio.

Na França, o método de determinação do índice de incêndio tem como base fundamental a capacidade de armazenamento de água pelo solo, na intensidade do vento, no ponto de orvalho, e na temperatura máxima. O princípio deste método reside no método de Thornthwaite e Mather (1955), no menor teor de umidade relativa do ar, na velocidade do vento em graus de Beaufort e no coeficiente da vegetação de 0,8 a 1.

Na Itália, o método preponderante é baseado nos valores diários da evapotranspiração potencial (*ETP*) e evapotranspiração real (*ETR*) (THORNTWAITH et al., 1955).

O método de Thorntwaith e Mather define o balanço hídrico de uma região, sem computar as medidas diretas da condição do solo. Assim, a capacidade de água disponível (*CAD*), o dimensionamento da chuva total e a evapotranspiração potencial, são os elementos de cálculo suficientes para caracterizar o balanço hídrico climatológico (*BHC*).

O balanço hídrico climatológico (*BHC*) é meio de acompanhar o volume de água no solo, configurando uma informação muito importante para o desenvolvimento da agricultura.

As informações decorrentes da avaliação definida pelo balanço hídrico climatológico contribuem para o dimensionamento do risco nesses países.

2.1.5 O Índice de Nesterov

Na Rússia, um dos índices mais utilizados é o de Nesterov (utilizado no Brasil pela plataforma INMET), método que é baseado nos efeitos diários do déficit de umidade, temperatura do ar, considerando os dias com precipitação inferior a 2,5 mm (SAMPALIO, 1999).

O índice de Nesterov, também chamado de índice de inflamabilidade ou ainda grau de perigo de incêndio, abrange informações que possibilitam vislumbrar a possibilidade de incêndios. Foi desenvolvido na Rússia e melhorado na Polônia, considerando as condições de temperatura, umidade do ar, vento e ponto de condensação; calcula a possibilidade de incêndio local. É um modelo cumulativo e a soma final é graduada conforme a quantidade de precipitação acontecida no período considerado.

O Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) utiliza um índice como indicador de perigo de incêndio, e para isso considera e informa em seu site os elementos registrados pelas estações meteorológicas automáticas (EMAs). Segundo Vollpado (2002) a sequência para o cálculo do índice de Nesterov deve ser:

- a) Temperatura do ar (*T_{ar}*) as 13:00h local, (16:00 UTC) em inteiros e décimos de graus Celsius (°C), obtida automaticamente nas estações automáticas.

- b) Temperatura do Ponto de Orvalho (T_d) as 13:00h local, (16:00 UTC) em inteiros e décimos de graus Celsius ($^{\circ}\text{C}$), obtida automaticamente nas estações automáticas.
- c) Precipitação total (mm) da observação de 12:00 UTC, em inteiros e décimos de milímetros.
- d) Umidade Relativa do ar (UR , %) as 13:00h local (16:00 UTC), obtida automaticamente nas estações automáticas.

Complementando os dados para os cálculos:

- e) Tensão máxima de vapor ou Pressão de saturação do vapor d'água atmosférico (e_s em hPa), obtida com a temperatura do ar as 13:00h local (16:00 UTC).
- f) Tensão real de vapor ou Pressão de vapor d'água (e_a em hPa), obtida com a temperatura do “Ponto de Orvalho” as 13:00h local (16:00 UTC).
- g) Déficit de saturação ou Pressão de saturação de vapor d'água no ar (DVP), que é a diferença entre a tensão máxima de vapor e a tensão real de vapor ($DVP = e_s - e_a$).
- h) Índice de inflamabilidade (G), obtido multiplicando-se o déficit de saturação pela temperatura do ar as 13:00 h local (16:00 UTC); ($G = d.Tar$)
- i) ΣG , representa o somatório de G que vai indicar um balanço contínuo que precisa ser mantido diariamente, obedecendo as regras em função das chuvas (RR) ocorridas.
- j) O Grau de perigo será indicado pelo Quadro 02 abaixo:

QUADRO 02: Grau de risco relacionado a somatória do Índice de inflamabilidade (G).

Somatório de G	Índice Y	Grau de Risco
300	01	Nenhum
301 a 500	02	Fraco
501 a 1000	03	Médio
1001 a 4000	04	Grande
4000	05	Perigosíssimo

FONTE: Do autor.

As regras com respeito as chuvas ocorridas:

- Inferior ou igual a 2,0 mm – Considerar como sem chuva e somar d.t do dia, ao valor já calculado de G .

- De 2,1 mm a 5,0 mm, abater 25% no índice G calculado e somar d.t do dia, ou $G=0,75$. G de ontem + d.t do dia.
- De 5,1 mm a 8,0 mm, abater 50% no cálculo anterior de G e somar d.t do dia, ou $G=0,50$. G de ontem + d.t do dia.
- De 8,1 mm a 10,0 mm, abandonar a soma anterior de G e recomeçar novo cálculo com d.t de hoje, ou $G = 0 + d.t$ do dia.
- Maior que 10,0 mm, interromper o cálculo e recomeçar amanhã segundo as regras acima, partindo de $G = 0$.

2.1.6 Índice de Angstrom e de Lourenço

Em Portugal é adotado o índice de Angstrom (IA) e o índice de Lourenço. O primeiro é um fator empírico seguido pela Suécia e utiliza a temperatura e a umidade relativa do ar às 13.00 horas, não é acumulativo (WHITE, 2018).

O índice de Angstrom trabalha com a temperatura máxima para o período das 12 horas mais quentes do dia, utilizando-se da fórmula:

$$IA = \frac{UR}{20} + (27 - T) 10 \quad (\text{Equação 18})$$

onde UR é a umidade relativa do ar e T é a máxima temperatura no período das 12 horas mais quentes do dia.

Os valores do IA no Quadro 3, esclarecem as classes de condições para ocorrência de incêndio.

QUADRO 03: Condições de ocorrência de incêndios segundo o Índice de Angstrom (IA).

Valores	Condições de ocorrência de incêndios
$I_A > 4$	Improvável
$2,5 < I_A \leq 4$	Desfavorável
$2 < I_A \leq 2,5$	Favorável
$1 < I_A \leq 2$	Provável
$I_A \leq 1$	Muito provável

FONTE: Do autor.

Quanto ao Índice de Lourenço desenvolvido Portugal (MAIA et al., 2001) alternativa ao índice de Nesterov, considera a temperatura do ar (Tar), a umidade relativa do ar (UR) e velocidade do vento (u) como fator de correção.

$$IR \ll = \frac{T}{UR} + u \quad (\text{Equação 19})$$

No entanto, por dificuldades em estabelecer o fator de correção do vento, a fórmula ficou reduzida a expressão:

$$IRDF = \frac{T}{UR} \quad (\text{Equação 20})$$

O Quadro 04 caracteriza a classe de risco de incêndio em função do valor obtido para o Índice de Lourenço verificado na ocasião desejada obedecendo os riscos azul, verde, amarelo laranja e vermelho.

QUADRO 04: Definições dos graus de riscos para o Índice de Lourenço.

Grau de risco	Intervalo de classe	Cor de identificação
Baixo	0,00-0,49	Azul
Moderado	0,50-0,99	Verde
Alto	1,00-1,49	Amarelo
Muito Alto	1,50-1,99	Laranja
Extremo	$\geq 2,00$	Vermelho

FONTE: Do autor.

2.2 AVALIAÇÃO DO RISCO DE INCÊNDIO NO BRASIL

Em 1972 ocorreu um grande e catastrófico incêndio florestal e em decorrência deste fato, utilizando dados de ocorrência de incêndios da empresa Klabin do Paraná, teve início pela primeira vez no Brasil o estudo para elaboração de método para índice de risco de incêndio formulado no Brasil observando dados a partir de 1965, mediante critérios padronizados de hora de ataque ao incêndio, tempo de duração do combate ao incêndio, classes de áreas de cicatriz de incêndio e outras considerações. No Brasil, a previsão de risco de incêndio era obtida inicialmente através dos índices de Angstron e de Nesterov, seguindo a tendência de nações como Portugal e Rússia, respectivamente (SOARES, 1972).

No entanto, no ano de 1972, após o severo incêndio ocorrido na Fazenda Monte Alegre, proporcionando mais de 100 vítimas fatais, e ainda a queima de uma área de 131.214,7 ha, no município de Telêmaco Borba no Paraná, catástrofe que chamou a atenção de pesquisadores para o risco de incêndio. A partir deste fato, estudos baseados em informações dos arquivos de dados de incêndios da empresa Klabin, foi desenvolvido o índice de Monte Alegre (SOARES, 1972).

O índice de Monte Alegre é bem simples considerando apenas a umidade do ar tomada às 13:00 hs do dia, e a precipitação. É considerado um índice cumulativo pelo fato de acumular a precipitação maior ou igual a 13 mm, no período em que se quer determinar o risco.

A partir do índice de Monte Alegre, analisando as variáveis meteorológicas de temperatura do ar, umidade relativa do ar, precipitação, déficit de saturação do ar, diferença entre a temperatura do ar, o ponto de orvalho considerando o número de dias sem precipitação igual ou maior que 130 mm, medidas de cinco dias antes de cada ocorrência de incêndio, foram avaliadas as correlações entre as variáveis meteorológicas e as áreas queimada e a quantidade de focos de incêndios comparadas as previsões da *FMA* (SOARES, 1972).

Estudos realizados na região de Canaã dos Carajás no Estado do Pará, comparando os índices de Nesterov, Índice de Angstron, Formula de Monte Alegre (*FMA*), Fórmula de Monte Alegre Alterada (*FMA+*) e o índice de Rodriguez e Moretti (*IRM*), para diferentes regiões locais tais como “geral”, “floresta”, “mineração”, “água” e “campo rupestre”. Os resultados demonstraram que para aquela região a Fórmula de Monte Alegre apresentou desempenho muito bom para os itens “geral e floresta” e resultados medianos em relação aos demais itens, em que o índice de Angstron teve o melhor desempenho entre todos (SOUZA, 2018).

Alves et al. (2011), utilizaram a Fórmula de Monte Alegre para verificar a possibilidade de incêndio do Parque Nacional do Catimbau unidade de conservação do Estado de Pernambuco utilizando dados climáticos para análise espacial de risco de incêndio florestal na região de sete estações do Instituto Brasileiro de Meio Ambiente – IBAMA, localizadas no Parque Nacional do Catimbau. O trabalho conjugado por meio dos índices da Fórmula de Monte Alegre e o Sistema de Informações Cartográficas (SIG), resultou em uma localização dos níveis de risco em um mapa de risco da região.

Mbanze et al (2017), em avaliação da Fórmula de Monte Alegre (*FMA*), para o município de Ponta Grossa, concluiu que a *FMA* apresentou regularidade na distribuição das classes semelhante a normal, muito propício para o índice. Usando os registros dos arquivos dos bombeiros em função das classes de perigo teve a tendência

de uma função crescente, indicação de que a fórmula se encontra ajustada para aquela região estudada, o que foi confirmado pelos valores do processamento pelo programa Skill Score e ainda pela porcentagem de sucesso obtido.

A detecção automática de focos de incêndio, auxiliam o esforço para calibração dos índices estudados em cada região. Não haveria como correlacionar com precisão os resultados de predição dos índices sem a constatação da quantidade de focos e sua área, cicatriz que mostra o caminhar do fogo. Qualquer que seja o índice estudado, a sua eficiência tem sido melhor estabelecida através das imagens obtidas por sensoriamento remoto, para nosso caso obtidas pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) (BATISTA, 2004).

2.2.1 Fórmula de Monte Alegre (FMA)

A Fórmula de Monte Alegre (*FMA*), tem esse nome devido ao seu desenvolvimento ter sido realizado na Fazenda Monte Alegre, no Município de Telêmaco Borba, Paraná nos anos de 1965 até 1971, elaborada através de dados obtidos em incêndios ali ocorridos, tornando-se uma referência para grande parte dos estudos como forma de estabelecer os riscos de incêndio (CEGATTA, 2018).

As variáveis consideradas para predição dos riscos de incêndio são a umidade relativa do ar, e os dias de inexistência de precipitação, como mostrado na Equação 21, onde *UR* é a umidade relativa do ar em (%) medida as 13:00 horas e *n* é o número de dias do intervalo relativo ao comportamento das precipitações.

$$FMA = \sum_{n-1}^n \frac{100}{UR} \quad (\text{Equação 21})$$

O sentido cumulativo da *FMA* é o intervalo de n-1 a n dias de chuva ocorrido no período analisado. O significado direto é o grau de umidade em que se encontra a massa vegetal na ocasião em que as condições de incêndio forem favoráveis, a *FMA*, define pelo número de precipitação a umidade do material combustível como um fator acelerador ou não para o desenvolvimento do incêndio. A coerência da presença da água no material combustível com o risco de incêndio é diretamente proporcional aos dias de chuvas e, portanto, tem a ver com a umidade do ar, do solo (CEGATTA, 2018).

Como a maior parte das regiões Brasileiras, a estação seca nos meses de maio a setembro representa a maior incidência de incêndios florestais devido em particular

ao baixo valor da umidade relativa do ar o que significa dizer que quanto maior a umidade relativa do ar, menor a possibilidade da ocorrência de incêndio.

Com a presença de chuva diária em (mm) é necessário a modificação no Cálculo. Assim para cada dimensão de chuva, tem-se uma correção conforme abaixo:

- $\leq 2,4 \text{ mm}$ – Nenhuma alteração;
- $2,5 \text{ a } 4,9 \text{ mm}$, Abater 30% na *FMA* calculada na véspera e somar $(100/UR)$ do dia;
- $5,0 \text{ a } 9,9 \text{ mm}$, Abater 60% na *FMA* calculada na véspera e somar $(100/UR)$ do dia;
- $10,0 \text{ a } 12,9 \text{ mm}$, Abater 80% na *FMA* calculada na véspera e somar $(100/UR)$ do dia;
- $> 12,9 \text{ mm}$, interromper o cálculo ($FMA = 0$), recomeçando a somatória no dia seguinte ou quando a chuva cessar.

2.2.2 Fórmula de Monte Alegre Alterada (*FMA+*)

A Fórmula de Monte Alegre Alterada (*FMA +*), tem a mesma consideração da versão original, sendo corrigida com a inclusão da variável meteorológica vento (u) (Equação 22).

$$FMA+ = \sum_{n=1}^n \frac{100}{UR} e^{0,04 \cdot u} \quad (\text{Equação 22})$$

Através do trabalho comparativo de Souza, Casavecchia & Stangerlin (2012), a classificação do grau de perigo de incêndios com base na variação de *FMA* e *FMA +*, para os municípios estudados, Campo Novo do Parecis, Cotriguaçu, Juara, Juína, Nova Maringá, Ubitatã, Novo Mundo, Sinop e Sorriso, no Estado de Mato Grosso, assumem os valores para o grau de risco e perigo de Incêndio:

QUADRO 05: Definições dos graus de riscos para o índice de Lourenço

Valores	Grau de Perigo
$\leq 1,0 \leq 3,0$	Nulo
1,1, a 3,0 3,1 a 8,0	Pequeno
3,1 a 8,0 8,1 a 14,0	Médio
8,1 a 20,0 14,1 a 24,0	Alto
$>20,0 > 24,0$	Muito alto

FONTE: Do autor.

2.2.3 Avaliação do risco de incêndio em Mato Grosso

O Estado de Mato Grosso, acompanha o mesmo tratamento dado pelas Instituições Federais para o cálculo de índice de risco de incêndio. Alguns estudos vinculados a

Universidade Federal de Mato Grosso, nos campis de Cuiabá e Alta Floresta, estabelecem eficácia do método de risco da Fórmula de Monte Alegre (*FMA*) para a Amazônia Mato-grossense.

Em estudos realizados por Soriano, Daniel e Santos (2015), resultados para a *FMA* e *FMA+*, teve resultados similares para o pantanal em Mato Grosso do Sul, onde as características meteorológicas analisadas à época apresentaram similaridade, associado a qualidade da vegetação rasteira, com alguns valores nulos, outros significativos da possibilidade de riscos de incêndio.

Neto et al. (1983), avaliaram a ocorrência de focos de calor no Parque Nacional de Chapada dos Guimarães e concluíram que 87,69% dos incêndios tiveram validação comprovada pela *FMA*, constituindo de 60 % enquadrados na classe de perigo “muito alto”, 27,69% na classe “alto”. Assim, ficou claro a eficiência da *FMA* para previsão de fogo no campo em Mato Grosso.

Philipp (2007), analisou a *FMA* em cinco municípios (Sorriso-MT, São José do Claro, Tangará da Serra e Matupá) de Mato Grosso para os anos de 2003 e 2004, comparando o risco de incêndio diariamente com as ocorrências de focos detectados a partir de imagens dos satélites NOAA/AVHRR, e concluiu que o desempenho da *FMA* foi bom para as classe de risco “alto” e “muito alto”, e o valor médio da frequência relativa foi de 90,55% com os resultados do teste de correlação ordinal de Kendal revelando correlação significativa em todos os municípios estudados (DE SOUZA et al., 2012).

2.2.4 Avaliação do risco de incêndio em Cuiabá

Para a cidade de Cuiabá, não existem estudos específicos que definam o risco de incêndio. Segue a linha geral da utilização da Fórmula de Monte Alegre, e ainda a utilização dos índices de riscos apresentados na plataforma do INMET ou INPE. Configura assim, a mesma metodologia nacional e do estado para previsão do risco de perigo de incêndio.

A utilização da velocidade do vento (*FMA+*) e da umidade relativa do ar medida 13:00h, com a quantidade mensal de focos de calor registradas nas duas regiões avaliadas e devem ser adotadas como referência para estabelecer planos de ação e mitigação (DE SOUZA et al., 2012).

A avaliação realizada por Neto et al., (2017), analisando dados de incêndio para os anos de 2007 a 2015, para o Parque Nacional de Chapada dos Guimarães (PNCG), onde parte da área deste, pertence ao município de Cuiabá, constatou bom desempenho na comparação entre a *FMA* e o levantamento de dados de focos de incêndio obtidos pelos satélites. Foram obtidas pelo satélite AQUA, 66 (29,6%) focos de calor para o mês de agosto e 148 (66,37%) para o mês de setembro; para o satélite TERRA, foram obtidos 37(15,55%) focos para o mês de agosto e 181(76,05%) para o mês de setembro; e as informações do satélite NOAA totalizara 53 (29,61%) para o mês de agosto e 125 focos (69,83%) para o mês de setembro. O conjunto das imagens destes satélites pode apurar eficiência na utilização da *FMA*, na medida em que na análise comparativa aos 3287 dados dos satélites, ficou classificado que a maioria deles pertenciam a classe de perigo “Alto” 27,69% e “Muito Alto” 60%, sendo, portanto, o nível do *FMA* muito eficiente.

Machado et al., (2014), estudo específico para a região de Cuiabá, utilizando os índices da Formula de Monte Alegre (*FMA*), e Formula de Monte Alegre Alterada (*FMA+*), a interpretação de imagens de satélites e dados do Centro Integrado de Operações de Segurança Pública (CIOSP) e Corpo de Bombeiros Militar (CBM), obteve como resultado que a *FMA*, e *FMA+* respondem com eficiência para o município de Cuiabá, na medida em que tiveram boa sensibilidade (86,44%) demonstrando forte correlação com as ocorrências de incêndio e focos de calor.

O índice de Nesterov utilizado pelo INPE, a *FMA*, são todos índices que utilizam dos dados meteorológicos. A manipulação antrópica do combustível, seja ela superficial ou das copas, uma vez que o subterrâneo é raro na região, representa uma condição de risco de incêndio, normalmente não considerada para composição dos índices. Segundo Onigemo (2006), é necessário a integração de diversos fatores para uma melhor abrangência desses índices. Desta forma, o estudo e criação de um novo índice para a cidade de Cuiabá, em especial levando em conta a integração de diversos fatores, refletirá em um trabalho inovador para o sistema de planejamento do risco de incêndio.

2.3 O SISTEMA FUZZY OU TEORIA DOS CONJUNTOS NEBULOSOS (TCN)

2.3.1 Lógica Fuzzy e Lógica Booleana

A lógica Fuzzy, também chamada por Teoria dos Conjuntos Nebulosos, surgiu para tratar de aspectos vagos da informação. É baseada em graus de pertinência ou graus de verdade no contexto de análise. Não confundir com grau de probabilidade e sim de possibilidade.

A lógica Fuzzy segundo Zadeh et al. (1996) é utilizado para representar modelos de entendimento incerto, que possuem papel na notável habilidade do homem na tomada de decisões racionais em ambientes das incertezas e imprecisões.

O conceito de Dubois (1980) afirma que a TCN permite trabalhar com uma estrutura convencional e quantitativa agregando as imprecisões do conhecimento humano na linguagem natural. Esta ideia é a principal motivação pois a teoria passa a ser um elo aos modelos matemáticos tradicionais e a representação mental dos sistemas que normalmente são permeados de imprecisão.

É comum, ouvir alguém dizer: “Quase, encheu a vasilha!”. Ou ainda: “quase esvaziou a vasilha!”. Essas afirmações apesar de indefinir volumes, tem um significado matemático. A indefinição faz parte de um conceito diferente, um conteúdo próximo, porém sem exatidão. O usual é tratar de valores inteiros ou fracionários no dia a dia, como aprende-se na matemática convencional, através de equações diferenciais e transformadas de Laplace (SHAW e SIMÕES, 1999).

Esse raciocínio é aplicado pelos sistemas denominados “inteligentes” – Teoria dos Conjuntos Difusos (TCD), ao contrário da lógica clássica em que os elementos de um conjunto, devem obrigatoriamente atender todos os critérios necessários para pertencerem a este. Na Teoria dos Conjuntos Difusos, o membro de um conjunto necessariamente não precisa estar nos pontos extremos da teoria clássica. Considera que qualquer valor assumido entre o intervalo de zero a um o coloca na possibilidade de pertinência (NETO et al., 2017).

Assim, quando deparamos com problemas a serem resolvidos sendo os dados incertos, os profissionais da área aproximam valores de acordo com o conhecimento

de situações anteriores que a experiência pode proporcionar. O caso confuso passa a ter uma solução ainda que prematura.

A lógica booleana é categórica na questão de valores, estabelecendo o código do “sim” ou “não”, cuja interpretação imediata é de “1” ou de “zero”. No entanto, entre o valor zero e um existem uma infinidade de valores que podem assumir a solução de problemas confusos.

É baseada em graus de pertinência ou graus de verdade no contexto de análise. Não confundir com grau de probabilidade e sim de possibilidade. Foi criada para estudar estes problemas cuja quantificação apresentam-se em dúvida. A própria palavra inglesa “Fuzzy” tem significação de confuso, vago, ou simplesmente vazio (de informação).

Pensar em Fuzzy é ter a ideia basilar de que as informações admitem graus, a estes denominados graus de pertinência na qualificação do fenômeno (variável linguística), em pautas tais como informações sobre temperatura, altura, velocidade, distância, cor, densidade.

Ross (2004), define o conceito da lógica difusa como um raciocínio com múltiplos valores capazes de capturar informações em geral descritas em linguagem natural e convertê-las para um formato numérico, de fácil manipulação pelos atuais computadores. Desta forma, torna-se uma lógica que suporta modos de raciocínios aproximados contra o raciocínio exato.

2.3.2 Raciocínio da lógica Fuzzy

2.3.2.1 Conceito

É uma lógica destinada a dimensionar variáveis incertas em um determinado sistema em estudo. Assim, essa lógica admite modos de raciocínios aproximados quando não é possível valores exatos (ZADEH, 1988).

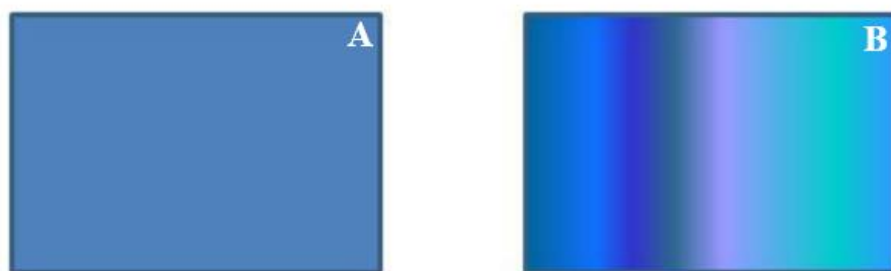


FIGURA 04: Percepção da Lógica Fuzzy. (A) Sistema Booleano e (B) Teoria dos Conjuntos Nebulosos.

FONTE: Do autor.

É também chamada de “sistemas inteligentes”, pelo fato de imitarem o modo de raciocínio do homem. A máquina fica dotada de um modo de pensar conforme o especialista humano definiria. A Figura 4A representa o pensamento da lógica clássica em que impera a homogeneidade dos valores em um limite determinado, enquanto a Figura 4B mostra infinitos valores no mesmo limite.

2.3.2.2 Objetivo

A lógica nebulosa ou Teoria dos conjuntos Nebulosos (TCN), tem como objetivo tornar um computador dotado de informações capazes de aproximar cada vez mais da prática conhecida do problema pelo ser humano, tornando a máquina capaz de adotar soluções dentro da prática conhecida por especialistas humanos. Considerando uma extensão da lógica clássica bivalente Zadeh (1965), estabeleceram o conceito da “possibilidade”, permitindo assim a avaliação paulatina dos membros de um conjunto conceituando tal possibilidade como pertinência no intervalo infinito entre o “0” e “1”.

Shaw e Simões (1999), definem a TCN como uma característica especial pelo fato de oferecer aos estudiosos uma abordagem nova para manusear informações imprecisas muito distante por exemplo da teoria das probabilidades. Esta lógica, trabalhando com incertezas e valores linguísticos de aproximação traduz valores determinísticos da prática Booleana em expressões verbais, vagas, qualitativas, comuns da linguagem permitindo aplicar a experiência humana para uma linguagem decodificável por computador. Ao final do processo, o resultado é dado em números da matemática convencional.

2.3.2.3 Princípio

O princípio pelo qual a lógica nebulosa tem como base é a substituição de valores numéricos por palavras. Corresponde a dizer que os valores são expressos por meio da linguística.

A máquina, então, trabalhará com informações do tipo “muito, máximo, médio, pouco; ou ainda muito leve, leve, medianamente leve, pesado e muito pesado; ou baixo, médio, alto, quente, frio e outros usados na definição do valor de uma variável ou mais variáveis”.

A lógica Fuzzy estabelece os conceitos, pelos quais se tornam possível modos de raciocínios aproximados, ao invés de exatos, termo usado por Ross (2004), utilizando “confinamentos” ou “cercas” heurísticas de forma a estabelecer contornos quantitativos sobre a incerteza. Logo, a linguagem heurística os termos exatos fundamentais da lógica Booleana são substituídos por adjetivos, substantivos ou advérbios, como muito, baixo, leve, mais ou menos, quase, ligeiramente, principalmente. A quantificação dessas expressões é grande tornando-se difícil listar todos eles (ROSS, 2004).

Ainda segundo Ross (2004), chamamos esses vocábulos modificadores de cobertura linguística, cujo significado do termo singular (chamado pelo autor de termo atômico), é modificado ou protegido a partir de sua interpretação original. O uso de conjuntos difusos como cálculo de interpretação a cobertura linguística tem o efeito de modificar a função de associação para um termo atômico básico (no campo Booleano).

As variáveis que compõem um sistema são também chamadas de vetores de pertinência do conjunto do problema. E a cada vetor de pertinência tem o seu valor de pertinência correspondente graduado entre os valores do intervalo de “0” e “1”, a base booleana de raciocínio.

A variável linguística consiste em palavras ou expressões que expressam “modificadores de predicado” como “usualmente, em torno de, vários” e outros” e quantificadores de predicado como “muito, mais ou menos, bastante etc.”

Shaw e Simões (1999), resumem os cuidados ao trabalhar com a teoria Fuzzy:

1. Reconhecer a bivalência como uma questão cultural;
2. Reconhecer a multivalência como um atributo do mundo real;
3. A relação entre a imprecisão devido à comunicação humana e a modelagem;
4. Entender o conceito de implicação lógica;
5. Definir qualitativamente a fuzzificação e a defuzzificação;
6. Entender os limites inerentes da precisão.

Por último, regras – São os limites capazes de identificar o vetor de pertinência no conteúdo estudado no Universo de discurso (ROSS, 2004).

2.3.2.4 Etapas do raciocínio Fuzzy

O raciocínio Fuzzy é composto por três etapas, sendo a fuzzificação, inferência e defuzzificação. A figura 5, ilustra o procedimento, pelo qual é demonstrada a sequência de Fuzzyficação, a inferência Fuzzy através das regras e por último a defuzzyficação.

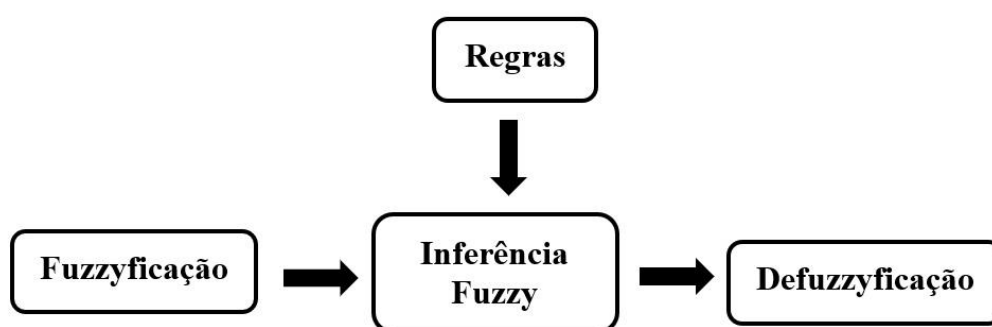


FIGURA 05: Sistema de inferência Fuzzy.

FONTE: Shaw e Simões (1999).

A fuzzificação é a etapa em que as variáveis linguísticas são definidas de forma subjetiva de acordo com o conhecimento do especialista (aplicação direta do método heurístico), da área em estudo estabelecendo também as funções de pertinência dessas variáveis. Para este procedimento, engloba a análise do problema, definição das variáveis, definição das funções de pertinência e a criação de regiões dentro do universo de discurso. Quando as funções de pertinência para as variáveis são geradas também diversos espaços através de gráficos correspondentes a cada variável.

A inferência são as regras definidas e posteriormente analisadas considerando as definições das proposições, análise das regras e criação da região resultante.

Por fim, a defuzzificação que é a etapa em que as regiões resultantes são transformadas em valores para a variável de saída do Sistema. As diversas técnicas de defuzzificação são o centroide, mais utilizado; o primeiro de máximo; a média do máximo e o critério máximo (SHAW e SIMÕES, 1999).

As respostas dadas por uma pessoa quando a esta foi perguntada quando ela voltaria ao seu lugar de origem, sendo a primeira resposta “devo retornar em breve” e a segunda “devo voltar em alguns minutos”; Segundo Zadeh (1996), as duas são indefinidas sendo a primeira por não se vincular a nenhuma unidade de tempo e a segunda por não quantificar a unidade declarada de minutos. Zadeh (1988), considera “geralmente uma proposta vaga é confusa, mas o inverso geralmente não é verdadeiro”.

A lógica clássica (binária) não mantém essas circunstâncias e, portanto, a lógica Fuzzy estabelece um método diferente de interpretação. Max Black em seu ensaio de 1937, cita que a lógica tradicional habitualmente assume símbolos precisos empregados na ciência, passando ele próprio a produzir as comparações sobre as teorias científicas úteis são ostensivamente expressas em termos de objetos nunca encontrados na prática. A linha traçada por um desenhista, não importa sua exatidão é vista sob microscópio como uma espécie de trincheira corrugada, longe de ser uma linha ideal da geometria pura; o “ponto planeta” da astronomia, o “gás perfeito” da termodinâmica; a “espécie pura” da genética são igualmente remotas da realização do sentido da palavra “exata”. Esse raciocínio demonstra que os objetos definidos pelos limites da lógica clássica jamais poderão ser encontrados e, portanto, trabalhamos apenas próximo a verdade das coisas.

Ao discutir a diferença entre possibilidade e probabilidade, ele afirma que a lógica da certeza nos fornece o leque de possibilidades (e o possível não tem gradações; probabilidade é uma noção adicional que se aplica dentro do intervalo de possibilidade, dando origem a gradações (“mais ou menos” prováveis) que são sem sentido na lógica da incerteza. O cálculo da probabilidade pode dizer muito pouco sobre a realidade, e referindo aos perigos implícitos nas tentativas de confundir incerteza com alta probabilidade destaca que temos que enfatizar esse ponto porque tal fato assume muitas nuances tornando perigosa a interpretação. Através desses

raciocínios é contundente entender que o grau de pertinência não é uma probabilidade e sim uma possibilidade.

2.3.3 Lógicas: Clássica e Difusa

A lógica clássica não aceita indefinição. É ou não é. As afirmações no contexto da lógica clássica restringem em “ser branco, é mulher, é bom”. Além disso, não existe resposta diferente de falso ou verdadeiro (SHAW & SIMÕES, 1999).

Os predicados não possuem definição clara ou exata, e, portanto, pelo raciocínio difuso, também não apresentam verdade definitiva na resposta. A expressão de totalmente “inteligente” corresponde ao valor booleano de (1), e nada inteligente corresponde ao valor de (0).

Importante perceber que infinitos valores estão contidos nesse intervalo de 0 a 1 e normalmente escolhe-se cinco: Muito inteligente, inteligente, medianamente inteligente, pouco inteligente, e muito pouco inteligente.

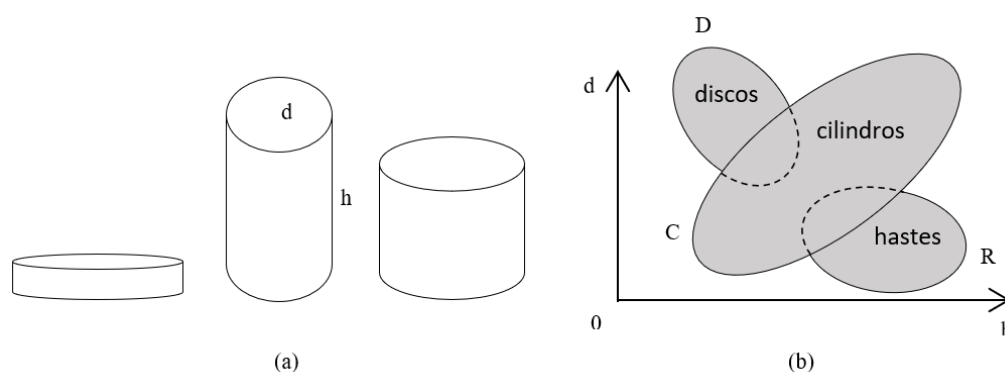


FIGURA 06:Relacionamento entre os termos matemáticos (a) e os termos linguísticos Fuzzy (b).

FONTE: Adaptado de Shaw e Simões (1999).

A Figura 6, mostra exatamente a grande vantagem da fuzzyficação dado a intersecção de conjuntos na teoria de conjuntos nebulosos, em que informações que pertencem a um conjunto, também existem em outro conjunto, caracterizando assim que os valores da lógica booleana devem ser considerados para dois ou mais módulos de pertinência no universo de discurso, para uma variável linguística.

Por sua vez, os valores numéricos correspondentes assumem o valor de 1 para muito inteligente, o valor de 0,7 para inteligente, 0,5 para medianamente inteligente,

0,3 para pouco inteligente e 0,1 para muito pouco inteligente. Evidenciando que os valores 0,7 para inteligente; 0,3 para pouco inteligente; e 0,1 para muito pouco inteligente; são definidos pela prática profissional do especialista no assunto.

2.3.4 Conjunto Fuzzy e seus conceitos (terminologia)

A terminologia do conjunto Fuzzy é definida com os termos: Universo de Discurso, Variável linguística, Vetor de pertinência e Grau de Pertinência (SHAW & SIMÕES, 1999).

Universo de Discurso, é o conjunto de variáveis incertas configuradas para resolução de um problema. Variável linguística, é a expressão de incerteza da variável considerada.

Já as variáveis que compõem um sistema são também chamadas de vetores de pertinência do conjunto do problema. E a cada vetor de pertinência tem o seu valor de pertinência correspondente graduado entre os valores do intervalo de “0” e “1”, a base booleana de raciocínio.

O grau de pertinência refere-se ao quantitativo de envolvimento na escala de 0 a 1 de cada vetor de pertinência; A avaliação do grau de pertinência é desprovida de norma ou alguma base científica, uma vez que este valor é escolhido experimentalmente pelo especialista do assunto.

Ainda tem as Regras, que são os limites capazes de identificar o vetor de pertinência no conteúdo estudado no Universo de discurso.

2.3.5 Modificadores linguísticos

Os modificadores linguísticos são utilizados na alteração de atributos com o objetivo de modelar advérbios. Os modificadores linguísticos são também modificadores Fuzzy.

Um modificador Fuzzy m sobre U é uma aplicação definida em $F(U)$ com valores $F(U)$. Assim:

$m: F(U) \rightarrow F(U)$ onde $F(U)$ é a classe de subconjuntos Fuzzy de U .

Os modificadores linguísticos podem ser:

- Expansivos. São aqueles que para todo $A \in F(U)$, sendo $A \subseteq m(A)$ quando $\varphi_a(x) \leq \varphi_{m(A)}(x)$;
- Restritivo. São aqueles que para todo $A \in F(U)$, sendo $A \supseteq m(A)$ quando $\varphi_a(x) \geq \varphi_{m(A)}(x)$.

Os modificadores mais utilizados são aqueles do tipo potência.

Neste caso $A \in F(U)$, tem-se $u_{m(A)}(x) := (u_A(x))^s$ para $s \in [0, \infty)$.

Assim, para que a função de pertinência triangular seja programada, são computados três parâmetros (a,b,c) como entrada da função de pertinência, claro que os três parâmetros são as componentes geométricas da função de pertinência (Figura 07). Caso admitirmos mais um parâmetro “d”, de forma a compor (a, b, c, d), modificamos a função para quatro entradas e esse novo componente “d” é a potência a que a função será elevada.

Adotando o valor de “d” = 0,5 a função de pertinência triangular sofre a modificação apresentada na Figura 07 (FERREIRA & JAFELICE, 2012).

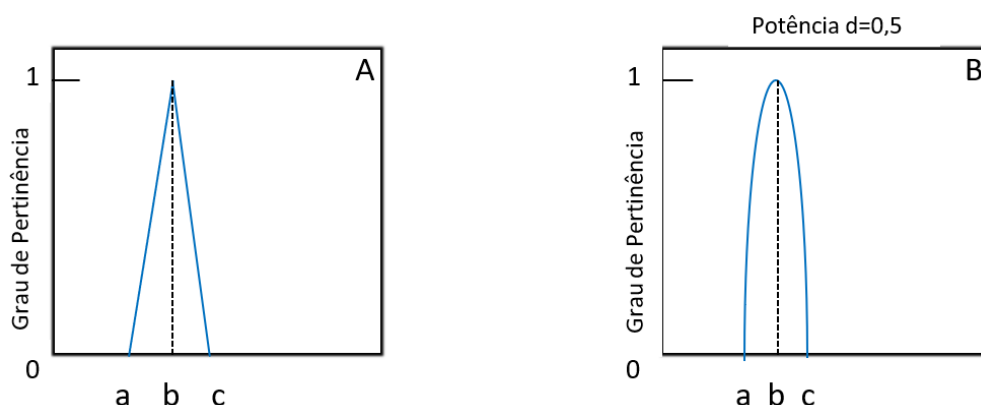


FIGURA 07: (A) Função de pertinência triangular com parâmetros [a b c]. (B) Função de pertinência triangular modificada pela potência $d = 0,5$.

FONTE: Ferreira e Jafelice (2012).

2.3.6 Expressões de funções de pertinência

As funções de pertencencia são: Triangular, Trapezoidal, Gaussiana e Sino Generalizada (O'HAGAN, 1993).

- Função Triangular $trimf(x; a, b, c) = \max\left(\min\left(\frac{x-a}{b-a}, \frac{c-x}{c-b}\right), 0\right)$
- Função Trapezoidal $trapmf(x; a, b, c, d) = \max\left(\min\left(\frac{x-a}{b-a}, 1, \frac{d-x}{d-c}\right), 0\right)$
- Função Gaussiana $gaussmf(x; a, b, c) = e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-c}{\sigma}\right)^2}$

- Função Sino Generalizada $gbellmf(x; a, b, c) = \frac{1}{1 + \left| \frac{x-c}{b} \right|^{2b}}$

Onde “x” é a variável em estudo, os valores “a”, “b”, “c” e “d” são as cotas de pertinência de “0” a “1”; “e” a base logarítmica, e “σ” é o valor definido pela fórmula gaussiana.

3. MATERIAL E METODOS

3.1 LOCAL DE ESTUDO

Este estudo foi desenvolvido no município de Cuiabá-Brasil, que está situado entre as coordenadas geográficas de 15°10', 15°50' de latitude sul e 50°50', 50°10' de longitude oeste, altitude de 165 m e está localizada na província geomorfológica depressão cuiabana, onde predominam relevos de baixas amplitudes, na região central do Brasil (Figura 08) (CUIABÁ, 2008; DE MOURA SANTOS, 2013). Possui uma área de 3.538,17 Km², correspondendo 254,57 Km² à macrozona urbana e 3.283,60 Km² à área rural (IBGE, 2017; 2019).

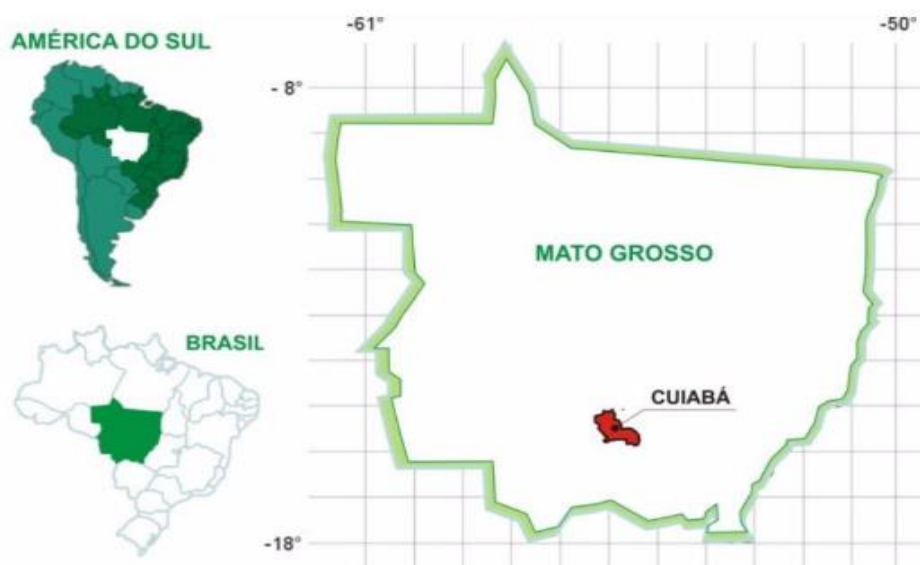


FIGURA 08: Localização da cidade de Cuiabá.

FONTE: Adaptado de Oliveira (2016).

Compõem o município de Cuiabá, além do distrito sede, os distritos Coxipó da Ponte, Coxipó do Ouro e Guia. (CUIABÁ, 2009). Fundada em 8 de abril de 1719, foi elevada à condição de cidade em 17 de setembro de 1818, completando seu terceiro centenário a 8 de abril de 2019.

O clima da cidade é do tipo Aw de Koppen, classificado como tropical semi-úmido, com quatro a cinco meses secos (maio a setembro) e máximas diárias de temperatura que oscilam entre 30°C e 36°C, apresentando duas estações bem definidas, uma seca (outono-inverno) e uma chuvosa (primavera-verão) (ALVARES et al.,

2013). As temperaturas médias anuais oscilam entre 25 °C e 26 °C, enquanto as máximas, frequentemente, ultrapassam 35 °C durante quase todo o ano. A temperatura média anual máxima em Cuiabá varia de 31°C a 34°C. Já a temperatura mínima média anual, varia entre 18 a 21°C. Enquanto que a umidade relativa do ar tem média anual de 70%, no inverno a umidade relativa do ar diminui, chegando a níveis de 12%, ocorrendo então a estação seca.

A média da precipitação acumulada anual é de 1500 mm/ano conforme Sampaio (2006) e (Vidal, 2012). A direção do vento predominante é N (norte) e NO (noroeste) durante grande parte do ano, e S (sul) no período do inverno. Cuiabá está situada em uma depressão geográfica o que faz com que a frequência e a velocidade média dos ventos sejam extremamente baixas, minimizando o efeito das trocas térmicas por convecção e ressaltando ainda mais a influência do espaço construído sobre a temperatura do ar (OLIVEIRA, 2011; DE MOURA SANTOS, 2013; ROCHA, 2018).

A cidade de Cuiabá, durante a estação seca, tem sua condição de conforto urbano amplamente prejudicado em função de queimas contínuas de vegetação, depósitos de lixo e outros eventos quase sempre provocados, lançando fumaça e principalmente formando ondas de calor, tornando a cidade ainda mais quente e desconfortável. Essa condição de desconforto foi estabelecida pela American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers em 1992 que definiram conforto térmico como: “Um estado de espírito que reflete satisfação com o ambiente térmico que envolve a pessoa” (ASHRAE, 2004, HANDBOOK, 2009).

3.2 FONTES DE INFORMAÇÕES

Foi obtido informação para o município de Cuiabá, através de dados gerados pelas imagens de satélites dos focos de incêndio registrados para os anos de 2013, 2014, 2015 e 2017; (2016 não aparecem dados registrados); observar que os dados de focos de calor fornecido pelo sensoriamento remoto para o centro urbano, foram

descartados pelo fato de interpretação errônea do satélite quanto a natureza da fonte de calor.

Em seu lugar, foram adotados os dados de incêndios em vegetação na área urbana registrados pelos boletins de ocorrências do 1 BBM para aqueles mesmos anos. Esses dados foram incorporados como variáveis ou universo que influenciam a ocorrência de incêndio, juntamente com os fatores meteorológicos, a gestão pública, a vizinhança, o relevo; informações estas, inerentes ao complexo comportamento cultural do município, gerador das fontes de calor e por consequência possibilitando os incêndios.

Foi utilizada a imagem do índice espectral NBR (Índice de Queimada Normalizada) para a detecção das cicatrizes de queimadas e avaliação da severidade do fogo correspondem as datas 17/08/2013, 20/08/2014, 23/08/2015 e 28/08/2016, órbita e ponto 226/71 derivadas das refletâncias corrigidas aos efeitos atmosféricos e foram obtidas por meio do *Science Center Platform Processing Architecture* (ESPA) (<http://espa.cr.usgs.gov/>) do serviço geológico US geological Survey (USGS). Esse índice é derivado da refletância radiométrica do sensor OLI do satélite Landsat 8 com resolução espacial de 30 m, produzido pelo algoritmo *Landsat Ecosystem Disturbance Adaptive Processing System* (LEDAPS), que foi originalmente desenvolvido pela NASA (MASEK et al., 2012). Foram analisados os dados que naturalmente ocorreram sempre na estação seca e para homogeneizar a questão de datas entre os quatro anos, considerou-se a contagem dos dias julianos.

A análise destes dados proporcionara a obtenção dos graus de pertinência, extraindo data e local onde aconteceu o foco de incêndio, apropriando dos dados meteorológicos do INMET para as datas apuradas e conectando aos dados obtidos pelas imagens do satélite calibrar o grau de pertinência de cada variável considerada.

3.2.1 Regras

Desenvolveu-se uma base de regras inicial a partir das variáveis de entrada supracitadas, correspondendo a cerca de 1'953'125 regras básicas. Para tal construir estas regras utilizou-se o seguinte princípio, para cada combinação entre variáveis linguísticas buscou-se nas escalas likert o valor máximo entre as entradas para a determinação da saída. Com esta premissa desenvolveu-se uma rotina gerar a base de dados.

3.2.2 Monte Carlo

As distribuições das variáveis de entrada, assim como as suas co ocorrências foram ajustadas para modelos de Gauss bivariado. Estes, a partir de 50'000 simulações, foram utilizados para estimar o valor esperado e intervalos de confiança para os índices de propensão a incêndio.

3.2.3 Rotinas computacionais

O desenvolvimento foi feito majoritariamente na linguagem R, possuindo um painel de demonstração em Shiny. Todos os códigos estão disponíveis em repositório público em <https://github.com/demusis/fuzzyIncendio>.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 VARIÁVEIS LINGUÍSTICAS PARA O UNIVERSO DE DISCURSO “INCÊNDIO” EM ÁREA ABERTA NO MUNICÍPIO DE CUIABÁ

Os mecanismos para avaliação de riscos de incêndio em área aberta, consistem em vários pontos de observação. No início deste trabalho abordamos o risco de um modo geral, sua norma de aplicação no mundo e no Brasil.

Uma das ferramentas utilizada é a imagem de satélites. Segundo Soares, Batista e Souza (2002), não se pode substituir as informações obtidas no local de ocorrências por imagens de satélites, destacando a “estimativa computadorizada” quanto ao comportamento do fogo tal como a detecção, intensidade, velocidade de propagação e dimensionamento da área queimada.

No entanto, somente as informações das ocorrências podem resultar em informações incompletas. Assim, as informações devem ser complementadas para a avaliação dos riscos e ainda para o objetivo deste trabalho ser alcançado, serão incorporadas todas as variáveis linguísticas que forem possíveis.

Para avaliação do risco de incêndio, são considerados os fatores meteorológicos, o relevo, a cultura da população, a distância de vizinhança, a gestão pública, entre os mais importantes.

A escolha das variáveis diretamente ligadas à elaboração de um modelo preditivo de incêndio, incorre à análise de todos os elementos que relacionem à formação e manutenção do fogo. Conforme Silva et al., (2018): “o sinergismo entre a mudança climática e a ação humana, tem proporcionado condições para ocorrência de incêndios na Amazônia”. Afirmções como esta estão presentes sob outras palavras em todos os trabalhos científicos que abordam o assunto para qualquer região do Brasil e claro, em outros países.

As grandes catástrofes mundiais, só acontecem onde falham os sistemas de gestão especialmente na atuação sobre atividades humanas, assentamentos de pessoas

no meio rural ou urbano (PRICE et al., 2014), combinadas a exemplo dos grandes incêndios na Califórnia, Espanha, Austrália e em Portugal. (PRICE, et al., 2014).

Os incêndios em vegetação, em áreas florestais, constituem estudos da engenharia florestal, que é ocorrência de fogo em florestas nativas ou plantadas tendo como causas naturais ou de origem humana (ALVARES et al., 2014). No entanto, os conceitos podem ser assimilados para incêndios em vegetação em conglomerados urbanos, desde que sejam ponderados os fatores inerentes ao ambiente modificado.

Cuiabá, a capital de Mato Grosso, é uma cidade quente, condição asseverada na estação seca pela ocorrência de incêndios na área urbana e rural do município. Estes incêndios têm origem em sua grande maioria pelo fogo posto (intencional), para limpeza de terrenos baldios, ou depósito de lixo e entulhos ilegais (MATO GROSSO, 2017), o mesmo raciocínio para os incêndios fora da área urbana, que são em sua maioria fogo intencional, também para limpeza do solo, mas com objetivo de produção agrícola ou pecuária.

No todo, a interface urbana-rural sofre muito com ações de fogo intencional, devido à distância da vizinhança ao combustível, usando ora para atividades agrícolas, ora para atividades urbanas, delinquências de jovens e adultos, displicência de pescadores ou acampamentos de lazer, sempre utilizando o fogo como ferramenta que em seguida foge ao controle dos autores, atingindo grandes áreas de vegetação. Collins et al. (2018), recomendam a supressão vegetal para o combate ao fogo avaliando as condições climáticas e recursos capazes para um tempo resposta eficiente, ideal para as áreas reincidentes ano a ano.

A história de incêndios em áreas abertas no Brasil com vítimas fatais, foi registrada no ano de 1963, no estado do Paraná, em que foram vitimadas quase cem pessoas (WASILEWSKI, 1965). A recorrência de fogo na área urbana e rural promove prejuízos diretos (na área incendiada) e indiretos (custos do aparelho do estado) para debelar e ainda quase sempre os efeitos causados não são reparados, deixando que o tempo faça a recuperação. Os incêndios provocam ainda o efeito de ilhas de calor à cidade, adicionado ao excesso de particulados em suspensão na atmosfera e em decantação, reduzindo a qualidade de vida no município.

O perigo de incêndio está vinculado a dois tipos determinantes de riscos de incêndio, O primeiro denominado constante, inerente a natureza do material combustível, relevo, tipo de floresta e o segundo, diz respeito às condições climáticas como a velocidade do vento, a umidade relativa, temperatura, ponto de orvalho precipitação, evaporação e instabilidades climáticas (NUNES, SOARES e BATISTA, 2006).

Araya-Muñoz et al. (2017), utilizaram recursos de satélite para avaliar através da lógica difusa os impactos da multiplicidade dos riscos urbanos da cidade de Concepción no Chile. Os riscos urbanos para a cidade de Cuiabá, ao contrário dos grandes incêndios de Portugal ou da Califórnia, não têm incluído vítimas fatais devido à natureza do combustível exposto. No entanto, os prejuízos materiais, ambientais são consideráveis adicionados ainda ao custeio do órgão público ao combate do incêndio.

O esforço para a redução da atividade de fogo e incendiária, passa por conhecer bem as condições climáticas dos meses normal de incêndio, conscientizar a população, dotar a cidade de um planejamento eficiente e por fim aparelhar bem as instituições de defesa civil para o combate regular ao incêndio.

O conjunto dessas medidas resulta na condição de gerar meios de aproximar a predição de fogo de forma mais objetiva, melhorando a atividade de governança.

A escolha das variáveis diretamente ligadas à elaboração de um modelo preditivo de incêndio, incorre à análise de todos os elementos que relacionem à formação e manutenção do fogo. Conforme Silva et al. (2018), o sinergismo entre a mudança climática e a ação humana, tem proporcionado condições para ocorrência de incêndios na Amazônia. Afirmações como esta estão presentes sob outras palavras em todos os trabalhos científicos que abordam o assunto para qualquer região do Brasil e claro, em outros países.

Para a queima controlada, o conceitua como fogo; aquele cujo controle sobre o mesmo foi perdido denomina incêndio. O controle do fogo em determinada região só acontecerá quando tenha um gestor, que age com prevenção e combate, estabelecendo normas para divulgar e educar a população e ainda dotado de estrutura

suficiente para combater a tempo de manter sobre controle a queima, o contrário, é conceituado como incêndio.

Uma trilogia aparentemente simples, no entanto, traz intrínseca e rebuscada lógica para o completo domínio e entendimento, tornando a prática de modelagem bastante difícil na medida em que influenciam para solidificar essa lógica os fatores do tempo, a cobertura vegetal, os fatores climáticos, a vizinhança, o relevo a gestão do fogo, como variáveis diretamente inseridas ao fenômeno (TURCO et al., 2017).

4.1.1 Primeira variável linguística: Cobertura vegetal em Cuiabá

O Cerrado brasileiro, o maior ecossistema de savana do mundo, é um bioma muito relevante devido à sua grande extensão geográfica, altos níveis de biodiversidade e influência nos ciclos biogeoquímicos globais (FRANCO et al., 2014). Com aproximadamente 2 milhões de km², ~ 24% do território brasileiro (SANO et al., 2007), o Cerrado é considerado um hotspot global para a conservação da biodiversidade (MYERS et al., 2000) e desempenha um papel fundamental na distribuição de água em todo o país, abrigando as cabeceiras e nascentes das principais bacias hidrográficas brasileiras (LIMA e SILVA, 2008).

Composto por uma grande heterogeneidade de fitofisionomias (RIBEIRO & WALTER, 2008), o bioma possui a flora mais rica entre as savanas do mundo, com alto nível de endemismo (KLINK e MACHADO, 2005). Por outro lado, e de acordo com o código florestal, cerca de 40% de sua vegetação nativa remanescente pode ser legalmente suprimida (STRASSBURG et al., 2017; SOARES-FILHO et al., 2014), enquanto apenas 8,2% da vegetação remanescente é protegida em unidades de conservação (FREITAS et al., 2018).

O Cerrado apresenta vegetação dependente do fogo que evoluiu na presença de queimadas naturais recorrentes, que mantêm sua biodiversidade (HOFFMANN, 2002; PIVELLO, 2017). Muitas espécies estão adaptadas a esse regime, necessitando de fogo para germinação e colonização de sementes (DANTAS et al., 2013; MIRANDA et al., 2009). Este bioma sofreu com a perda de habitats e serviços ecossistêmicos, com 43% (88 Mha) de sua vegetação natural convertida em pastagens e áreas de cultivo nas últimas décadas (STRASSBURG et al., 2017).

Com um processo de ocupação muito antigo (BARBOSA e SCHMITZ, 2008), cuja intensificação teve início na década de 70, o Cerrado também desempenha um papel importante na produção agrícola brasileira (LOPES e GUILHERME, 1994). A adoção de novos padrões tecnológicos (PEREIRA e GAMA, 2010; YOSHII et al., 2000) permitiu a expansão agrícola em áreas do bioma aptas para a agricultura mecanizada e de grande escala, possibilidade antes condicionada aos solos mais férteis, localizados principalmente nas regiões sul e sudeste do país (ARAÚJO et al., 2019). Paralelamente, o desenvolvimento da infraestrutura urbana e rodoviária possibilitou a atividade pecuária em extensas áreas de pastagem, localizadas em regiões anteriormente isoladas (FERREIRA et al., 2013 ; GARRET et al., 2013 , PARENTE et al., 2019). Dada a importância estratégica deste bioma para o desenvolvimento nacional e a prestação de serviços ambientais (ex: regulação do clima, sequestro de carbono, manutenção do ciclo hidrológico), são necessários instrumentos que subsidiem a sua gestão territorial por instituições governamentais, privadas e civis.

A cidade de Cuiabá nasceu nesse ambiente também denominado como “berço das águas do Brasil”. De maneira geral as árvores do cerrado têm folhas muito densas e caem na estação seca ao se desidratar. Essa reação a falta de água, é um grave fator para incêndio ao disponibilizar na superfície do solo grande quantidade de combustível seco (DO BRASIL, 2006).

A cobertura vegetal é combustível verde adicionado de madeira, folhas, flores raízes e resíduos de animais também chamado de serapilheira, folheto ou liteira (do inglês litter). Silva et al. (2009), consideram a serapilheira em ambiente de transição floresta- cerrado, dividida em folhas, galhos, frutos e flores, na proporção de 70% em folhas, 12% em galhos, 12% em frutos e 6% em flores sendo o montante para a produção anual em 8992,2 kg/há o que corresponde a valores entre 212,9 e 1334,1 kg/há. A produção é mais evidente no período da seca sendo os meses de agosto e setembro o período de maior pico produtivo. Os autores deixam claro que nos meses de março e abril não ocorre queda de flores.

A produção de serapilheira para a região de cerrado tem menor expressão, conforme relata por Silva et al. (2009), sendo de 622 Kg por hectare para o período de

abril de 2002 a março de 2003, no entanto, para a vegetação do tipo Cerradão o montante foi de 1046 Kg/ha para o mesmo período. Importante salientar que mesmo este volume menor de serapilheira é suficiente para proporcionar ignição e manter fogo ativo necessário para propagação do fogo em especial na fronteira urbana rural.

Por outro lado, Valentini et al. (2014), reportam as características da liteira do município de Cuiabá oriunda de área de revegetação de cerrado e para o Parque Okamura em 11,89 Mg/ha por ano para o período de 2009 a 2011; constataram também para o cerrado típico e parque Mãe Bonifácia valor igual a 6,90 Mg/há por ano período de observação de 2015 a 2016 (NOVAIS et al., 2018).

De uma forma geral são sólidos e quando submetidos a altas temperaturas produzem gases inflamáveis retroalimentando o ciclo de queima, mantendo assim o incêndio. A ignição de incêndio acontece mediante presença de combustível seco proporcionado pela presença dos vegetais finos e mortos enquanto a manutenção é resultado da presença de material mais robusto presente no conjunto vegetal vivo e folheto sobre o solo.

O combustível vegetal encontra-se sob diversas formas em função do tipo da vegetação podendo ser de diversos diâmetros para galhos e troncos, e de diversas espessuras para folhagens. Além disso, cascas soltas pelo terreno, ou mesmo sobre caules e galhos, podem ter características apropriadas a queima ou não.

Para o cerrado de Cuiabá, existe uma mistura entre folhas de gramíneas secas ou verdes, serapilheira ao solo, troncos que sustentam bem o fogo contribuindo para a manutenção e propagação deste

A umidade do material, a espécie da madeira, o tipo de anéis de crescimento tem forte correlação com o processo de decomposição e temperatura atingida no incêndio, que é consequência das complexas reações químicas no interior da madeira, ocorrendo simultaneamente reações exotérmicas e endotérmicas.

Essas reações acontecem durante o aquecimento, liberando muitos compostos orgânicos voláteis como álcoois, resinas e terpenos, produzindo assim a reação em cadeia do fogo (FIGUEROA et al., 2009).

Naturalmente as regiões do limite urbano - rural a vegetação nativa já fora desfeita, restando vegetais sobreviventes da supressão ou que se tornaram espécies invasoras, de qualquer forma, a cobertura vegetal existente, seja ela qual for, configura potencial grande para incêndio, considerando o poder calorífico de biomassa acumulada na estação seca (FIGUEROA et al., 2009), o agravante é a proximidade ao centro urbano, quando não acontece no próprio centro urbano em terrenos baldios ou depósitos de lixo (MATO GROSSO, 2017).

As árvores (arbustos) que compõem o cerrado são de pequeno porte, tem a característica de folhas cobertas de pelos, tronco e galhos tortuosos e cascas grossas (SOUZA et al., 2018).



FIGURA 09: Vestígio de queima em casca de árvore de cerrado.

FONTE: Do autor – (Perícias oficiais – POLITEC).

Conforme Carvalho (2007), os principais arbustos são o pequizeiro, *Caryocar Brasiliense Camb*, da família *Cariocaceae* é uma árvore típica do cerrado que apresenta grande aproveitamento comercial e algumas espécies pode atingir até 10 metros de Altura. O pequizeiro fornece pouco combustível, pela quantidade de queda de folhas e pela casca do tronco que não queima totalmente e sim apenas uma parte pequena da superfície.

Outra árvore é a lixeira de grande tortuosidade, de cascas espessas sobrepostas entre si e secas pode atingir até 10 metros de Altura, também chamada de sambaíba

(*Curatella Americana*), tem a particularidade de liberar grande quantidade de folhas formando serapilheira em sua base é da família *Dilleniaceae*.

O jatobá cujo nome vem do guarani que quer dizer “árvore do fruto duro”, (*Hymenaea stilbocarpa*), da família Leguminosae, pode atingir 9 metros de Altura é bem resistente ao fogo não representando um potencial como combustível; marmeleiro, também conhecida como apuruí, marmelo do cerrado pertence a família Rubiaceae, a mesma do café; pimenta de macaco *Xylopia aromatica*, da família Angiospermae-Annonaceae pode atingir de 4 a 6 metros de Altura, constitui excelente combustível quando seca, fornece boa quantidade de serapilheira em sua área de projeção horizontal e é utilizada pelo sertanejo como lenha (SEIDERMAN, 2005). Anjico, também chamado angico-do-cerrado (*Anadenanthera falcata*) é nativa dos cerrados em Mato Grosso, sendo de casca com relevos parecidos a espinhos, porém não pontiagudos muito útil para lenha cresce até 8 ou 9 metros; (SANGALLI et al., 2000). Barbatimão, *Stryphnodendron adstringens* da família *Fabaceae* dispensa boa quantidade de combustível em forma de serapilheira e cresce pouco em torno de 3m; Maroni et al – 2006; aroeira *Schinus terebinthifolius*, da família ipê; copaiba; pau-santo; pau-terra (*Qualea parviflora* Mart) família *Vochysiaceae* árvore de 6 a 10 m de altura, produz muitas folhas na estação seca (FRANÇA, 2010).



FIGURA 10: Serapilheira em área desmatada.
FONTE: Do autor – (Perícias oficiais – POLITEC).

Outras inúmeras espécies, porém, sem muita presença em nossos cerrados em especial na periferia da cidade de Cuiabá como a lobeira; gravatá; ingá; pata-de-vaca; mosquitinho, urucum e jabuticaba podem ser encontrados na região, tendo como tapetes a presença de gramíneas e outros vegetais menores.

A cobertura vegetal de pequeno porte, gramíneas e outras ervas aparecem em grande parte do cerrado constituindo um combustível na estação seca que funciona como estopim para desencadear o incêndio. Em especial em área urbana onde já houve desmatamento, esse tipo de vegetal abriga o risco de início de fogo, aliado a depósito de lixo cuja cultura da população ainda não foi devidamente instruída sobre o perigo de incêndio e condição sanitária urbana.

Tem sido comum na estação seca, uma grande quantidade de incêndios e segundo a superintendência da Defesa Civil do Estado de Mato Grosso, a origem do fogo é eminentemente provocada por “maldade”, por fogo fora de controle. A defesa Civil afirmou que todos os anos são feitas campanhas para conscientizar as pessoas sobre os riscos de queimadas na época de seca, mas o titular da Instituição reconhece que a população ainda não parece devidamente conscientizada (BATISTA, 2019). Quanto a saúde da população, as queimadas provocam desidratação, diarreia, e aceleram os problemas cardíacos e respiratórios afetando crianças menores de 2 anos e adultos acima de 60 anos. Informações à época das queimadas de 2019 emitidas por médicos do sistema de saúde pública relatam o índice de 110 para presença de particulados em Cuiabá na data de 10 de setembro de 2019 quando o limite máximo recomendado pela Organização Mundial de Saúde é de apenas 25 microgramas em um período de 24 horas (BATISTA, 2019).

O costume da população é de atear fogo em depósito de lixo (alguns denominados “ecopontos” pela prefeitura de Cuiabá, outros, simplesmente são resíduos sólidos abandonados pela população em qualquer lugar não sujeitos a fiscalização.

A população efetua ainda “limpeza de terreno” através do incendiarismo, não se responsabilizando pelas consequências destes atos. A Figura 17 abaixo mostra o

combate a incêndio em um destes “ecopontos” municipais, tendo como pano de fundo uma faixa vegetal em que se encontra sujeita ao fogo emanado do tal “ecoponto”.



FIGURA 11: Incêndio em “ecoponto” Municipal.
FONTE: Defesa Civil do Município de Cuiabá (2017).

Não é raro, fogo em resíduos sólidos deslocarem para terrenos com grande cobertura de gramíneas e outros combustíveis próprios de áreas urbanas abertas. As gramíneas são destacadas como o capim colônio (*Panicum maximum*) é um vegetal perene tem sua origem na África podendo alcançar até 3 metros de altura formando grandes touceiras tem presença principal na grande maioria das áreas no entorno de Cuiabá (BONGDAN, 1977).



FIGURA 12: Gramíneas verdes após ação de queima.
FONTE: Do autor – (Perícias oficiais – POLITEC).

Este vegetal, serve de pastagem. Atingindo a altura superior a 1 metro serve como escada ao fogo para atingir a copa de árvores elevando o nível de perigo do incêndio além de propiciar assim amplo desenvolvimento do incêndio no terreno entendendo que além do transporte horizontal natural de queima do combustível, possibilita pequenos fragmentos vegetais em brasa pelo transporte vertical de ar quente (termais) para a direção em que o vento estiver atuando.



FIGURA 13: Capim coloniãõ verde, após queima.
FONTE: Do autor – (Perícias oficiais – POLITEC).

O capim navalha ou capim-de-angola, *Hypolytrum pungens*, também chamado de tirica, da família das ciperáceas nativa da Guiana e Brasil tem as folhas com perímetro extremamente cortante, não serve de pastagem além de ter uma excelente capacidade como invasora chegando a causar danos ao homem do campo, como combustível para estudo de incêndio não representa muito por se manter o tempo todo verde uma vez que só se instala em lugares úmidos (ANDRADE, 2016).

Silva et al. (2016) qualificam o capim *brachiara* *Brachiara brizantha* cv Marandu; *Brachiara decumbens*, são espécies perenes e híbridas de grande Resistencia aos rigores da estação seca e também aos incêndios, fornecendo bom material seco e rasteiro para progresso do incêndio no terreno.

O capim carrapicho *Cenchrus echinatus* L. (CCHEC) da família *Graminae*, também chamado de Timbete, Capim-amoroso, Capim-roseta é uma planta daninha difícil de controlar e se transporta por aderência a pele de animais e tecidos de roupas

dos humanos, representa um bom percentual de combustível adequado a transmissão de calor, mas com baixo poder calorífico (PRADO et al., 2015).

O capim *brachiara* *Brachiara brizantha* cv *Marandu* e *Brachiara decumbens* são espécies perenes e híbridas de grande Resistencia aos rigores da estação seca e também aos incêndios, fornecendo bom material seco e rasteiro para progresso do incêndio no terreno (PRADO et al., 2015).

O capim Forquilha *Paspalum conjugatum*, *Paspalum bicrurum*, *Paspalum ciliatum africanum*, também conhecido por capim marreca, capim azedo, grama azeda, não possui grande conteúdo de combustível, no entanto onde ocorre uma colônia se torna um bom transporte de fonte de calor. A grama-forquilha, *Paspalum notatum* Flugé, é uma planta rasteira (bem rasteira) de caráter perene gera pouco biomassa para queima, mas serve bem ao transporte de calor especialmente em ocasião de ventos (TRINDADE et al., 2007).

A grama-tapete, *Axonopus affinis* Chase, vegetal rasteiro e perene biomassa também com pouco calor calorífico, mas poderoso no transporte de calor. Grama paulistinha, também conhecida como grama seda *Cynodon dactylon* vegetal rasteiro perene de biomassa mais acentuada que as gramíneas anteriores serve bem para manutenção e transporte de calor (OLIVEIRA et al., 2018).

Capim-rabo-de-burro, *Schizachyrium microstachyum* (Desv. Ex Ham), forma touceiras de forma perene, com biomassa de bom poder calorífico e cresce próximo de 1 a 1,5 metros, serve de pastagem mas excelente combustível na estação seca mantendo ramificações secas mesmo na estação úmida *Macega estaladeira* *Saccharum angustifolium* (nees) Trin. de vida perene é um capim que ocupa o espaço em forma de touceiras perenes serve de pastagem enquanto não consolidar suas fibras e após encontrar-se no estágio fibroso serve de abrigo para os bovinos; erva orelha de rato *Dichondra sericea* Sw tem ciclo de vida perene é de crescimento rasteiro e prostrado, não oferece grande poder calorífico mas contribui com o transporte de calor (TRINDADE et al., 2007).

As espécies vegetais de maiores portes são encontradas nas áreas rurais ou fronteiriças com a área urbanas. As áreas abertas dentro do centro urbano normalmente

são cobertas pelas gramíneas e outras espécies menores, que são excelentes combustíveis e transportadores de calor, associados as serapilheiras encontradas na superfície pelas árvores de maior porte.

Segundo Oliveira (2005), a questão da densidade da cobertura vegetal influencia na ignição e velocidade de propagação do fogo. A abundância de matéria seca oferece material fino e morto entre galhadas e cascas mais grossas exatamente como uma fogueira ali predisposta. Esta condição, aliada a outras tais como altas temperaturas, vento, baixa umidade do ar, propício relevo e a uma eventual fonte de calor, fornecem as condições ideais para início e desenvolvimento do fogo.

Importante ressaltar em locais de incêndio visitados, a constatação que o primeiro incêndio passa queimando serapilheira depositada sob plantação verde, matando e secando-a. A seguir, em segunda onda de incêndio estará à disposição grande quantidade de combustível seco, que irá levantar um incêndio de maior proporção produzindo particulados e calor em maior quantidade.

4.1.2 Segunda variável linguística: O relevo de Cuiabá

A geomorfológica da cidade de Cuiabá conceituada como província da Baixada Cuiabana ou simplesmente depressão Cuiabana (CASTRO-JÚNIOR, et al., 2006) está locada no contexto de relevo da Várzea Grande, Chapada dos Guimarães, Nossa Senhora do Livramento e Santo Antônio do Leverger seguindo parte da bacia do rio Cuiabá e fazendo parte das regiões geomorfológicas do “Pantanal Mato-grossense, Depressão Cuiabana e Planalto dos Guimarães”.

Enquanto parte do território Cuiabano limitante com o município de Chapada dos Guimarães, tem formações de planaltos com elevações na forma de Chapadas, Colinas Amplas e Patamar, e o Planalto Dissecado com superfícies com média a forte dissecação, amplitude média e declividade de média a alta, com a presença de vales fechados e córregos encachoeirados. No entanto, a Depressão Cuiabana, apresenta como unidades morfológicas a Depressão Pediplanada, constituída por sedimentos em forma de rampas com a presença de raros inselbergs (o termo utilizado para caracterizar relevos residuais em uma planície tais como cristas, cúpulas e domos), e a planície de inundação do Rio Cuiabá, que é uma superfície plana sujeita a inundações esporádicas (CASTRO-JÚNIOR, et al., 2006).

A depressão cuiabana é caracterizada por um conjunto de superfícies aplainadas modeladas na Faixa Neoproterozóica do Alto Paraguai classificadas por Dantas (2006).

As características geoambientais existentes no município são:

1 – Unidade Geoambiental Superfícies Aplainadas Inumadas;

Relevo em extensa superfície recobertas por rampas coluviais. Composto por terrenos planos e suavemente inclinados. O gradiente predominante menor que 1% e amplitude local menor que 100 m.

2 – Unidade Geoambiental Superfícies Aplainadas Dissecadas em Colinas e Morrotes;

Apresenta relevo dissecado em Colinas médias de baixa amplitude de relevo com ocorrência de morrotes alinhados em nítido condicionamento estrutural. Sugere ao gradiente predominante maior que 15% e amplitude local menor de 100 m.

3 - Unidade Geoambiental Superfícies Aplainadas com Escoamento Impedido;

Tem posição de interflúvio com relevo tabular com nítidas depressões fechadas, e, portanto, considerado terreno plano com gradiente predominante menor que 1 % e amplitude local menor que 100 m.

4 - Unidade Geoambiental Colinas, Morrotes e Morros Alinhados com Cristas;

Superfície com presença de Colinas e morrotes alinhados e baixas cristas submetidas a um forte controle estrutural SW-NE. Sugere ao gradiente predominante maior que 15% e amplitude local menor que 100 m;

5 - Unidade Geoambiental Inselbergs;

Limitado por duas ocorrências a primeira, o morro de Santo Antônio (MSA), a segunda pela serra do jacaré, próximo a cidade de Santo Antônio, com destaque a imagem do MSA, mas de superfície plana podendo considerar de gradiente predominante menor que 1% e amplitude local menor que 100 m;

6 - Unidade Geoambiental Planícies Aluviais sobre Depressão Cuiabana;

Formadas planícies aluviais do Rio Cuiabá em seu curso médio, Pari, Coxipó, Aricá-Açu. Caracterizada por inundações periódicas. Trata-se de área plana, gradiente predominante menor que 1% e amplitude local menor que 100 m.

- <5% Terreno plano - Pertinência de risco muito baixo (MB)
- 5 a 10% Terreno em rampa e ou Colina – Pertinência de risco baixa (B)
- 10 a 15% Terreno em forma de Morrote – Pertinência de risco media(M)
- 15 a 45%Terreno Morro com encosta suave – Pertinência de risco alta (A) amplitude de 100 a 300
- >45% Terreno em Morro com encosta forte ou Montanha – Pertinência de risco alta (A) amplitude acima de 300m.

A graduação do grau de pertinência pode ser para composição do gráfico de pertinência o “gradiente predominante” da Tabela 01 sendo:

TABELA 01: Classificação das formas de relevo

Amplitude local	Gradiente predominante	Formas de relevo
<100	<1%	Plano
	1 a 5%	Rampa
	5 a 10%	Colina
	>15%	Morro
100 a 300	5 a 15%	Morro com encosta suave
	>15%	Morro
>300	15%	Montanha

FONTE: Adaptado de Castro-Júnior et al. (2006).

4.1.3 Terceira variável linguística: A Vizinhança

O conceito de vizinhança, é a atividade antrópica, próxima ao combustível natural distribuído no terreno. Esta proximidade enseja a presença de fonte de calor quer voluntária ou involuntária dado a presença do homem, mais próximo ou mais distante da base combustível.

Analisar a vizinhança e sua cultura sobre a questão do fogo, remete ao melhor conhecimento da população. Torres et al. (2008) define como riscos sociais (da vizinhança) como sendo as diversas formas de manifestações sociais, tipo atividade econômica, guerras, atentados, vandalismos e outras manifestações socioeconômicas e culturais.

Segundo o IBGE, a população da cidade de Cuiabá pelo censo de 2010 era de 551.098 pessoas, com uma densidade demográfica de 157,66 hab/km². A estimativa da população para 2018, segundo o IBGE é de 607.153 pessoas o que eleva a densidade demográfica para 173,69 hab/km².

Quanto ao trabalho e rendimento em 2016, o salário médio era de 3.8 salários-mínimos sendo a proporção de pessoas ocupadas de 43,8% em relação a população total, ocupando a segunda posição entre os demais 141 municípios no estado e na quadragésima segunda posição entre os 5570 municípios do Brasil e posição de 110 para a relação do país.

Ao considerar os domicílios com rendimentos mensais de até meio salário-mínimo por pessoa, tinha 30,7% da população nessas condições o que colocava o município na posição de 134 entre os 141 municípios do estado e na posição de 4549 dentre as cidades do país. O município tem uma enorme concentração da população vivendo na sede municipal 221.109 pessoas; no meio rural 10.284 pessoas e o restante 319.705 pessoas distribuídas em distritos urbanizados (Figura 17).

É desta forma que os focos de incêndio são constatados, a partir das proximidades das sedes distritais, regiões da fronteira urbano rural da sede do município e dos distritos.

A variável vizinhança para estudos de risco de incêndio urbano é muito importante na medida em que os dados do censo IBGE 2010, apontam para 30,7% da população recebendo meio salário-mínimo, a grande maioria da população encontra na faixa de 25 a 39 anos, denotando um perfil de atividade profissional intensa que certamente estará influenciando em subempregos, atividades não convencionais, tipo invasão de terras, coleta e bota fora de lixo irregular. A supressão e queima de cobertura vegetal, dar fim em restos de árvores, madeira, papéis, móveis descartados entre outros resíduos sólidos urbanos ou não, foram constatados pelo autor durante a atividade de perícias em meio ambiente na cidade de Cuiabá.

Esse comportamento é recorrente na região do cinturão verde do município, (região leste) local destinado a “agricultura familiar”, como objetivo social para melhoria de renda das famílias. No entanto, segundo vistorias em perícias locais pelo

autor, pode ser constatada a atividade de reciclagem de materiais de construção civil, peças de desmonte de veículos com depósitos de ferro velho, e sendo mais raro a criação de alguns animais. A incidência de incêndio na periferia de Cuiabá reflete a atividade e cultura da população. A Figura 14 evidencia a faixa etária de 25 a 44 anos de idade como sendo a maior população de Cuiabá. O “cinturão verde” é povoado majoritariamente por essa faixa populacional (IBGE, 2010).

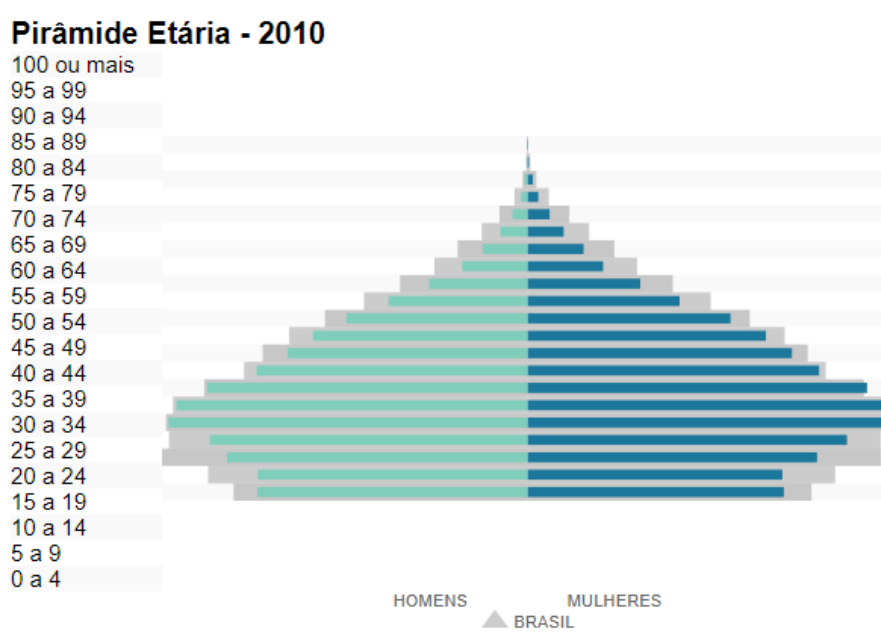


FIGURA 14: Pirâmide etária da cidade de Cuiabá.
FONTE: Adaptado de IBGE (2010).

Outra região também muito propícia a atividade na fronteira urbano rural é a região da ponte de ferro, onde é caracterizada por inúmeras chácaras, desta feita voltadas para o lazer e pequenas atividades agrícolas, cujos proprietários são aposentados que se recolhem em pequenas propriedades, sítios em busca de fuga do movimento urbano. Neste caso, a faixa de idade das pessoas são acima de 54 anos (constatação pessoal por perícias ambientais realizadas pelo autor).

A realidade da população economicamente ativa e ocupada por trabalho informal, configurada por mecânicos, comerciantes de resíduos urbanos, pequenos pecuaristas criadores de gado, porcos e algumas represas para criação de peixes configuram como atividades principais, associados a algumas pessoas que ali residem tendo outras atividades urbanas no horário comercial.

Tudo isso, é ainda prejudicado pelo nível de vias públicas urbanizadas da ordem de 34,3% cujo significado é que o restante da área urbana se encontrava à época do censo em meio similar rural com vias públicas iguais a estradas vicinais, que é uma condição ideal para o incendiário involuntário via toco de cigarro, limpeza de quintais e outras ações do gênero que necessariamente não seria o um fogo criminoso (Figura 15).



FIGURA 15: Imagem da influência de vizinhança como fonte de ignição de fogo em campo
FONTE: Do autor – (Perícias oficiais – POLITEC).

Essa população reside preferencialmente em âmbito urbano e fronteiro ao meio rural e evidentemente a proximidade ao combustível representa grande risco. Habitações, rodovias, ruas, empresas, estabelecimentos rurais, tem suas características próprias para estabelecimento de grau de pertinência (Figura 16).



FIGURA 16: Mostrando vizinhança que deu início ao fogo e sua direção de queima.
FONTE: Do autor – (Perícias oficiais – POLITEC).

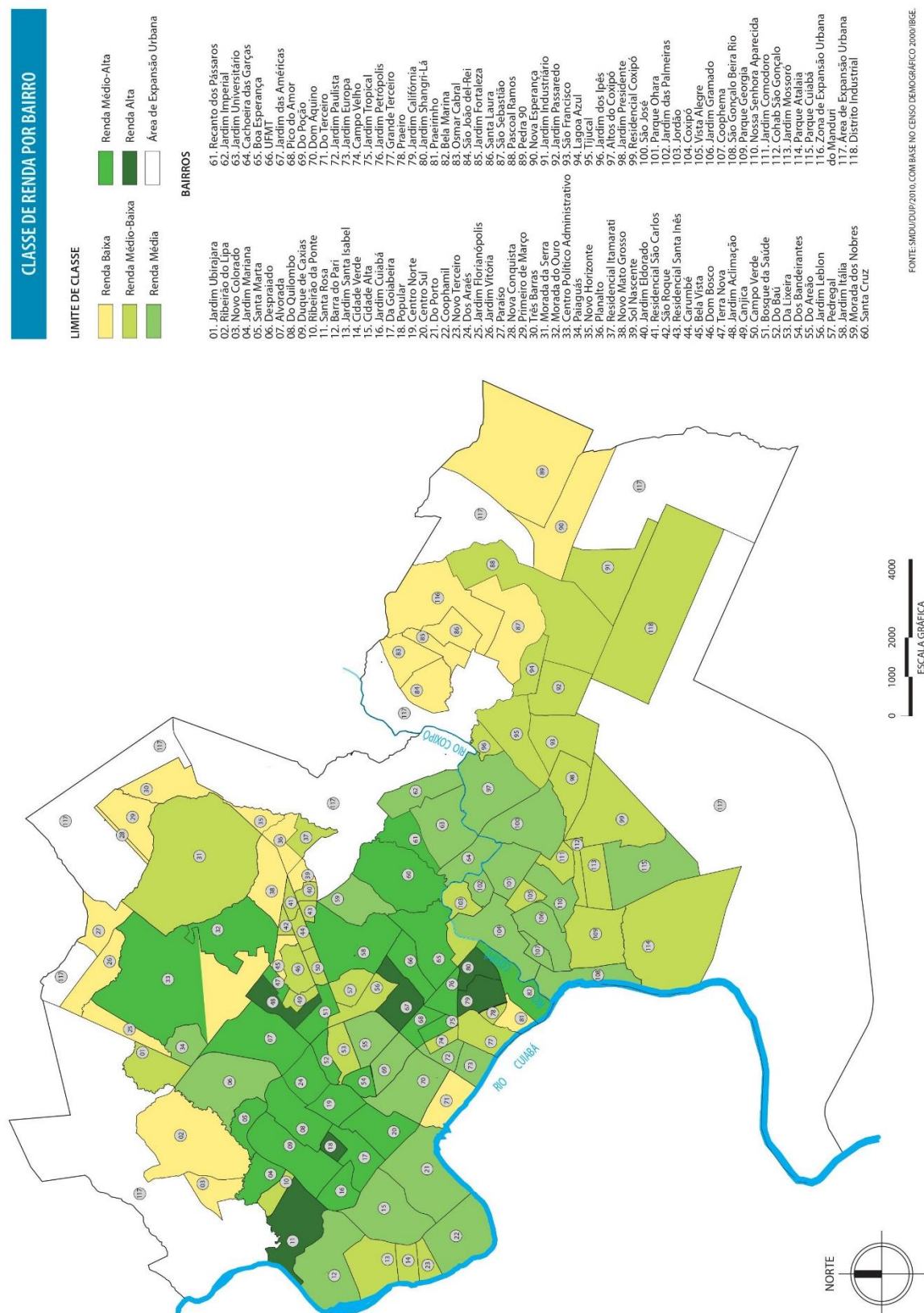
A ocupação urbana desenfreada que ocorreu no Brasil na virada do milênio, se deu por pessoas oriundas do meio rural, e por este motivo, trouxeram hábitos rurais para o meio urbano.

Estes hábitos rurais aplicados ao meio urbano inutilizam o aparato legal do plano diretor do município e, portanto, geram o imprevisível, deteriorando as cidades, conforme percepção nas vistorias periciais em meio ambiente realizadas enquanto perito oficial da POLITEC.

Garcia (2010), explica tal comportamento, como sendo ação das pessoas no meio urbano com a mesma atitude do modo em que operavam em meio rural, mantendo movimentação nômade entre a cidade e campo, estabelecendo então maior oportunidade para produção de focos de incêndio, tanto na periferia urbana, como no centro da cidade.

Segundo a mesma autora, a ineficácia ou a inexistência de políticas públicas em não prover de condições favoráveis fez com que surgissem as periferias carentes, e até mesmo dentro do centro urbano, consequência imediata da absorção extraordinária de imigrantes no início da década de 70 pela política “de integrar para não entregar” implementada pelo governo federal da época, situação em que as pessoas instalaram em áreas de preservação permanentes, terras públicas e até terras propriedade privada, tomando posse ou mesmo “grilando”.

Como consta no documento Perfil Socioeconômico de Cuiabá - Volume V, Capítulo 8 – Rendimentos, não só a fronteira urbana, mas também o centro urbano existe bolsões de pessoas com a categoria de renda “muito baixa” e “baixa”, que representam exatamente aquela faixa de pessoas advindas do meio rural com maior tendência de atear fogo como medida de limpeza, extinção de lixo e outros costumes com a utilização do fogo (Figura 17).



Vizinhança neste caso, refere-se aos aspectos socioculturais da população residente na cidade, em particular nas regiões de fronteira entre o urbano e rural onde os costumes de limpeza de terreno estão vinculados ao hábito de queima de cobertura vegetal e resíduos sólidos em geral (madeira, móveis, plásticos etc).

A motivação de incêndio, em particular aqueles oriundos da atividade humana, decorrem das teorias da escolha racional; do aprendizado social; da delinquência subcultura; da oportunidade fortuita; e finalmente da atividade de rotina (GRUBB & NOBLES, 2015).

A fonte de calor para ocorrência de incêndio, decorre essencialmente da ação humana, sendo para o meio urbano mais acentuado pela motivação de limpeza de quintais e eliminação de resíduos sólidos combustíveis, no meio rural a supressão de vegetal com fins de pequenas agriculturas, e para a região da Chapada dos Guimarães associado a camping e outras recreações. Já as margens do rio Cuiabá, os incêndios acontecem motivados por fogo fora de controle pela limpeza sanitária da agricultura e por pescadores e caçadores.

Sob o ponto de vista técnico, todas as teorias de risco de incêndio, em especial o *Fire Weather Index* (FWI), se preocupa muito na condição da massa fina e seca, que todos tem conhecimento como um fator importante para iniciar uma chama. Qualquer fogo a ser iniciado, precisa de material combustível fino e seco como gatilho. Por outro lado, a maioria dos operadores de Combate a Fogo em especial o Corpo de Bombeiros Militar considera “O fator 30” (trinta graus de temperatura, trinta por cento de umidade do ar e trinta km/h de vento).

Cuiabá, nos últimos 13 anos teve um acréscimo da área urbana em 30 km² (PMC, 2019). Este crescimento, proporcionado pelo aumento da população que se estabelece usando o solo quase sempre fora da lei do município. Sessenta por cento dos incêndios são originados nas margens das vias públicas, onde a prevenção não existe, não há manejo do fogo por parte das autoridades em particular nos meses de março a julho quando a umidade do ar ainda é alta, e os ventos são mais brandos. (SILVEIRA et al., 2013).

Os boletins de combate a incêndio do Corpo de Bombeiros não apresentam a causa da grande maioria das ocorrências, mas apresentam em algumas delas o motivo como limpeza de terreno, fogo em lixo. Os incêndios em margens de vias urbanas remetem ao modo corriqueiro da passagem de um fumante distraído, uso de fontes de calor como soldas, aquecimento solar de vidros em geral, e outras atividades que geram calor.

Essa mistura de displicência entre os órgãos públicos, e a irresponsabilidade da população, produz um assombroso risco de incêndio urbano. A população não tem consciência sobre o risco, suas atitudes são inconsequentes, e o governo enquanto gestor público só atende após o incêndio eclodido que por serem generalizados no tempo e espaço, não conseguem combater com eficiência.

Se por um lado, a estação seca traz consigo todos os elementos propícios ao risco, por outro, a população desavisada em associação a falta de gestão cria um ambiente convergente ao fogo.

Bradstock et al. (2010), com base em informações de extensa bibliografia sobre o assunto fez uma comparação da cidade de Cuiabá e a cultura de prática de fogo cristalizada no meio social, por experiência de campo, a grande maioria dos incêndios em área aberta é provocada pelo homem, intencional, mas não necessariamente criminal posto que enquadram na sua maioria das vezes como sendo atividade de rotina, aprendizado social, oportunidade fortuita e as vezes a delinquência juvenil ou alcoolismo.

Características da População do município de Cuiabá, como o IBGE, através do censo demográfico de 2010, apresenta a cidade de Cuiabá com o Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) alto, (entre 0,700 e 0,799), população de total de 551.098 pessoas, resultando em uma densidade demográfica de 155,19 habitantes por km². As maiores contribuições para o IDH alto para o município decorrem da longevidade alta com índice de 0,834, seguida de Renda com índice de 0,800 e de Educação com índice de 0,726. A caracterização do nível de renda das pessoas está consignada ao montante financeiro recebido em um período, (mais comum o mensal), renda essa tributada ou não de forma a auferir a estas pessoas um certo nível de vida. Necessariamente o nível de vida pode não depender ou está ligado intrinsecamente ao

nível de renda. No entanto, sobre o aspecto de renda, entende-se que esta é a receita estável mínima para manutenção das reivindicações básicas da saúde, educação, alimentação conforme padrões sociais universais, pela declaração dos direitos do homem (IPEA, 2010). Conforme relata o Censo de 2010, a cidade de Cuiabá entre os 5565 municípios do Brasil, situa na 92ª posição.

O Censo 2010 (IBGE, 2010) apresentou o valor de 98,13 % da população Cuiabana residir na cidade, enquanto somente 1,87% no meio rural, o que nos remete pensar que as ações de incêndio são predominantemente provocadas por ações do homem, mediante essa densidade de pessoas vivendo no meio urbano proporcionar uma enorme quantidade de incêndios na cidade e na fronteira urbano rural. A diferença é que a quantidade de focos de incêndio na cidade é maior que no meio rural, no entanto este gera incêndios muito maiores em relação àqueles da cidade por uma questão de facilidade no combate, sendo a prevenção um problema único para urbano e rural.

Segundo Andréa Wolffenbüttel, do Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA) o índice de Gini (criado pelo matemático Italiano Conrado Gini) é um instrumento com o objetivo de avaliar a renda em um determinado grupo comparando o número das pessoas mais pobres ao número daquelas mais ricas. Quanto menor o índice de Gini, mais igualitária é a renda do grupo (WOLFFENBÜTTEL, 2004).

O índice de Gini para a cidade de Cuiabá no ano de 2010 foi de 0,59. Equivale dizer que a renda está mais concentrada entre 41% da população. Temos aí uma maior percentagem da população na menor classe de renda 59%.

As habitações da faixa populacional de menor renda estão localizadas em locais de infraestrutura deficiente, onde o serviço público não entrega com eficiência desmatamento de margem de vias públicas, de canteiros de avenidas, e não incentivam proprietários manterem terrenos baldios limpos, para não falar dos incêndios em depósitos de lixo irregulares (MATO GROSSO, 2017).

Esta situação dual da condição urbana deficiente aliada a população de menor renda implica em condição apropriada para origem de focos de incêndios urbanos, como apresentado no Quadro 06.

QUADRO 06: Classe de renda versus risco de incêndio.

Classe de renda	Risco
A - Muito baixa	Muito alto
B - Médio baixa	Médio alto
C - Média	Médio
D - Média alta	Baixo
E - Alta	Muito baixo

FONTE: Do autor – (Perícias oficiais – POLITEC).

O Quadro 7 mostra a relação da proximidade dos combustíveis com o risco de incêndio.

QUADRO 7: Proximidade ao combustível versus risco de incêndio.

Proximidade ao combustível	Risco
A - População em área do combustível	Muito alto
B - População até 100m do combustível	Médio alto
C - População de 100m a 300m do combustível	Médio
D - População de 300m a 500 m do combustível	Baixo
E - População de 500m a 800 m do combustível	Muito baixo

FONTE: Do autor – (Perícias oficiais – POLITEC).

As informações presentes nos Quadros 6 e 7 são bem equivalentes. Quando fazemos referência a maioria das pessoas cuja classe de renda seja “baixa”, significa quase sempre que os hábitos podem estar ligados a limpeza de quintal através de queima de lixo ou folhas de árvores, e que também residem em margem de estradas, na fronteira urbano rural, não tendo coleta de lixo regular ou simplesmente não existindo coleta de lixo para aquelas residências. Além disso, estão muito distantes da fiscalização regular sobre regras gerais do município.

Raciocínio proporcional e decrescente de riscos para a melhoria dos níveis de classes sociais que atingem melhor atendimento do serviço público, moram mais afastadas de áreas da fronteira urbano rural, e conseqüentemente tem maiores benefícios dos serviços públicos e de fiscalização mais continua e eficiente.

4.1.4 Quarta variável linguística: A gestão pública

A possibilidade de modelar a previsão de incêndios é uma opção muito favorável para a governança pública na medida em que evita perdas humanas, muito embora os incêndios em vegetação não registraram mortes (CBM-MT), proporcionando melhor qualidade de vida urbana, a manutenção da biota e a economia proveniente da prevenção ao fogo em áreas urbanas na temporada de seca.

A necessidade de prevenção e combate a incêndio na capital tem então um efeito duplo, quer na prevenção de incêndio, quer na promoção de conforto urbano, em ambos os casos muito importante na economia de recursos governamentais (LACERDA, 2019), atuando à frente da ocorrência de incêndio, em um esforço planejado.

A cobertura vegetal configura o principal combustível para o conjunto de variáveis convergentes ao incêndio; portanto esclarecer essa biomassa que compõe a maioria da cobertura vegetal em áreas abertas em Cuiabá representa o primeiro passo ao combate eficiente do incêndio (PÉREZ & CONSTANZO, 2018).

A gestão de governo, ao antecipar a ação do incendiário, pode inclusive suprimir o combustível (COLLINS, PRICE e PENMAN, 2018), combatendo a tempo enquanto o mesmo encontrar na ordem máxima de 2000 KW/m, mecanizando a supressão do combustível através de tratores dotados de reservatórios de água conseguindo a redução para 500 KW/m; o mesmo autor informa ainda que é possível debelar ou diminuir a intensidade de incêndios através de equipes no combate manual enquanto o fogo se mantiver a até 800 KW/m diminuindo a escala do evento para 500 KW/m e portanto a supressão aliada a uma resposta imediata auxilia em muito o combate a incêndio em vegetação. Neste caso, o gestor deve avaliar o comportamento do fogo, através do combustível, clima e topografia e considerar para aplicar o tempo resposta o valor de recursos necessários para a probabilidade de contenção (LACERDA, 2019).

A gestão de governo em todas as esferas presente no município de Cuiabá é deficiente, devido aos números de focos de incêndios ocorridos.

QUADRO 8: Eficiência da gestão do governo versus risco de incêndio

Eficiência da gestão do governo	Risco
A – Gestão de governo muito baixa	Risco muito alto de incêndio
B - Gestão de Governo baixa	Risco alto de incêndio
C - Gestão de Governo média	Risco médio de incêndio
D - Gestão de Governo forte	Risco baixo de incêndio
E – Gestão de Governo muito forte	Risco muito baixo de incêndio

FONTE: Do autor – (Perícias oficiais – POLITEC).

4.1.5 Quinta variável Linguística: A defesa civil a nível de Estado

A defesa civil em âmbito do Estado tem abrangência para todo o território de Mato Grosso com o objetivo de promover a defesa a acidentes ou catástrofes de qualquer natureza para todos os municípios. Com relação específica a fogo e a incêndio em vegetação, a subsecretaria de emergências ambientais dirige o planejamento e ação tendo o Corpo de Bombeiros Militar através do Batalhão de Emergências Ambientais (BEA) como o gestor da prevenção e Combate ao fogo.

Nos últimos três anos o BEA tem realizado operações integradas de segurança pública, envolvendo todos os órgãos tais como Polícia Militar, Polícia Civil, POLITEC, Secretaria de Meio Ambiente, estabelecendo verdadeiro arrastão ambiental na divulgação, fiscalização de desmatamentos, queimadas e incêndios florestais, invasão em Áreas de Preservação Permanentes (APPs) e outras ocorrências que forem constatadas. Essas operações acontecem em duas ou três regiões por ano. O BEA, tem evoluído rapidamente, com a inauguração em 2018 de uma base aérea de combate a incêndio, situada na cidade de Sorriso.

Nos últimos três anos o BEA tem realizado operações integradas de segurança pública, envolvendo todos os órgãos tais como Polícia Militar, Polícia Civil, POLITEC, Secretaria de Meio Ambiente, estabelecendo verdadeiro arrastão ambiental na divulgação, fiscalização de desmatamentos, queimadas e incêndios florestais, invasão em Áreas de Preservação Permanente (APPs) e outras ocorrências que forem constatadas. Essas operações acontecem em duas ou três regiões por ano (MATO GROSSO - 2016).

O BEA, tem evoluído rapidamente, com a inauguração em 2018 de uma base aérea de combate a incêndio, situada na cidade de Sorriso. Apesar de ser o primeiro passo, há muito caminho a percorrer, devido à grande extensão do território de Mato

Grosso, através dos 141 municípios. Quanto a classificação de riscos, é idêntica aos graus de pertinência da variável anterior, por se tratar de gestão pública.

4.1.6 Sexta variável linguística: A defesa Civil a nível municipal

A defesa civil municipal de Cuiabá age com objetivos gerais de bem-estar da população cuiabana e a prevenção e combate a incêndio em áreas abertas está no contexto de sua atuação. Não existe a nível de planejamento consolidado nenhuma ação visando a conscientizar a população ou educar no sentido de prevenção do fogo. A gestão do fogo a nível de município encontra sob responsabilidade do Corpo de Bombeiros (CBM), através do 1º BBM.

O rol de Instituições destinadas diretamente a prevenção e combate a incêndio, adicionadas aquelas cuja atuação indiretamente abrangem a questão, nas três esferas de governo, é uma lista bem robusta. Em âmbito Federal se encontra o Programa (PREVFOGO), inserido ao organograma do Instituto Brasileiro de Meio Ambiente (IBAMA), que estabelece um amplo planejamento para todo o país em especial para emergências em todo território. A Fundação Nacional do Índio (FUNAI), o Instituto Nacional de Reforma Agrária (INCRA), e em último recurso, caso de emergência, as Forças Armadas e Força Nacional.

O Estado de Mato Grosso tem em sua estrutura, a Secretaria de Estado de Meio Ambiente (SEMA) que tem em sua organização interna o Comitê de Gestão do Fogo; A Secretaria de Segurança Pública (SESP) com o Corpo de Bombeiros Militar, que em sua estrutura tem o Batalhão de Emergências Ambientais (BEA), foi adquirido em 2018 duas aeronaves de combate a incêndio ; a Polícia Florestal, o Centro Integrado de Operações de Segurança Pública (CIOSP), o Centro Integrado de Operações Aéreas (CIOPAER), além de órgãos independentes como o Instituto Chico Mendes (ICMBIO) e outras entidades similares em todo o território do Estado. Estas Instituições independentes normalmente formam brigadas de incêndio civis de voluntários ou não para prevenção e combate a incêndio na estação seca.

A Prefeitura Municipal de Cuiabá possui uma Defesa Civil Municipal, o Instituto de Planejamento e Desenvolvimento Urbano (IPDU), a Secretaria de Meio Ambiente e Desenvolvimento, União dos Moradores dos Bairros de Cuiabá (UCAMB). Especialmente na esfera Municipal, nada impede o envolvimento do

Estado e Federação agindo em conjunto e coordenados. O Quadro 09 apresenta as relações de gestão conscientização, prevenção e combate versus risco alto de incêndio.

QUADRO 9: Relação gestão, conscientização, prevenção e combate versus risco alto de incêndio.

Relação de gestão-combate	Risco de incêndio
A - Não há gestão mínima	Muito alto
B - Existe a conscientização	Alto
C - Conscientização e Prevenção	Médio
D - Conscientização, prevenção e combate	Baixo
E - Conscientização, prevenção, detecção e combate	Muito Baixo

FONTE: Do autor – (Perícias oficiais – POLITEC).

Uma possível interpretação do Quadro 09 é:

- A – Não há Gestão Mínima, não tem como estabelecer um procedimento eficiente para mitigação ou controle do risco. É o que atualmente acontece. Trata-se de intervenções para combater o efeito e não a causa do risco de incêndio. Por esta mesma razão é que a cidade ano a ano, se torna refém da fumaça.
- B – Existe a Conscientização, o sistema tem uma referência para modificação básica para mitigar o risco uma vez que muitos incêndios poderão ser evitados, devido a mudança de atitude das pessoas;
- C – Existe Conscientização e Prevenção, o sistema dispõe de uma dupla qualidade desde que a Conscientização seja bem unida a Prevenção sendo que esta prevenção seja pública e privada. Há que se desenvolver um procedimento comum.
- D – Existe Conscientização, Prevenção e Combate, é quase o requinte da perfeição para eliminação total do risco;
- E – Existe Conscientização, Prevenção, Detecção e Combate, é o extremo controle de risco necessário. No entanto, o item “detecção”, deve ser automatizado e interligado ao sistema de Combate de forma a proporcionar o tempo resposta mais imediato da estrutura de Combate.

4.1.7 Sétima variável linguística: Vento

A condição de existência de incêndio é vinculada a uma quantidade mínima dos elementos do triângulo do fogo em proporções similares para os três elementos.

Excessos superiores ou inferiores podem alterar o desenvolvimento e a manutenção do fogo (TORRES & RIBEIRO, 2008). O vento, claro, contribui principalmente na composição da velocidade do incêndio e, portanto, para sua propagação. O vento em excesso, conforme a natureza do combustível, pode até extinguir o incêndio dentro de um certo contexto entre combustível, topografia, solo e outros fatores.

A existência de vento em velocidades baixas, de um modo geral é favorável para a evolução de incêndio, funcionando como acelerador de ignição. Para superfícies inclinadas morros, morrotes, colinas e montanhas, a ação do vento tende a incentivar a ação do fogo em propagar por onde quer que exista material combustível, neste caso, há que evidenciar o fogo latente em condições de baixo combustível, havendo transporte de calor por longo período podendo eclodir focos de incêndio em período espaço temporal distante do foco que deu início ao primeiro incêndio.

A Figura 18 mostra a intensidade do vento ocorrido por ocasião de incêndio na data de 25 de abril em gramíneas de pastagem colônia (*Panicum maximum*) em que a condição do vento foi próxima a 12 m/s com origem noroeste soprando em direção a sudeste.

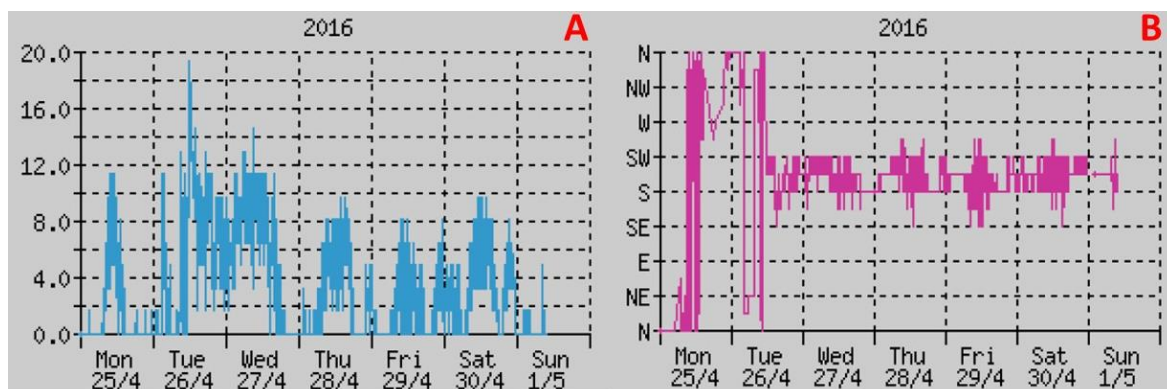


FIGURA 18: Vento ocorrido em período de incêndio (25/04/2016 -01/05//2016). (A) Velocidade do vento em Km/h e (B) direção do vento.

FONTE: Adaptada da plataforma INMET (2016).

Este fato destaca a possibilidade de propagação de incêndio com pouco combustível seco, secando biomassa para um próximo, graças à atuação do vento, em se tratando em particular de gramíneas verdes e outras vegetações de pequeno porte.

A presença de ventos na estação seca constitui um elemento importante para a manutenção e propagação do fogo na medida em que contribui na oxigenação da

reação química do fogo. Portanto, é um vetor de pertinência importante como apresentado no Quadro 10.

QUADRO 10: Condição do vento versus velocidade em m s^{-1} .

Condição do vento	Velocidade do vento (m s^{-1})
Muito alto (Ma)	acima de 1,77
Alto (A)	entre 1,2 e 1,77
Médio (M)	entre 0,6 e 1,2
Baixo (B)	entre 0,4 e 1,45
Muito Baixo (Mb)	acima de 0,05

FONTE: Do autor – (Perícias oficiais – POLITEC).

Importante observar que velocidades do vento a partir de 15 m s^{-1} pode-se amenizar o incêndio pelo efeito de abafamento da combustão por excesso de oxigênio.

4.1.8 Oitava variável Linguística: Precipitação (*Ppt*)

O incêndio tem alta correlação negativa com o evento precipitação (TORRES et al., 2011). É natural que isso aconteça, porque a água é o antídoto natural ao fogo. Quanto maior o índice pluviométrico menor a possibilidade de incêndio. A Figura 19 mostra que ao incêndio ocorrido na data de 25 de abril de 2016 houve um índice de 2 mm de precipitação valor este que pode ter sido anulado pela taxa de evaporação anterior ao incêndio ocorrido.

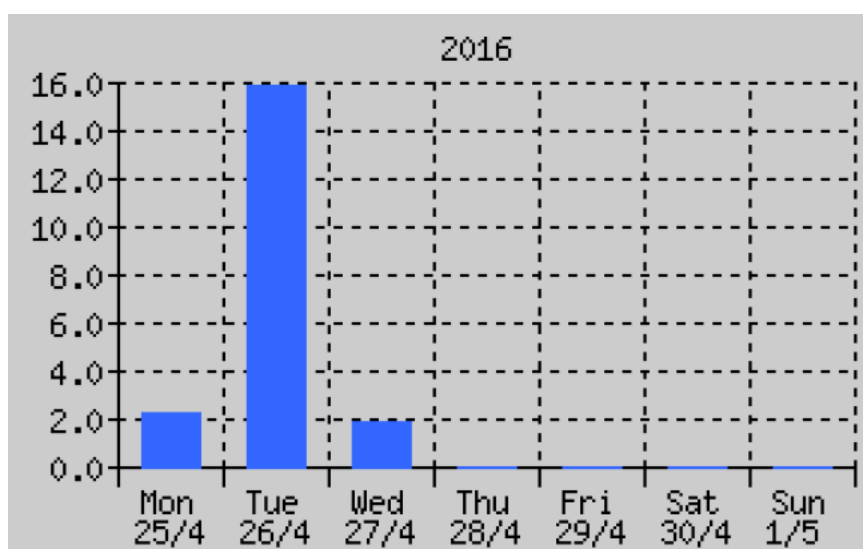


FIGURA 19: Precipitação (mm) para o dia de ocorrência de incêndio, 25/04/2016.

FONTE: Adaptada da plataforma INMET (2016).

Precipitações de baixa intensidade, em vegetação de gramínea verde, dão lugar a incêndios combinados com outros fatores tais alta taxa de insolação, evaporação e a presença de vento como foi o caso do incêndio analisado em 25 de abril de 2016.

Precipitação: A variável precipitação é divisora de água para existência ou não do incêndio, na medida em que sua presença configura a estação úmida, ocasião ausente de incêndio. Chuvas generosas em uma estação úmida podem reduzir a ocorrências de focos de incêndio na estação seca subsequente, adiando o fato e assim, caso a nova estação úmida se antecipe, ter-se-á um período de seca menor e, portanto, menor quantidade de incêndios.

O INMET, apresenta informações dos anos de 1931 a 1960 e ainda de a 1961 até hoje, dados estes demonstrando que os meses mais desfavoráveis para ocorrência de precipitação tem início crítico no mês de maio ((52,30 mm para a série de 1931 a 1960) e (51,10 mm para série 1961 a 1990)) até o mês de setembro ((39,50 mm para série de 1931 a 1960) e 55,50 mm para a série 1961 a 1990)), mostrando bem a tendência da precipitação em Cuiabá.

O que se observa na **Figura 20** sobre o balanço Hídrico Climatológico é a ausência de água no solo nos meses maio a outubro, por excelência nos meses de agosto e setembro para a série Normal 31-60 e 61-90 para o município de Cuiabá. O perfil de água na superfície conforme é mostrado, denuncia ausência de umidade a até 10 centímetros abaixo da superfície. As duas séries de 30 anos, constata também que o Balanço Hídrico Climatológico para as duas séries os resultados são semelhantes.

Thornthwaite e Mather (1955), definiram o “Negativo Acumulado como o resultado da diferença entre os fatores que podem admitir água em um solo como a chuva ou Precipitação (*Ppt*); o Orvalho (*O*); a Irrigação (*I*); o Escorrimento Superficial (*Ri*); o Escorrimento Sub-superficial (*Dli*) e a Ascensão Capilar (*AC*) e os fatores que subtraem a água do solo como a Evapotranspiração (*ET*); o Escorrimento superficial (*Ro*); o Escorrimento sub-superficial (*DLo*); a Drenagem profunda (*DP*).

$$\Delta ARM = Ppt + O + Ri + Dli + AC - ET - Ro - DLo - DP \text{ (Equação 23)}$$

Localidade: CUIABÁ-MT
Latitude: 15° 33' S

Altitude (m): 151.34
Longitude: 56° 2' W

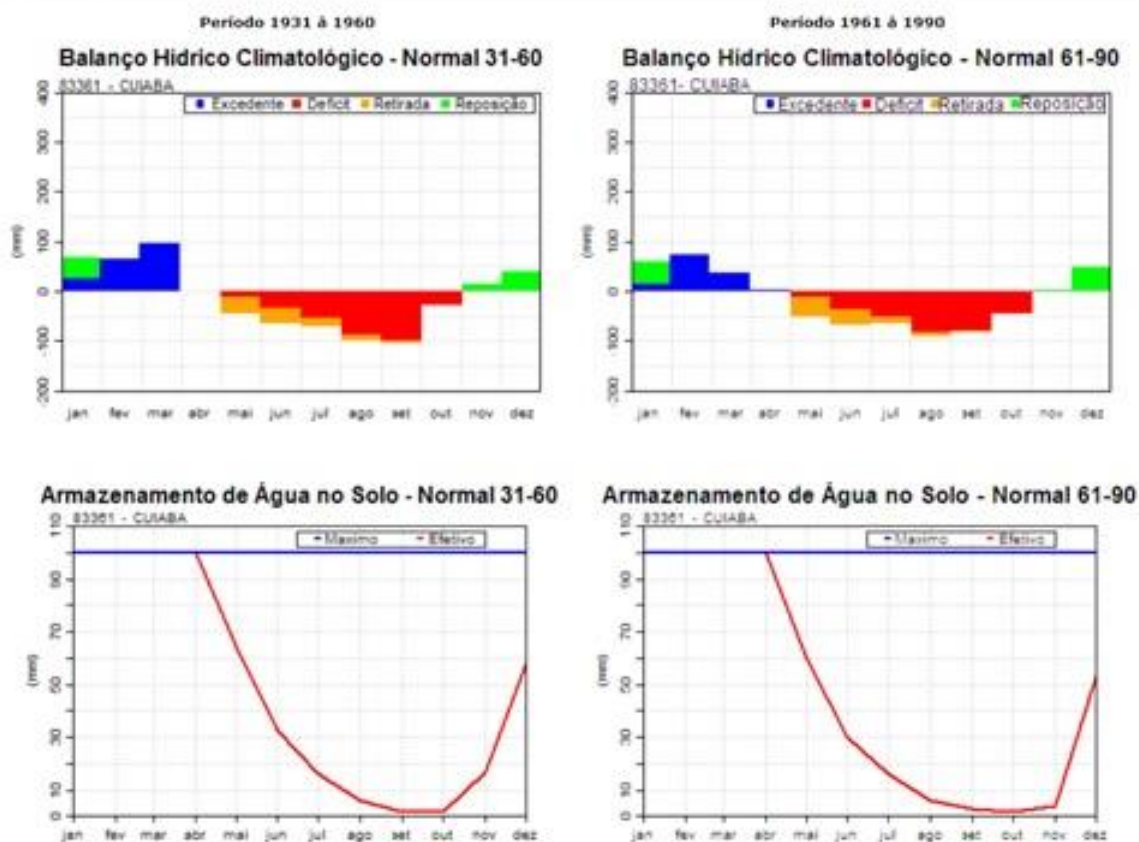


FIGURA 20: Balanço Hídrico climatológico para as séries 1931-1960 e 1961-1990.

FONTE: Adaptada da plataforma INMET (2016).

No entanto, as parcelas de orvalho (O) e Ascensão Capilar (AC), por serem parcelas muito pequenas são desprezadas. Por outro lado, as parcelas do Escorrimento superficial (Ri); Escorrimento sub-superficial (DLi); Escorrimento superficial (Ro) e Escorrimento sub-superficial (DLo) se compensam, reduzindo a fórmula para:

$$\Delta ARM = P_{pt} - ET - DP \quad (\text{Equação 24})$$

Assim, o balanço das entradas e saídas de água do solo configuram o armazenamento de água no solo que é o que retrata na Figura 21 mostrando armazenamento máximo e mínimo de água para o solo da Cidade de Cuiabá para as décadas dos anos 1931 a 1960 e 1961 a 1990. A ausência de umidade nesta profundidade impede evaporação da água, diminuindo a umidade relativa do ar acelerando ainda mais a possibilidade de incêndio (Figura 21).

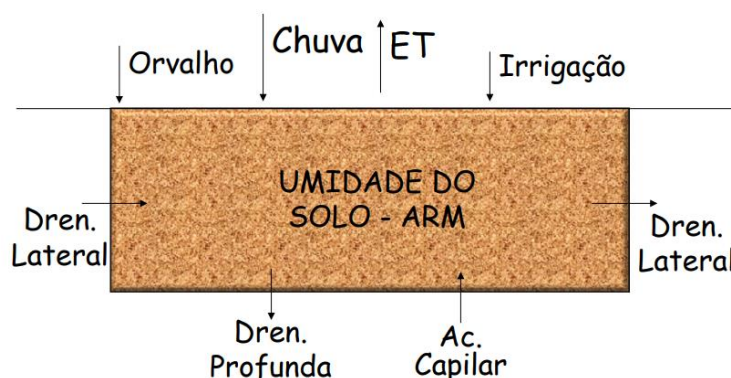


FIGURA 21: Perfil da dinâmica hídrica do solo.

FONTE: Adaptado da plataforma INMET (2016).

Informações do INMET permite afirmar que a ocorrência severa de incêndio acontece no período de maio a setembro, no entanto, não é ignorado que acontecem incêndios nos meses de abril (marcando o início da temporada do fogo) e outubro (finalizando a temporada do fogo) em menor quantidade de ocorrências nesses meses. O mês mais crítico é o mês de julho, e o pior trimestre é o representado pelos meses junho (13,80 mm e 13,70 mm), julho (6,30mm e 12,30 mm) e agosto (12,10 mm e 13,70 mm), períodos de 1931-1960 e 1961-1990 respectivamente. Logo o risco decorrente da variável precipitação fica estabelecido no Quadro 11.

QUADRO 11: Risco decorrente da variável precipitação.

Risco	Quantidade precipitada (mm)
Muito alto (Ma)	igual ou menor a 10
Alto (A)	entre 5 mm e 20
Médio (M)	entre 15mm e 40
Baixo (B)	entre 35mm e 70
Muito Baixo (Mb)	acima de 60

FONTE: Do autor – (Perícias oficiais – POLITEC).

4.1.9 Nona variável Linguística: Insolação

A insolação tem alta correlação positiva com a ocorrência de incêndio, o que é natural porque além do acréscimo de temperatura aumenta a evaporação expondo a biomassa a queima. Na estação normal de incêndio, a temperatura, evaporação atingem suas maiores taxas bem como a precipitação e a umidade do ar as menores taxas do ano.

A radiação solar constitui um fator de tempo determinante para o saldo de radiação, constituição do albedo, transferência de calor e como resultante das combinações entre umidade, albedo, nebulosidade é um vetor de pertinência que contribui aos conjuntos dos demais elementos de origem e/ou manutenção de altas temperaturas.

QUADRO 12: Relação insolação e risco de incêndio.

Insolação	Risco de incêndio
200 a 240 horas	Muito alto
Entre 190 e 204 horas	Alto
Entre 170 a 185 horas	Médio
Entre 160 a 170 horas	Baixo
Abaixo de 160 horas	Muito Baixo

FONTE: Do autor – (Perícias oficiais – POLITEC).

4.1.10 Décima variável Linguística: Temperatura

A insolação tem alta correlação positiva com a ocorrência de incêndio, o que é natural porque além do acréscimo de temperatura aumenta a evaporação expondo a biomassa a queima. Na estação normal de incêndio, a temperatura, evaporação atingem suas maiores taxas bem como a precipitação e a umidade do ar as menores taxas do ano.

A radiação solar constitui um fator de tempo determinante para o saldo de radiação, constituição do albedo, transferência de calor e como resultante das combinações entre umidade, albedo, nebulosidade é um vetor de pertinência que contribui aos conjuntos dos demais elementos de origem e/ou manutenção de altas temperaturas;

QUADRO 13: Relação insolação e risco de incêndio.

Insolação	Risco de incêndio
200 a 240 horas	Muito alto
Entre 190 e 204 horas	Alto
Entre 170 a 185 horas	Médio
Entre 160 a 170 horas	Baixo
Abaixo de 160 horas	Muito Baixo

FONTE: Do autor – (Perícias oficiais – POLITEC).

4.1.11 Décima primeira variável Linguística: Umidade relativa do ar

A presença de muita água em forma de vapor pode inibir ou mesmo impedir a eclosão de incêndio. Este vetor de pertinência quando ausente facilita o incêndio; os dados do INMET, proporcionam elaborar a escala de pertinência; A umidade do ar é inversamente proporcional a temperatura (PEREIRA et al., 2007). Para altas temperaturas, como é o caso da cidade de Cuiabá, a tendência é a redução da umidade do ar.

Para a estação seca, a umidade do ar é muito reduzida, deixando a possibilidade de ignição ao extremo. Considerando apenas esta variável, é possível constatar pelos dados do INMET, inversão de dados relativos à umidade do ar versus temperatura se confirma.

O grau de umidade, da liteira fina, também é afetado para possibilitar ou não o incêndio quer esta umidade devida à umidade do ar e a evaporação ou mesmo pela precipitação (WHITE, 2018).

A diversidade da alteração da umidade do ar, em função da alta temperatura proporciona ao longo do dia várias faixas de possibilidades de foco de calor segundo o raciocínio, de grau de pertinência, pela Teoria dos Conjuntos Nebulosos (ZADEH, 2004).

QUADRO 14: Relação insolação e risco de incêndio.

Umidade relativa do ar (UR, %)	Risco de incêndio
Inferior a 20%	Muito alto
Entre 10% e 30%	Alto
Entre 20% e 40%	Médio
Entre 30%°c e 50%°c	Baixo
Acima de 80%	Muito Baixo

FONTE: Do autor – (Perícias oficiais – POLITEC).

4.1.12 Decima segunda variável linguística: Evaporação

A evaporação contribui, com a melhoria da umidade do ar, e depende, claro, da existência de água na região considerada. Quanto maior a temperatura, maior deve ser o volume evaporado, no entanto, para a estação seca, todo material combustível e superfícies chegarão a um limite em que exauridos de umidade representam combustíveis altamente inflamáveis.

QUADRO 15: Relação evaporação e risco de incêndio.

Porcentagem de evaporação	Risco de incêndio
Abaixo de 20%	Muito alto
Entre 10% e 30%	Alto
Entre 20% e 40%	Médio
Entre 30% e 50%	Baixo
Acima de 80%	Muito Baixo

FONTE: Do autor – (Perícias oficiais – POLITEC).

A baixa evaporação, contribui para reduzir a umidade do ar, com isso, remete a mesma condição comentada acima sobre a umidade do ar. O grau de pertinência do vetor evaporação fica estabelecido no Quadro 15.

Há que se observar que tanto o fenômeno da evaporação, quanto a umidade do ar caracterizam a presença de água em suspensão, fato este que pode ser inibidor ou acelerador da reação química do fogo.

4.2 BASE DE DADOS

Foi desenvolvido um levantamento dos focos de incêndio a partir do satélite MODIS, sendo possível obter nos anos de 2013 a 2017, excetuando o ano de 2016, com uma base de dados de 2054 registros, utilizados para calibração dos modelos gaussianos multivariados nas estimativas dos intervalos de confiança por Monte Carlo.

4.3 VALIDAÇÃO

Desenvolveu-se um modelo de validação cruzada no qual relacionou-se os resultados os valores do índice de risco de incêndio estimados pelo modelo Fuzzy e manualmente, pelo pesquisador.

É possível observar a concordância entre estes valores na Figura 22, esse ajuste foi altamente significativo ($p < 1\%$), apresentando coeficiente de determinação de 89%, coeficientes angular e linear de 0.92 e 0.31, respectivamente.

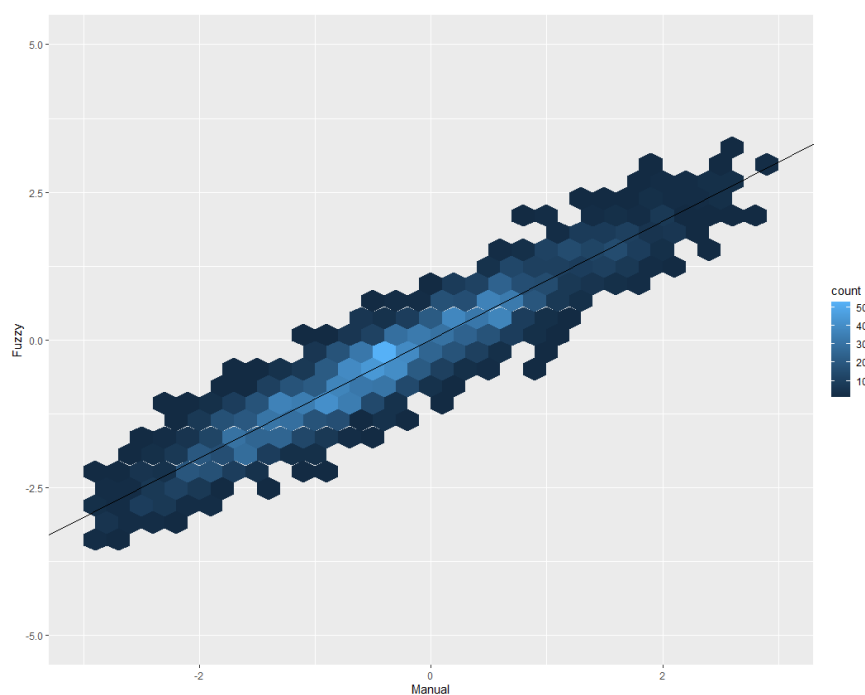


FIGURA 22: Densidade cruzada entre o índice de risco de incêndio estimados pelo modelo Fuzzy e manualmente, pelo pesquisador.

FONTE: Do autor.

A dispersão dos resíduos em relação aos valores ajustados pode ser observada na Figura 23, observando-se uma leve tendência de melhor ajuste para valores de risco de incêndio menor.

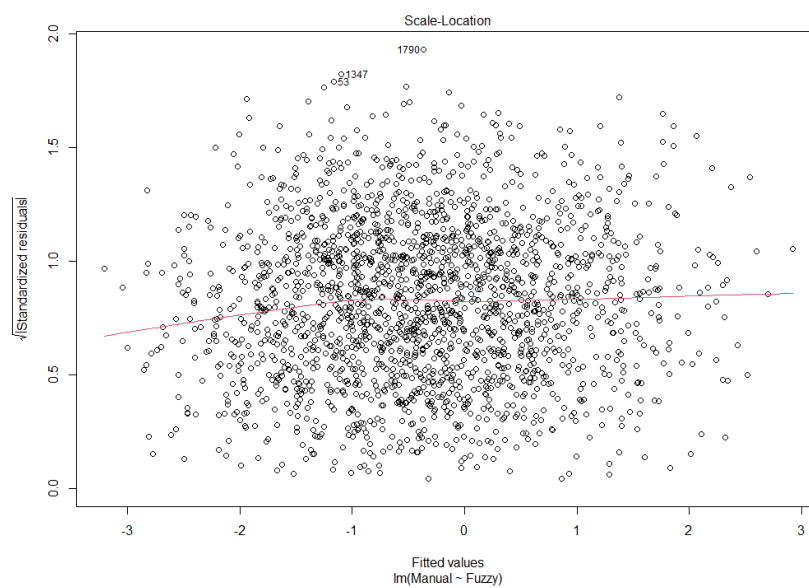


FIGURA 23: Dispersão da raiz quadrada dos resíduos padronizados em relação aos valores ajustados.

FONTE: Do autor.

Aderência dos resíduos a distribuição Normal foi avaliada pelo teste de Kolmogorov-Smirnov, não detectando diferenças significativas ($p=0.539$) e pode ser observada visualmente na Figura 24.

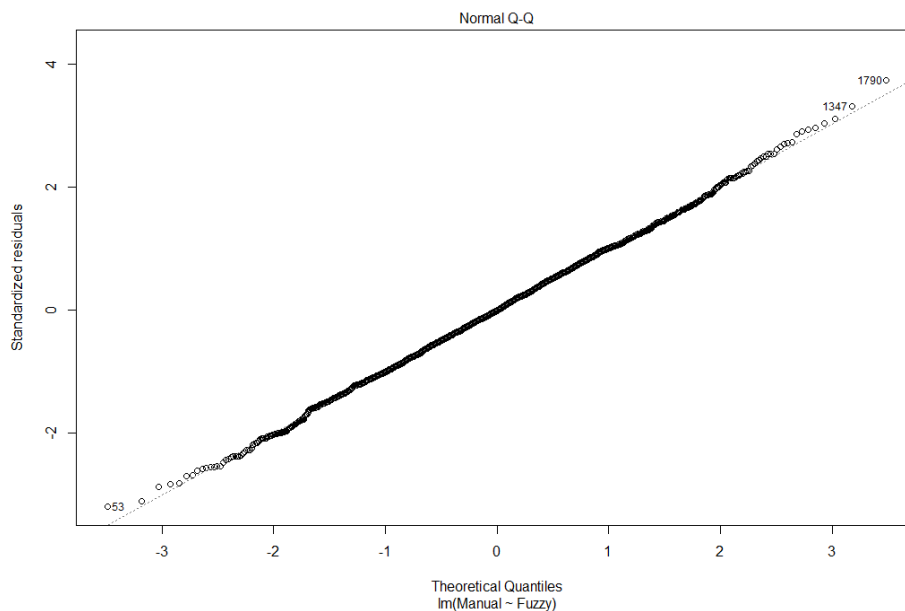


FIGURA 24: Gráfico de ajuste a distribuição Normal.

FONTE: Do autor.

A presença de *outliers* foi avaliada a partir das alavancagens observadas, não sendo observados valores qualitativamente elevados ou tendências (Figura 25).

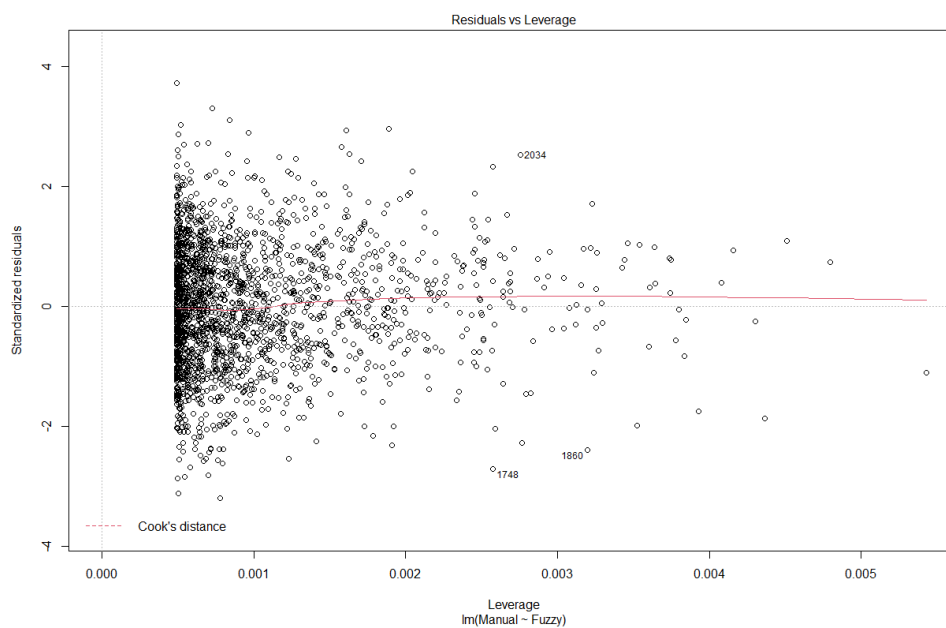


FIGURA 25: Dispersão entre o resíduo padronizado e a alavancagem.

FONTE: Do autor.

Estimou-se o intervalo de confiança para base de dados compilada a partir de um particionamento do tipo k-fold com 10 grupos com *bootstrap*, com 10'000 reamostragens, apresentando o MAD (*Mean Absolute Deviation*) de 16.88%.

4.4 ANÁLISE ESTATÍSTICA

A avaliação de risco desenvolvida teve por base as variáveis linguísticas desenvolvidas. Pode-se observar que os resultados foram relativamente regulares, principalmente devido a homogeneidade do objeto de estudo em relação a parâmetros mesoclimáticos e da casuística obtida.

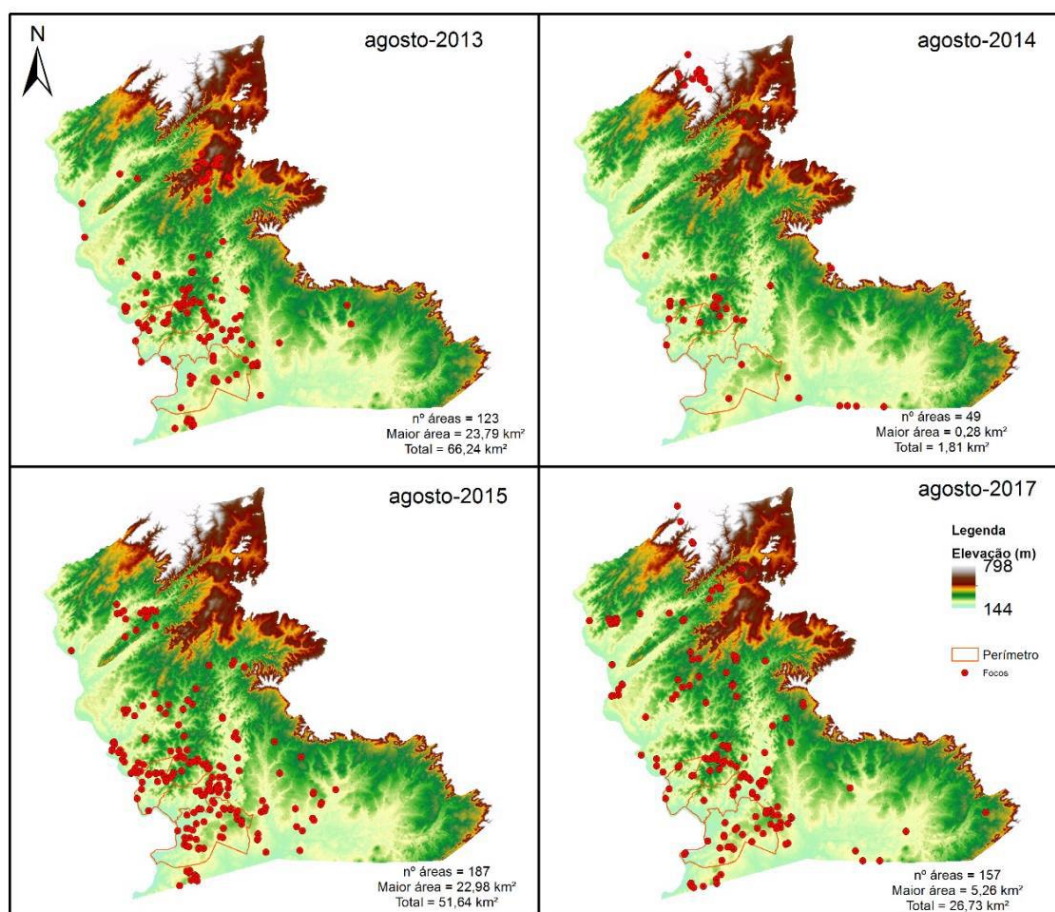


FIGURA 26: Focos de incêndio nos anos de 2013 a 2017.

FONTE: VITOR HUGO DANELICHEN (2017).

A Figura 26 apresenta recortes de imagens para agosto, mês com maior frequência de incêndios em área aberta na região, nesses anos. Os focos dispostos foram compilados em uma base dados que, confrontada com registros da POLITEC e do Comando geral do Corpo de Bombeiros Militar em Cuiabá. O mapa apresenta

regiões reincidentes anualmente onde acontecem os focos de incêndios na maioria no mês de agosto, ficando claro, que o eixo norte-sul do município tem ocorrência sistemática.

A diversidade de combustível na região urbana de Cuiabá, proporciona a maior quantidade de ocorrência, relatada pelos arquivos do Corpo de Bombeiros Militar através do Primeiro Batalhão (Batalhão Cacique).

Machado et al. (2014), descreve que a baixa taxa de precipitação para o município de Cuiabá, aliado a altas temperaturas, o aumento do déficit de pressão do vapor está intimamente atrelado ao número de focos de incêndios que ocorrem em Cuiabá, bem relacionados com os índices *FMA* e *FMA* +. A ocorrência destes focos de incêndios está presente em todo município, sendo de muito maior incidência na fronteira urbano rural, pelo acúmulo de material combustível de maior poder calorífico. O cinturão verde é o bairro de maior incidência de fogo pela intervenção humana intencional de limpeza de quintais e eliminação de outros resíduos sólidos, comprovados pelo autor em perícias decorrentes de atividades da POLITEC.

Observou-se uma variabilidade alta na localização e quantidade dos pontos entre os anos para o recorte analisado, não obstante apresente uma correlação linear de queda de -0.304 para as áreas queimadas, mas não significativa, principalmente em virtude do número de imagens disponíveis para análise, podendo se.

A comparação dos índices *Fuzzy* medianos entre os anos de 2013, 2014, 2015 e 2017 foi desenvolvida a partir de uma análise de variância não-paramétrica dos escores normalizados destes, obtida por meio da aplicação do teste de Van der Waerden em virtude da heterocedasticidade dos dados. Os valores obtidos para os intervalos de confiança da mediana para as variáveis estudadas estão descritas logo em seguida na Tabela 02, na qual, o cálculo do nível de confiança para os limites inferiores e superiores foi de 95%.

TABELA 02: Valores obtidos para os intervalos de confiança da mediana para as variáveis estudadas.

Ano	Intervalo de confiança da mediana (95%)			Grupo homogêneo
	Limite inferior	Mediana	Limite superior	
2013	1.15	1.31	1.89	a
2014	1.21	1.41	2.03	a
2015	1.96	2.03	2.67	ab
2017	2.68	3.41	4.17	c

FONTE: Do autor.

Observou-se um aumento gradativo do risco mediano de incêndio quando em ordem cronológica, onde obteve-se um primeiro grupo homogêneo nos anos 2013 e 2014, o terceiro grupo para o ano de 2017, e um segundo grupo transitando entre os dois supracitados.

Apresentado na Tabela 02, os intervalos de confiança para os anos de 2013, 2014, 2015 e 2017 foram agrupados em grupos homogêneos “a” para os anos de 2013 e 2014; grupo homogêneo “ab” para o ano de 2015 e grupo homogêneo “c” para o ano de 2017. Estes grupos homogêneos decorrem dos dados de focos de incêndios cujo valor da pertinência de cada um fora estabelecido pelo homem e confirmados pelo processo em Fuzzy, conforme o gráfico apresentado na Figura 22, pelo qual constata que as premissas manuais estão muito compatíveis com o equacionamento Fuzzy realizado.

Desta forma, observando a Figura 26, fica muito evidente as variações dos grupos homogêneos apresentados na Tabela 02, ano a ano, ficando claro que para todo ano a regularidade de concentração de focos de incêndio, mesmo com o aumento do intervalo de confiança anual as regiões do município sofrem sempre a mesma intensidade de ataques de incêndio.

Ao norte do município a intensidade de focos na região montanhosa, conhecidamente renitente ano a ano pela característica dos níveis de pertinência daquela região em termos de quantidade de massa vegetal, declividade do terreno, ventos, temperatura, vizinhança, providencias publicas anterior a estação seca, como variáveis principais. Pode ser nominada a região norte, como o grupo homogêneo “a”.

Da mesma forma, a região leste do município, tendo característica similares de vizinhança, massa vegetal, ventos e temperatura, guarda semelhanças com a região norte do município. Só não é a região idêntica a região “a” por conta da declividade do terreno e cobertura vegetal mais escassa e por conta de estar mais povoada tendo a população um papel duplo em propensão a colocar fogo e ao mesmo tempo conte-lo.

Já a região sul do município, propriamente a região que mais contém o conglomerado urbano, com suas características de massa de cobertura vegetal, limitadas por ruas e equipamentos urbanos, também renitente e reincidente ano a ano.

A grande vantagem do modelo consiste na possibilidade de inserir ou retirar variáveis e regular o seu grau de pertinência intrínseco de cada uma e a influência que uma, pode alterar a pertinência da outra.

A percepção da pertinência de cada variável e se esta afeta outra, muda o grau de pertinência de uma, de outra ou das duas, fato este que o profissional que analisa deve considerar para a eficiência do modelo. A acuidade profissional pode despertar a consideração de outras variáveis não citadas neste trabalho ensejando maior precisão do modelo e de local para local.

Apresentou-se doze variáveis intervenientes ao fenômeno do fogo, contribuindo para a ignição e progresso. A pertinência de cada variável envolve as circunstâncias para a ignição, progresso e extinção. Observar, cadastrar, registrar o envolvimento entre elas, é o papel do pesquisador para aperfeiçoamento do modelo. A vantagem da utilização da Teoria dos Conjuntos Nebulosos, está exatamente nesse procedimento, na medida que o conhecimento profissional de cada um pode acrescentar variáveis diferentes em pertinências adequadas, inter-relacionar estas variáveis considerando as interações entre todas ou entre algumas delas, e calibrando os resultados retro alimentando o modelo.

As variáveis linguísticas citadas a seguir foram definidas a partir de avaliação qualitativa, para variáveis nominais, e por ranqueamento estatístico, para as quantitativas conceituadas devidamente como x_1 , x_2 , x_3 , x_{10} , x_{11} , x_{12} como segue no Quadro 16.

QUADRO 16: Variáveis linguísticas.

Qualitativas	Quantitativas
Cobertura vegetal (x_1)	Vento (x_7)
Relevo (x_2)	Precipitação (x_8)
Vizinhança (x_3)	Insolação (x_9)
Gestão pública (x_4)	Temperatura do ar (x_{10})
Defesa Civil a nível de Estado (x_5)	Evaporação (x_{11})
Defesa Civil a nível de Município (x_6)	Umidade do ar (x_{12})

FONTE: Do autor.

Quanto a pertinência de cada uma das variáveis a conceituamos pela letra μ devidamente nomeadas de 1 a 12 a exemplo das variáveis como abaixo.

QUADRO 17: Variáveis linguísticas - a pertinência de cada uma das variáveis a conceituamos pela letra μ .

Qualitativas	Quantitativas
Cobertura vegetal (μ_1)	Vento (μ_7)
Relevo (μ_2)	Precipitação (μ_8)
Vizinhança (μ_3)	Insolação (μ_9)
Gestão pública (μ_4)	Temperatura do ar (μ_{10})
Defesa Civil a nível de Estado (μ_5)	Evaporação (μ_{11})
Defesa Civil a nível de Município (μ_6)	Umidade do ar (μ_{12})

FONTE: Do autor.

5. CONCLUSÕES

Apresentou-se uma aplicação da Teoria de Conjuntos Fuzzy a um problema da engenharia de segurança. Sua aplicação apresenta favorável a compreensão de incertezas habituais no campo, uma vez que se trata de um problema multifacetado onde, muitas vezes, é difícil a mensuração acurada dos parâmetros. A análise da trajetória (questão Fuzzy) e as condições estudadas neste trabalho conclui-se sobre as seguintes questões:

- A cobertura vegetal: de sua densidade, disponibilidade, conteúdo do poder calorífico, sua umidade para queima. O pesquisador ao considerar a pertinência da cobertura vegetal para iniciar e manter um incêndio, deverá ter em mente, a intensidade do fogo do ano anterior, a intensidade de precipitação do ano anterior, a condição da serapilheira formada, a intervenção agrícola ou não na região, variáveis também consideradas individualmente que, no entanto, definem melhor o valor da pertinência absoluta da cobertura vegetal.
- O relevo: a avaliação do especialista terá que inferir qual a intervenção do fator vento na encosta ou na planície na pertinência imediata na transmissão de calor no plano horizontal ou inclinado. Esta condição do relevo pode mudar a direção do fogo independente do vento, entre outras considerações.
- A vizinhança: a percepção para avaliar a pertinência, estará afeta a áreas próximas a vilas, povoados situação em que a queima de lixo, folhas secas em limpeza de quintais, configuram risco maior. Um exemplo são as áreas fronteiriças entre o urbano e rural região muito renitente em ignição de fogo na estação seca. O cinturão verde em Cuiabá na região do bairro Pedra 90 é um exemplo notável.
- A metodologia: aplicada pelo gestor público em relação a políticas permanentes de gestão através de ações concretas e definidas como regras básicas e não como exceções para eventuais incêndios, determinam a mudança de comportamento da população, estabelece procedimentos padronizados das instituições multidisciplinares envolvendo a saúde, meio ambiente, educação e os próprios órgãos envolvidos com a segurança pública. A partir dos princípios

estabelecidos pela gestão pública o pesquisador irá determinar o grau de pertinência.

- A defesa civil do Município: é a avaliação de quais medidas estão realmente implantadas para a prevenção e combate a incêndio no contexto da gestão pública estabelecida e quanto a eficiência municipal pode influenciar no impedimento ou não do fenômeno do incêndio.
- O vento: o avaliador da pertinência com a experiência adquirida, poderá inferir se a baixa ou alta velocidade do vento no ambiente analisado poderá incrementar ou não a presença do incêndio. Mesmo considerando que existe o máximo de fator 30 para ocorrência do incêndio, consenso comum na grande maioria dos operadores de combate a incêndio, essa condição está atrelada a 30°C ou mais de temperatura do ar; umidade do ar igual ou abaixo de 30% e velocidade do vento igual ou superior a 30 km/h. O pesquisador não deve se ater a essa afirmação que não tem validade geral. A pertinência deve ser avaliada caso a caso.
- A precipitação: avaliar a frequência e intensidade das chuvas frente condição da massa vegetal existente. Ainda que tenha muita umidade contida na vegetação o incêndio pode acontecer, mas sem prosperar em grandes proporções.
- A insolação: a avaliação deve ser associada a condição da biomassa disponível no ano anterior, a natureza e disponibilidade da liteira sobre o solo para avaliar a pertinência com maior precisão.
- A temperatura: seja alta ou baixa, a pertinência é afetada grandemente por outros fatores, como fonte de calor, umidade do material e o combustível disponível, sendo o critério profissional importante.
- A evaporação e umidade do ar: estão intimamente ligadas a precipitação e a insolação. A precipitação define o volume de água disponível na superfície, aumentando ou diminuindo a condição de reação do fogo.

O modelo foi testado por validação cruzada, apresentando um MAD de 16.88%. Com esses resultados, concluímos que o modelo obteve um resultado verossímil em relação aos resultados encontrados, mas com a consulta de profissional o modelo pode ser aprimorado e servir como ferramenta para auxiliar os gestores,

peritos criminais e profissionais da defesa civil quanto as suas práticas e políticas públicas.

Recomenda-se que o modelo deverá ser colocado a prova nos próximos anos para calibragem e validação constante até a obtenção de melhorias e reconhecimento dos pesquisadores e público em geral.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT, NBR ISO. ISO 31000 Gestão de riscos: Princípios e diretrizes. **Committee Draft of ISO**, v. 31000, 2009.

ALVARES C. A.; CEGATTA, I.R.; VIEIRA, L.A.A.; PAVANI, R.F.; MATTOS, E.M.; SENTELHAS, P.C.; STAPE, J.L.; SOARES, R.V. Perigo de incêndio florestal: aplicação da Fórmula de Monte Alegre e avaliação do histórico para Piracicaba, SP. **Scientia Forestalis**, v. 42, n. 104, p.521-532, 2014.

ALVARES, C. A. et al. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.

ALVES, A. D.; CUNHA, L. J. S. Riscos naturais em áreas urbanas: avaliação da suscetibilidade em Santa Clara, Coimbra-Portugal. **Revista da Casa da Geografia de Sobral**, v. 18, n. 1, p. 5, 2016.

ANDRADE, C. M. Tecnologias seletivas controlam capim-navalha sem causar danos às pastagens. *Jornal Embrapa*. 2016. Disponível em :<
<https://www.embrapa.br/en/busca-de-noticias/-/noticia/18863512/tecnologias-seletivas-controlam-capim-navalha-sem-causar-danos-as-pastagens>>. Acessado em 22 de julho de 2020.

ARAÚJO, M.L.S., SANO, E.E., BOLFE, E.L., ´ SANTOS, J.R.N., DOS SANTOS, J.S., SILVA, F.B., 2019. Spatiotemporal dynamics of soybean crop in the Matopiba region, Brazil (1990–2015). *Land Use Pol.* 80, 57–67.

ARAYA-MUÑOZ, D., METZGER, M. J., STUART, N., WILSON, A. M. W., & CARVAJAL, D. A spatial Fuzzy logic approach to urban multi-hazard impact assessment in Concepción, Chile. *Science of the Total Environment*, v. 576, p. 508-519, 2017.

ARCHIBALD, S.; LEHMANN, C.E.; GÓMEZ-DANS, J.L.; BRADSTOCK, R.A. Defining pyromes and global syndromes of fire regimes. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 110, n. 16, p. 6442-6447, 2013.

ASHRAE STANDARD PROJECT COMMITTEE. Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy. 2004.

BAPTIST. M. Calor e fumaça de queimadas causam danos à saúde da população em Cuiabá. Cuiabá – MT. 2019. Disponível em :<
<https://revistagloborural.globo.com/Noticias/Sustentabilidade/noticia/2019/09/calor-e-fumaca-de-queimadas-causam-danos-saude-da-populacao-em-cuiaba.html>>.

Acessado em 27 de julho de 2020.

BARBOSA, A.S., SCHMITZ, P.I., 2008. OCUPAÇÃO INDÍGENA DO CERRADO: ESBOÇO DE UMA HISTÓRIA. IN: SANO, S.M., ALMEIDA, S. P. DE, RIBEIRO, J.F. (Eds.), Cerrado: ecologia e flora. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica Planaltina, DF: **Embrapa Cerrados**, cap, vol. 2, pp. 47–68.

BARLOW J.; PARRY L.; GARDNER T.A.; FERREIRA J.; ARAGÃO L.E.O.C.; CARMEN TA R. et al. The critical importance of considering fire in REDD+ programs. *Biological Conservation*, v. 154, p. 1- 8,2012.

BARRETO, L. P. G. L.; DA ROSA SALES, D.; BARRETO, W. D. L. Perfil dos incêndios urbanos na região metropolitana de Belém. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 7, p. 53714-53727, 2020.

BATISTA, A. Cbbbbbbb. Detecção de incêndios florestais por satélites. **Floresta**, v. 34, n. 2, 2004.

BIRD, M.; CALI, J. A million-year record of fire in sub-Saharan Africa. *Nature*, v. 394, n. 6695, p. 767-769, 1998.

BLACK, M. V. An exercise in logical analysis. **Philosophy of science**, v. 4, n. 4, p. 427-455, 1937.

BOGDAN, A. V. **Tropical pasture and fodder plants**. Longman., 1977.

BOND, W.J., KEELEY, J.E. Fire as a global ‘herbivore’: the ecology and evolution of flammable ecosystems. *Trends in ecology & evolution*, v. 20, n. 7, p. 387-394, 2005.

BOND, W.J.; WOODWARD, F.I.; MIDGLEY, G.F. The global distribution of ecosystems in a world without fire. **New phytologist**, v. 165, n. 2, p. 525-538, 2005.

BORGES T.S.; FIEDLER N.C.; SANTOS A.R.; LOUREIRO, E.B.; MAFIA, R.G. Desempenho de alguns índices de risco de incêndios em plantios de eucalipto no norte do Espírito Santo. *Floresta e Ambiente*, v. 18, n.2, p.153-159, 2011.

BOWMAN, D.M.J.S et al. Fire in the Earth system. *science*, v. 324, n. 5926, p. 481-484, 2009.

BRADSTOCK, R. A, HAMMIL, K.A; COLLINS, L; PRICE, O. Effects of weather, fuel and terrain on fire severity in topographically diverse landscapes of south-eastern Australia. *Landscape Ecology*, v. 25, n. 4, p. 607-619, 2010.

BRIDGEWATER, P. B. Landscape ecology, geographic information systems and nature conservation. *Landscape ecology and GIS*, p. 23-36, 1993.

BUTLER, B.W.; DICKINSON, M.B. Tree injury and mortality in fires: developing process-based models. *Fire Ecology*, v. 6, n. 1, p. 55-79, 2010.

CAMPAGNOLO, M. L.; LIBONATI, R.; RODRIGUES, J. A.; PEREIRA, J. M. C. A comprehensive characterization of MODIS daily burned area mapping accuracy across fire sizes in tropical savannas. *Remote Sensing of Environment*, v. 252, p. 112115. 2021.

CARAPIÁ, V. R. **Predição do índice de risco de incêndios e modelagem computacional do comportamento do avanço da frente do fogo no Parque Nacional da Floresta da Tijuca**. Rio de Janeiro: UFRJ, 2006. 197p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2006.

CARMO, C. N. D.; HACON, S.; LONGO, K. M.; FREITAS, S.; IGNOTTI, E.; LEON, A. P. D.; ARTAXO, P. Associação entre material particulado de queimadas e doenças respiratórias na região do sul da Amazônia brasileira. *Rev Panam Salud Publica*, v. 27, p. 1, 2010.

CARREGA, P. A meteorological index of forest fire hazard in Mediterranean France. *International Journal of Wildland Fire*, v. 1, n. 2, p. 79-86, 1991.

CARVALHO, I. S. H. **Potencias e limitações do uso sustentável da biodiversidade do Cerrado: um estudo de caso da Cooperativa Grande Sertão no Norte de Minas**.

2007. 165 p. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Sustentável), Universidade de Brasília, Brasília, 2007.

CASTRO-JÚNIOR, P.R.; SALOMÃO, F. X. T.; BORDEST, S. M. L.. Mapeamento geomorfológico da região de Cuiabá. In: **VI Simpósio Nacional de Geomorfologia/Regional Conference on Geomorphology, Goiânia-GO, Anais**. 2006.

CATRY, F.X.; REGO, F.; MOREIRA, F.; FERNANDES, P.M.; PAUSAS, J.G. Post-fire tree mortality in mixed forests of central Portugal. **Forest Ecology and Management**, v. 260, n. 7, p. 1184-1192, 2010.

CECCONELLO, M. S. **Modelagem alternativa para dinâmica populacional: Sistemas dinâmicos Fuzzy**. Dissertação de Mestrado. IMECC- UNICAMP, Campinas. 2006.

CEGATTA, I. **Risco de incêndio pela Fórmula de Monte Alegre**. 2018. Disponível em: <<https://italocegatta.github.io/risco-de-incendio-pela-formula-de-monte-alegre/>>. Acesso em: 9 maio. 2021.

CHENEY, N. P. Predicting fire behavior with fire danger tables. **Australian Forestry**, v. 32, n. 2, p. 71-79, 1968.

CHUVIECO, E. et al. Historical background and current developments for mapping burned area from satellite Earth observation. **Remote Sensing of Environment**, v. 225, p. 45-64, 2019.

CLARET, A. M. Risco de incêndio em sítios históricos. Programa Monumenta (Ministério da Cultura). **Série cadernos técnicos. V. 5**. Brasília. 2006.

COELHO NETTO, A.L.; AVELAR, A.S.; FERNANDES, M.C.; LACERDA, W.A. Landslide susceptibility in a mountainous geoecosystem, Tijuca Massif, Rio de Janeiro: The role of morphometric subdivision of the terrain. **Geomorphology**. Amsterdam, 87(3): 120-131, 2007.

COLLINS, K. M.; PRICE, O. F.; PENMAN, T. D. Suppression resource decisions are the dominant influence on containment of Australian forest and grass fires. **Journal of environmental management**, v. 228, p. 373-382, 2018.

CORRÊA, L. V. **Análise dos Efeitos Térmicos de Superfície na Cidade de Belém–Pará–Brasil Utilizando Imagens de Satélite**. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal do Pará UFPA. 2011. 81p.

CORRÊA, C. **Mapeamento dos incêndios em edificações: o Edifício Modal e suas aplicações, com foco na cidade de Recife**. Universidade federal de Pernambuco. Tese (Doutorado). Centro de tecnologia e geociência. Departamento de engenharia civil e ambiental. Programa de pós-graduação em engenharia civil. 2017. 134p.

CUIABÁ. Perfil Socioeconômico de Cuiabá - Volume V. Disponível em: <<https://www.cuiaba.mt.gov.br/upload/arquivo/Perfil%20Vol.%20V%20-%20VERSao%20OFICIAL.pdf>>. Acessado em 01 de novembro de 2021.

CUIABÁ. Prefeitura Municipal de Cuiabá / Plano Diretor de Desenvolvimento Estratégico de Cuiabá. IPDU - **Instituto de Planejamento e Desenvolvimento Urbano**. Adriana Bussiki Santos (Org.) Cuiabá, MT: Entrelinhas, 2008.

CUIABÁ. Prefeitura Municipal de Cuiabá. Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento Urbano. **Perfil socioeconômico de Cuiabá**. Vol.II - Cuiabá: IPDU/ Instituto de Planejamento e Desenvolvimento Urbano, 2009.

DA SILVA LOTUFO, J. B.; MACHADO, N. G.; DE MELLO TAQUES, L.; DE SOUZA, D. M.; MÜTZENBERG, N. L. N.; BIUDES, M. S Índices Espectrais e Temperatura de Superfície em Áreas Queimadas no Parque Estadual do Araguaia em Mato Grosso. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 13, n. 02, p. 648-663, 2020.

DANTAS, D.L.; PAUSAS, J.G.; BATALHA, M.; LOIOLA, P.; CIANCIARUSO, M., The role of fire in structuring trait variability in Neotropical savannas. **Oecologia**, v. 171, n. 2, p. 487-494, 2013.

DANTAS, M. E. et al. Diagnóstico Geoambiental da Região de Cuiabá/Várzea Grande e Entorno, MT. 2006.

DE MOURA SANTOS, Flávia Maria. Clima urbano de Cuiabá-MT-Brasil: ocupação do solo e suas influências. **Revista Monografias Ambientais**, v. 12, n. 12, p. 2749-2763, 2013.

DE SOUZA, A. P.; CASAVECCHIA, B. H.; STANGERLIN, D. M. Avaliação dos riscos de ocorrência de incêndios florestais nas regiões Norte e Noroeste da Amazônia Matogrossense. **Scientia Plena**, v. 8, n. 5, 2012.

DO BRASIL, CPRM-SERVIÇO GEOLÓGICO. Sistema de informação geoambiental de Cuiabá, Várzea Grande e entorno. 2006.

DUBOIS, Didier J. **Fuzzy sets and systems: theory and applications**. Academic press, 1980.

EUR-Lex. **Action summary INSTRUMENT FOR PRE-ACCESSION ASSISTANCE (IPA II) MULTI-COUNTRY EU support to flood prevention and forest fires risk management in the Western Balkans and Turkey**. 2019. Disponível em: < https://ec.europa.eu/neighbourhood-enlargement/sites/default/files/ipa_ii_2019-near-echo.11_flood_and_forest_fires.pdf >. Acesso em: 8 maio. 2021.

FAO. Food Agriculture Organization. 2007. **Fire management–global assessment 2006**. FAO forestry paper, n. 151.

FERNANDES M.C.; COURA, P.H.F.; SOUSA, G.M.; AVELAR, A.S. Avaliação geoecológica de susceptibilidade à ocorrência de incêndios no estado do Rio de Janeiro, Brasil. **Floresta e Ambiente**.v,18, n.3, p. 299-309, 2011.

FERNANDES, M. C. Discussões conceituais e metodológicas do uso de geoprocessamento em análises geoecológicas. **BICALHO, AMSM, GOMES, PC C.(organizadores). Questões metodológicas e novas temáticas na pesquisa geográfica. Rio de Janeiro: Publit**, p. 280-299, 2009.

FERREIRA, M.E.; FERREIRA, L.G.; MIZIARA, F.; SOARES-FILHO, B.S. 2013. Modeling landscape dynamics in the central Brazilian savanna biome: future scenarios and perspectives for conservation. *J. Land Use Sci.* 8, 403–421.

FERREIRA, T. F.; JAFELICE, R. SM. Sistemas p-Fuzzy modificados para o modelo do controle de pragas. **Revista Biomatemática-IMECC-UNICAMP**, 2012.

FIGUEROA, M. J. M.; MORAES, P. D. Comportamento da madeira a temperaturas elevadas. **Ambiente construído**, v. 9, n. 4, p. 157-174, 2009.

FIRE, C. **Firefighting Aircraft Recognition Guide**. 2019. Disponível em: <www.fire.ca.gov>. Acesso em: 8 maio. 2021.

FLANNIGAN, M.D.; WOTTON, B.M.; MARSHALL, G.A.; DE GROOT, W.J.; JOHNSTON, J.; JURKO, N.; CANTIN, A.S. Fuel moisture sensitivity to temperature and precipitation: climate change implications. **Climatic Change**, v. 134, n. 1-2, p. 59-71, 2016.

FORNACCA, D.; REN, G.; XIAO, W. Evaluating the best spectral indices for the detection of burn scars at several post-fire dates in a mountainous region of Northwest Yunnan, China. **Remote Sensing**, v. 10, n. 8, p. 1196, 2018. DOI:10.3390/rs10081196.

FRANÇA, F. Vochysiaceae in lista de espécies da flora do Brasil. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. 2010.

FRANCO, A.C.; ROSSATTO, D.R.; DE CARVALHO, R. S. L.; DA SILVA FERREIRA, C. Cerrado vegetation and global change: the role of functional types, resource availability and disturbance in regulating plant community responses to rising CO₂ levels and climate warming. **Theoretical and Experimental Plant Physiology**, v. 26, n. 1, p. 19-38, 2014.

FREITAS, F.L.M.; ENGLUND, O.; SPAROVEK, G.; BERNDES, G.; GUIDOTTI, V.; PINTO, L.F.G.; MORTBERG, U. Who owns the Brazilian carbon?. **Global change biology**, v. 24, n. 5, p. 2129-2142, 2018.

FULTZ, L.M.; MOORE-KUCERA, J.; DATHE, J.; DAVINIC, M.; PERRY, G.; WESTER, D.; SCHWILK, D.W.; RIDEOUT-HANZAK, S. Forest wildfire and grassland prescribed fire effects on soil biogeochemical processes and microbial communities: Two case studies in the semi-arid Southwest. **Applied Soil Ecology**, v. 99, p. 118-128, 2016.

GALVÃO, MARÍLIA VELOSO. A Classificação Climática de Gaussen e Bagnouls e sua Aplicação ao Centro Oeste Brasileiro. **Revista Geográfica**, p. 17-22, 1962.

GARCIA, S. M. N. P. **Os planos diretores e o planejamento urbano no aglomerado Cuiaba/Várzea Grande-MT**. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo. 2010.

GARRET, R., LAMBLIN, E.F., NAYLOR, R.L. Land institutions and supply chain configurations as determinants of soybean planted area and yields in Brazil. **Land Use Policy**, v. 31, p. 385-396, 2013.

GIVONI, B. Comfort, climate analysis and building design guidelines. **Energy and buildings**, v. 18, n. 1, p. 11-23, 1992.

GIVONI, B. Man, climate and architecture. **Elsevier**;(), 1969.

GOULART, A. A.; MORELLI, F.; SETZER, A.; FRANÇA, S. **Focos de Queimadas e Incêndios Detectados por Satélites nas Unidades de Conservação do Cerrado no Mato Grosso em 2010**. SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA, v. 14, 2011.

GRUBB, J. A.; NOBLES, M. R. A spatiotemporal analysis of arson. **Journal of Research in Crime and Delinquency**, v. 53, n. 1, p. 66-92, 2016.

GUIMARÃES, P. P.; BOTREL, R. T.; DE SOUSA MEDEIROS, H. L.; DA SILVA COSTA, J. R.; DE SOUZA, M. R. Ocorrências de incêndios urbanos e florestais em Mossoró/RN. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v. 10, n. 6, p. 43-49, 2019.

HANDBOOK, A. Fundamentals et al. American society of heating, refrigerating and air-conditioning engineers. Inc.: **Atlanta, GA, USA**, 2009.

HANTSON, S. et al. The status and challenge of global fire modelling. **Biogeosciences**, v. 13, n. 11, p. 3359-3375, 2016

HANTSON, S.; PUEYO, S.; CHUVIECO, E. Emilio. Global fire size distribution: from power law to log-normal. **International journal of wildland fire**, v. 25, n. 4, p. 403-412, 2016.

HERRANDO, S.; BROTONS, L. Mediterranean areas affected by wildfires: a multi-scale approach. *Ecography* 25 (2), 161–172. 2002

HERRANDO, S.; BROTONS, L.; LLACUNA, S. Does fire increase the spatial heterogeneity of bird communities in Mediterranean landscapes?. **Ibis**, v. 145, n. 2, p. 307-317, 2003.

HEYDARI, M.; ROSTAMI, A.; NAJAFI, F.; DEY, D.C Effect of fire severity on physical and biochemical soil properties in Zagros oak (*Quercus brantii* Lindl.) forests in Iran. **Journal of Forestry Research**, v. 28, n. 1, p. 95-104, 2017.

HOFFMANN, W. A. Post-burn reproduction of woody plants in a neotropical savanna: the relative importance of sexual and vegetative reproduction. **Journal of Applied Ecology**, v. 35, p. 422-433, 1998.

HOFFMANN, W. A.; SCHROEDER, W.; JACKSON, R.B. Positive feedbacks of fire, climate, and vegetation and the conversion of tropical savanna. **Geophysical research letters**, v. 29, n. 22, p. 9-1-9-4, 2002.

IBGE. Base de informações do Censo Demográfico 2010: Resultados do Universo por setor censitário. **Documentação do Arquivo**. Rio de Janeiro, 2011. Disponível em: < https://www.ipea.gov.br/redeipea/images/pdfs/base_de_informacoess_por_setor_censitario_universo_censo_2010.pdf>. Acesso em: 23 de março de 2021.

IBGE. **Censo 2010**. Disponível em: < <http://www.censo2010.ibge.gov.br> >. Acesso em: 9 maio. 2021.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. População das Regiões Metropolitanas, 2015. Disponível em: <http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/agric/default.asp?t=4&z=t&o=11&u1=1&u2=1&u3=1&u4=1&u5=1&u6=1>. Consultado em 02 de julho de 2020.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2017). Brasília.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2019). Brasília.

KLINK, C. A.; MACHADO, R. B. A conservação do Cerrado brasileiro. **MEGADIVERSIDADE**, v. 1, n. 1. 2005.

LACERDA, L. As oportunidades de captação de recursos para os municípios. **Houer – Concessão para serviços**. 11 de junho de 2019. Disponível em: < <https://blog.houer.com.br/captacao-de-recursos-municipios/>>. Acesso em: 23 de março de 2021.

LIMA, M.; DA SILVA, C.A.; RAUSCH, L.; GIBBS, H.K.; JOHANN, J.A. Demystifying sustainable soy in Brazil. **Land Use Policy**, v. 82, p. 349-352, 2019.

LINN R.R., CANFIELD J.M., CUNNINGHAM P., EDMINSTER C., DUPUY J.L., PIMONT F. Using periodic line fires to gain a new perspective on multi-dimensional aspects of forward fire spread. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 157, p. 60-76, 2012.

LINN, R. R.; CANFIELD, J. M.; CUNNINGHAM, P.; EDMINSTER, C.; DUPUY, J. L.; PIMONT, F. Using periodic line fires to gain a new perspective on multi-dimensional aspects of forward fire spread. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 157, p. 60-76, 2012.

LOPES, A.S.; GUILHERME, L.A.G. Soils in the Cerrado – Managing the Fertility for Agricultural Production, second ed. ANDA, São Paulo. 1994.

LOVERIDGE, E. W. A country-wide forest fire weather hazard index. **Journal of Forestry, Bethesda**, v. 33, n. 4, p. 379 - 384, 1935.

MACHADO, N. G.; SILVA, F. C. P.; BIUDES, M. S. Efeito das condições meteorológicas sobre o risco de incêndio e o número de queimadas urbanas e focos de calor em Cuiabá-MT, Brasil. **Ciência e Natura**, v. 36, n. 3, p. 459-469, 2014.

MAFFEI, C.; MENENTI, M. Predicting forest fires burned area and rate of spread from pre-fire multispectral satellite measurements. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, v. 158, p. 263-278, 2019.

MAFFEI, C.; MENENTI, M. Predicting forest fires burned area and rate of spread from pre-fire multispectral satellite measurements. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, v. 158, p. 263-278, 2019.

MAIA, N. B.; MARTOS, H. L.; BARRELLA, W.; BOLLMANN, H. A. **Indicadores ambientais: conceitos e aplicações**. Univ Pontifica Comillas, 2001.

MANAGEMENT TASK FORCE, F. **CALIFORNIA’S WILDFIRE AND FOREST RESILIENCE ACTION PLAN A Comprehensive Strategy of the Governor’s Forest Management Task Force**. 2021. Disponível em: <<https://fmtf.fire.ca.gov/>>. Acesso em: 8 maio. 2021.

MASEK, J. G. et al. LEDAPS Landsat calibration, reflectance, atmospheric correction preprocessing code. **ORNL DAAC**, 2012.

MATO GROSSO. **Emergências ambientais 2017. Informativo nº 21/2017.** Secretaria de estado de segurança pública corpo de bombeiros militar diretoria operacional batalhão de emergências ambientais seção de operações ambientais. 2017. Disponível em: <
http://www.bombeiros.mt.gov.br/arquivos/File/BEA/RELATORIO%20TIF/INFORMATIVO%202021_2017.pdf >. Acesso em: 8 maio. 2021.

MATO GROSSO. **Relatório das ações de 2015. Comitê estadual de gestão do fogo.** *Ações integradas de monitoramento e combate aos incêndios florestais em mato grosso.* Secretaria de estado do meio ambiente. Comitê estadual de gestão do fogo. 2015. Disponível em: <
<http://www.bombeiros.mt.gov.br/arquivos/File/BEA/RELATORIO%20TIF/Relatorio%20TIF%202015.pdf> >. Acesso em: 8 maio. 2021.

MBANZE, A. A.; BATISTA, A. C.; TETTO, A. F.; ROMERO, A. M.; MUDEKWE, J. Desempenho dos índices de Nesterov e Fórmula de Monte Alegre no distrito de Lichinga, Norte de Moçambique. **Ciência Florestal**, v. 27, n. 2, p. 687-696, 2017.

MCARTHUR, A. G. Fire behaviour in eucalypt forests. Leaflet No. 107. **Forest Research Institute**, Forestry and Timber Bureau, Canberra, 1967.

MEDEIROS, M. B. Manejo de Fogo em Unidades de Conservação do Cerrado. **Boletim do Herbário Ezechias Paulo Heringer**, v. 10, p. 75-88, 2002.

MEDEIROS, M. B.; FIEDLER, N. C. Incêndios florestais no Parque Nacional da Serra da Canastra: desafios para a conservação da biodiversidade. **Ciência Florestal**, v. 14, n. 2, p. 157-168, 2004.

MICHALETZ, S.T.; JOHNSON, E.A. How forest fires kill trees: a review of the fundamental biophysical processes. **Scandinavian Journal of Forest Research**, v. 22, n. 6, p. 500-515, 2007.

MIRANDA, H.S.; SATO, M.N.; NETO, W.N.; AIRES, F.S. Fires in the cerrado, the Brazilian savanna. In: **Tropical fire ecology**. Springer, Berlin, Heidelberg, p. 427-450. 2009.

MONTAGNÉ-HUCK, C.; BRUNETTE, M. Economic analysis of natural forest disturbances: A century of research. **Journal of Forest Economics**, v. 32, p. 42-71, 2018.

MONTGOMERY, D. C. **Introdução Ao Controle Estatístico Da Qualidade**. Grupo Gen-LTC, 2000.

MOUILLOT, F.; SCHULTZ, M.G.; YUE, C.; CADULE, P.; TANSEY, K.; CIAIS, P.; CHUVIECO, E. Ten years of global burned area products from spaceborne remote sensing—A review: Analysis of user needs and recommendations for future developments. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v. 26, p. 64-79, 2014.

MYERS, N.; MITTERMEIER, R.A.; MITTERMEIER, C.G.; FONSECA, G.A.B.; KENT, J. Biodiversity hotspots for conservation priorities. **Nature**, v. 403, n. 6772, p. 853-858, 2000.

NATURAL RESOURCES CANADA. **Canadian Wildland Fire Information System | Canadian Forest Fire Weather Index (FWI) System**. 2020. Disponível em: <<https://cwfis.cfs.nrcan.gc.ca/background/summary/fwi>>. Acesso em: 9 maio. 2021.

NETO, A. D. P. M.; BATISTA, A. C.; SOARES, R. V.; BIONDI, D.; DE MORAIS, R. L. Avaliação dos focos de calor e da fórmula de Monte Alegre no parque Nacional da Chapada dos Guimarães. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 37, n. 92, p. 535-543, 2017.

NOVAIS, J. W. Z.; ANDRADE, L. P.; SIQUEIRA, A. Y.; MUSIS, C. R.; SANCHES, L.; PEREIRA, O. A.; PIERANGELI, M. A. P. Avaliação do método de Lambert-Beer para estimativas de índice de área foliar no cerrado Mato-Grossense. *Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais*, v.9, n.2, p.19-30, 2018. DOI: <http://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2018.002.0003>

NUNES, J. R. S.; SOARES, R. V.; BATISTA, A. C. *FMA+*-Um novo índice de perigo de incêndios florestais para o estado do Paraná, Brasil. **Floresta**, v. 36, n. 1, 2006.

NUNES, J. R. S.; SOARES, R.V. e BATISTA, A.C. Estimativa da umidade relativa das 13:00 h, com base nos dados das 9:00 h e das 15:00 h, para o Estado do Paraná. Curitiba: **Floresta**, v.35 n.2, p.247-258. 2005.

O'HAGAN, M. A Fuzzy decision maker. **Proc. Fuzzy Logic**, v. 93, 1993.

OLIVEIRA, A. S. Influência da vegetação arbórea no microclima e uso de praças públicas. Cuiabá. 146f. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-graduação em Física Ambiental, Universidade Federal de Mato Grosso, 2011.

OLIVEIRA, D.S. **Zoneamento de risco de incêndios em povoados florestais no norte de Santa Catarina**. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais), Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 113p. 2002.

OLIVEIRA, M. G. A. **Propagação do Fogo e Dinâmicas Florestais**. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. 2005. 101f. Dissertação de mestrado. Departamento de Engenharia Civil - Faculdade de Engenharia. Universidade do Porto.

OLIVEIRA, N. B.; DE OLIVEIRA, J. F. V.; DOS SANTOS, P. L. F.; GAZOLA, R. P. D.; DE CASTILHO, R. M. M. Avaliação do estado nutricional de três gramados ornamentais em Ilha Solteira-SP: um estudo de caso. **Revista LABVERDE**, v. 9, n. 1, p. 96-119, 2018.

PARENTE, L.; MESQUITA, V.; MIZIARA, F.; BAUMANN, L.; FERREIRA, L. Assessing the pasturelands and livestock dynamics in Brazil, from 1985 to 2017: A novel approach based on high spatial resolution imagery and Google Earth Engine cloud computing. **Remote Sensing of Environment**, v. 232, p. 111301, 2019

PAULA M. N, A.; CARLOS B. A.; VIANA SOARES, R.; BIONDI, D.; LOPES M. R. Avaliação dos focos de calor e da fórmula de Monte Alegre no parque Nacional da Chapada dos Guimarães. **Brazilian Journal of Forest Research/Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 37, n. 92, 2017.

PAUSAS, J.G.; RIBEIRO, E. The global fire-productivity relationship. **Global Ecology and Biogeography**, v. 22, n. 6, p. 728-736, 2013.

PELLEGRINI, A.F.A.; AHLSTRÖM, A.; HOBBIE, S.E.; REICH, P.B.; NIERADZIK, P.; STAYER, A.C.; SCHARENBRUCH, B.C.; JUMPPONEN, A.; ANDEREGG, W.R.L.; RANDERSON, J.T.; JACKSON, R.B. Fire frequency drives decadal changes in soil carbon and nitrogen and ecosystem productivity. **Nature**, v. 553, n. 7687, p. 194-198, 2018.

PEREIRA, A. R., ANGELOCCI, L.R., SENTELHAS, P.C. **Agrometeorologia: fundamentos e aplicações práticas**. Guaíba: Livraria e Editora Agropecuária, 2002.

PEREIRA, A.; GAMA, V. Anthropization on the Cerrado biome in the Brazilian Uruçuí-Una Ecological Station estimated from orbital images. **Brazilian Journal of Biology**, v. 70, n. 4, p. 969-976, 2010.

PÉREZ, V. Q.; CONSTANZO, M. M. Antecedentes sobre los impactos ecológicos de los fuegos y de otros factores antropicos en los bosques de Jubaea chilensis (Moll) Baillon: caso de estudio: microcuencas periurbanas de las ciudades de Valparaíso y Viña del Mar, Chile. **Territorium**, n. 25, p. 75-88, 2018.

PEZZOPANE, J. E. M.; OLIVIERA NETO, S. N.; VILELA, M. F. Risco de incêndios em função de característica do clima, relevo e cobertura do solo. **Floresta e Ambiente**, Rio de Janeiro, v. 8, n. 1, p. 161-6, 2001

PHILIPP, M. P. **Análise do perigo de incêndio em municípios do estado de Mato Grosso por meio da Fórmula de Monte Alegre**. 2007. Dissertação de Mestrado, Cuiabá: Instituto de Física/Universidade Federal de Mato Grosso.

PIVELLO, V. R. The use of fire in the Cerrado and Amazonian rainforests of Brazil: past and present. **Fire ecology**, v. 7, n. 1, p. 24-39, 2011.

PODSCHWIT, H.R.; LARKIN, N.K.; STEEL, E.A.; CULLEN, A.; ALVARADO, E. Multi-model forecasts of very-large fire occurrences during the end of the 21st century. **Climate**, v. 6, n. 4, p. 100, 2018.

PRATA, Gabriel Atticciati. **Mapeamento da probabilidade de incêndio e de cicatrizes de dano como suporte ao manejo florestal**. 2019. Tese (Doutorado em Recursos Florestais) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade

de São Paulo, Piracicaba, 2019. doi:10.11606/T.11.2019.tde-02092019-110153. Acesso em: 2021-06-16.

PRICE, O.; BRADSTOCK, R. Countervailing effects of urbanization and vegetation extent on fire frequency on the Wildland Urban Interface: Disentangling fuel and ignition effects. **Landscape and Urban Planning**, v. 130, p. 81-88, 2014.

PRIMO, V., COELHO, A. L., RODRIGUES, J. P. C. ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS INCÊNDIOS EM EDIFÍCIOS NO PORTO, 1996-2006. IN: 1º Fórum Internacional de Gestão da Construção – GESCON 2008: Gestão do processo do empreendimento de construção. Editadas pela secção de construções civis. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. P.268-278. 2008.

RIBEIRO, G. A.; BONFIM, V. R. Incêndio florestal versus queima controlada. **Revista Ação Ambiental**, v. 12, p. 8-11, 2000.

RIBEIRO, J.R.F.; WALTER, B.M. Fitofisionomias do bioma Cerrado. Embrapa Cerrados-Capítulo em livro científico (ALICE), 1998.

RIBEIRO, L.; KOPROSKI, L. P.; STOLLE, L.; LINGNAU, C.; SOARES, R. V.; BATISTA, A. C. Zoneamento de riscos de incêndios florestais para a Fazenda Experimental do Canguiri, Pinhais (PR). **Floresta**, v. 38, n. 3, 2008.

RIBEIRO, L.; SOARES, R. V.; BATISTA, A. C.; SILVA, I. C. Análise do perigo de incêndios florestais em um município da Amazônia mato-grossense, Brasil. **Floresta**, Curitiba, v. 41, n. 2, p. 257 - 70, 2011.

ROCHA, AD da. **Espectro cruzado e coerência wavelet: um estudo de variáveis micrometeorológicas em frações urbanas na cidade de Cuiabá, MT. 2018. 142 f.** 2018. Tese de Doutorado. Tese (Doutorado em Física Ambiental)-Instituto de Física, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá.

ROSS, T.J.; **Fuzzy logic with engineering applications**. New Mexico, 2014.

ROSS, Timothy J. **Fuzzy logic with engineering applications**. New York: Wiley, 2004.

ROSSA, C. G.; FERNANDES, P. M. On the effect of live fuel moisture content on fire-spread rate. **Forest systems**, v. 26, n. 3, p. 12, 2017.

ROSSA, C. G.; VELOSO, R.; FERNANDES, P. M. A laboratory-based quantification of the effect of live fuel moisture content on fire spread rate. **International Journal of Wildland Fire**, v. 25, n. 5, p. 569-573, 2016.

ROUSE, J.W.; HAAS, R.H.; SCHELL J. A.; DEERING, D.W. Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS. In: EARTH RESOURCES TECHNOLOGY SATELLITE-1 SYMPOSIUM, 3., Washington, D.C., 1973. **Proceedings**. Washington, D.C.: NASA. Goddard Space Flight Center, 1974. v.1, p.309-317. (NASA SP-351).

RUFFAULT, J., MARTIN-STPAUL, N., PIMONT, F., & DUPUY, J. L. How well do meteorological drought indices predict live fuel moisture content (LFMC)? An assessment for wildfire research and operations in Mediterranean ecosystems. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 262, p. 391-401, 2018.

RUPP, R. F.; GHISI, E. Avaliação de modelos preditivos de conforto térmico em escritórios no clima subtropical brasileiro. **Ambiente Construído**, v. 19, n. 2, p. 91-107, 2019.

SAMBUICHI, R. H. R. **Efeitos de longo prazo do fogo periódico sobre a fitossociologia da camada lenhosa de um cerrado em Brasília, DF**. Brasília: UnB, 1991. Dissertação (Mestrado em Ecologia) – Universidade de Brasília, 1991.

SAMPAIO, O. B. Análise da eficiência de quatro índices, na previsão de incêndios florestais para a região de Agudos-SP. 1999.

SANGALLI, A.; VIEIRA, M. C.; HEREDIA, N. A. Z. **Levantamento e caracterização de plantas nativas com propriedades medicinais em fragmentos florestais e de cerrado de Dourados-MS, numa visão etnobotânica**. In: I Latin-American Symposium on the Production of Medicinal, Aromatic and Condiments Plants 569. 2000. p. 173-184.

SANO, E.E.; ROSA, R.; BRITO, J.L.S.; FERREIRA, L.G. S. Mapeamento de cobertura vegetal do bioma Cerrado: estratégias e resultados. Embrapa Cerrados- Documentos (**INFOTECA-E**), 2007.

SANTOS, J. F. **Estatísticas de incêndios florestais em áreas protegidas no período de 1998 a 2002**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2004.

SANTOS, J. F.; SOARES, R. V.; BATISTA, A. C. Perfil dos incêndios florestais no Brasil em áreas protegidas no período de 1998 a 2002. **Floresta**, v.36, n.1, 2006.

SATO, M. N. e MIRANDA, H. S. Mortalidade de plantas lenhosas do cerrado *sensu stricto* submetidas a diferentes regimes de queima. In: Miranda, H. S.; Saito, C. H. & Dias, B. F. S. (orgs.). **Impactos de Queimadas em Áreas de Cerrado e Restinga**. Dep. Ecologia. Brasília: Universidade de Brasília, 1996.

SEIDEMANN, J. **World spice plants: economic usage, botany, taxonomy**. Springer Science & Business Media, 2005.

SEIDL, R. et al. Forest disturbances under climate change. **Nature climate change**, v. 7, n. 6, p. 395-402, 2017.

SHAW, I. S.; SIMÕES, M. G. Controle e modelagem Fuzzy. São Paulo: Edgard Blücher, 1999.

SHAW, I. S.; SIMÕES, M. G. Controle e Modelagem Fuzzy. 165 p. **Editora Edgard Blücher, São Paulo**, 1999.

SILVA, C. J. D.; LOBO, F. D. A.; BLEICH, M. E.; SANCHES, L. Contribuição de folhas na formação da serrapilheira e no retorno de nutrientes em floresta de transição no norte de Mato Grosso. **Acta amazônica**, v. 39, n. 3, p. 591-600, 2009.

SILVA, E. P. R. **Efeito do regime de queima na taxa de mortalidade e estrutura da vegetação lenhosa de campo sujo de cerrado**. Brasília: UnB, 1999. Dissertação (Mestrado em Ecologia). Universidade de Brasília, 1999.

SILVA, G. A. **Gerenciamento de riscos de incêndios ativados por eletricidade em sítios históricos: estudo de caso em Ouro Preto - MG.** Dissertação. Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Minas. Nugeo. 2011. 105p.

SILVA, J. C.; FIEDLER, N. C.; SILVA, G. F. Uso da Fórmula de Monte Alegre na determinação dos períodos críticos de ocorrência de incêndios florestais nas áreas de proteção ambiental do Gama Cabeça-de-Veados, Brasília, DF. **Brasil Florestal**, Brasília, v. 20, n. 1, p. 29 - 36, 2001.

SILVA, J. D. L.; RIBEIRO, K. G.; HERCULANO, B. N.; PEREIRA, O. G.; PEREIRA, R. C.; SOARES, L. F. P. Massa de forragem e características estruturais e bromatológicas de cultivares de *Brachiaria* e *Panicum*. **Ciência Animal Brasileira**, v. 17, n. 3, p. 342-348, 2016.

SILVA, S. S.; FEARNside, P. M.; ALENCASTRO G, P. M. L.; BROWN, I. F.; ALENCAR, A.; MELO, A. W. F. Dynamics of forest fires in the southwestern Amazon. **Forest ecology and management**, v. 424, p. 312-322, 2018.

SILVEIRA, A.; VENTURA, R. M. G.; LIMA, E. B. N. R. **Análise dos aspectos fisiográficos, socioeconômicos, de saneamento e de uso e ocupação do solo utilizando uma bacia hidrográfica urbana como unidade territorial: estudo de caso da bacia do córrego barbado (Cuiabá-MT).** Revista de Engenharia e Tecnologia, v. 5, p. 154-166, 2013.

SIMÕES, M. G.; SHAW, I. S. **Controle e modelagem Fuzzy.** Editora Blucher, 2007.

SOARES, R. V. **Determinação de um índice de perigo de incêndio para a região centro paranaense, Brasil.** 72 p. Dissertação (Mestrado) - Instituto Interamericano de Ciências Agrícolas da OEA, Turrialba, Costa Rica, 1972.

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

SOARES, R. V.; BATISTA, A. C.; SOUZA, L. J. B. Fuel loading in *Eucalyptus dunni* and *Pinus taeda* plantations in southern Brazil. In: **IV International Conference on Forest Fire Research.** Millpress Science Publishers, 2002.

SOARES-FILHO, B.; RAJÃO, R.; MACEDO, M.; CARNEIRO, A.; COSTA, W.; COE, M.; RODRIGUES, H.; ALENCAR, A. Cracking Brazil's forest code. **Science**, v. 344, p. 363-64, 2014.

SORIANO, B. M. A.; DANIEL, O.; SANTOS, S. A. Efficiency of fire risk indices for Pantanal Sul-Mato-Grossense. **Ciência Florestal**, v. 25, n. 4, p. 809-816, 2015.

SORIANO, B. M. A.; DANIEL, O.; SANTOS, S. A. Eficiência de índices de risco de incêndios para o Pantanal Sul-mato-grossense. **Ciência Florestal**, v. 25, n. 4, p. 809-816, 2015.

SOUZA, A. P.; CASAVECCHIA, B. H.; STANGERLIN, D. M. Avaliação dos riscos de ocorrência de incêndios florestais nas regiões Norte e Noroeste da Amazônia Matogrossense. **Scientia Plena**, v. 8, n. 5, 2012.

SOUZA, B. M. **Avaliação de índices de perigo de incêndios florestais em Canaã dos Carajás – PA**. 2018. 119p. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais e Desenvolvimento Sustentável) – Instituto Tecnológico Vale Desenvolvimento Sustentável, Instituto Tecnológico Vale, Belém, 2018.

SOUZA, M. H. A. O. e SOARES, J. J. Brotamento de espécies arbustivas e arbóreas, posteriormente a uma queimada, num cerradão. In: Seminário Regional de Ecologia. **Anais...**, v. III, p. 263-275, São Carlos, 1983.

SOUZA, V. C.; FLORES, T. B.; DALLA COLLETTA, G.; COELHO, R. L. G. **Guia das plantas do Cerrado**. Taxon Brasil, Editora e Livraria, 2018.

SOVEREL, N.O.; PERRAKIS, D.D.B.; COOPS, N.C. Estimating burn severity from Landsat dNBR and RdNBR indices across western Canada. **Remote Sensing of Environment**, v. 114, n. 9, p. 1896-1909, 2010.

STRASSBURG, B.B.; BROOKS, T.; FELTRAN-BARBIERI, R.; IRIBARREM, A.; CROUZEILLES, R.; LOYOLA, R.; LATAWIEC, A.E.; OLIVEIRA FILHO, B.F.; SCARAMUZZA, C.M.; SCARANO, F.R.; SOARESFILHO, B.; BALMFORD, A. Moment of truth for the Cerrado hotspot. **Nature Ecology & Evolution**, v. 1, n. 4, p. 1-3, 2017.

SYPHARD, A.D.; SHEEHAN, T.; RUSTIGIAN-ROMSOS, H.; FERSCHWEILER, K. Mapping future fire probability under climate change: does vegetation matter?. **PLoS One**, v. 13, n. 8, p. e0201680, 2018.

TABOADA, A.; TÁRREGA, R.; MARCOS, E.; VALBUENA, L.; SUÁREZ-SEOANE, S., CALVO, L. Fire recurrence and emergency post-fire management influence seedling recruitment and growth by altering plant interactions in fire-prone ecosystems. **Forest Ecology and Management**, v. 402, p. 63-75, 2017.

TEODORO, A. C.; DUARTE, L. Forest fire risk maps: a GIS open source application—a case study in Norwest of Portugal. **International Journal of Geographical Information Science**, v. 27, n. 4, p. 699-720, 2013.

TETTO, A.F.; BATISTA, A. C.; SOARES, R. V. Ocorrência de incêndios florestais no estado do Paraná, no período de 2005 a 2010. **Floresta**. v. 42, n. 2, p. 391- 398, 2012.

THORNTHWAITE, CW MATHER; MATHER, J. JR The water balance. **Centerton, NJ: Drexel**, 1955.

TORRES, F. T. P.; RIBEIRO, G. A.; MARTINS, S. V.; LIMA, G. S. Correlações entre os elementos meteorológicos e as ocorrências de incêndios florestais na área urbana de Juiz de Fora, MG. **Revista Árvore**, v. 35, n. 1, p. 143-150, 2011.

TORRES, F. T. P.; SILVA JÚNIOR, Milton R.L, Gumerindo Souza. Influência dos Elementos Meteorológicos Sobre o Comportamento do Fogo. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 34, n. 1, p. 33-41, 2019.

TORRES, F.A. P.; RIBEIRO, G.A. Índices de risco de incêndios florestais em Juiz de Fora/MG. **Floresta e Ambiente**.v.15, n.2, p.24-34., 2008.

TORRES, F.T.P.; ROQUE, M.P.B.; LIMA, G.S.; MARTINS, S.V.; FARIA, A.L.L. Mapeamento do Risco de Incêndios Florestais Utilizando Técnicas de Geoprocessamento. **Floresta e Ambiente**, v.24, p.1-7, 2017.

TRINDADE, J. P. P.; FACIONI, G.; BORBA, MFS. **Espécies vegetais de ocorrência em pastagens naturais dos assentamentos da reforma agrária na região de Bagé, RS**. Embrapa Pecuária Sul-Documents (INFOTECA-E), 2007.

USTIN, S.L.; RIAÑO, D.; KOLTUNOV, A.; ROBERTS, D.A.; Dennison, P.E. Mapping fire risk in Mediterranean ecosystems of California: vegetation type, density, invasive species, and fire frequency. In: **Earth Observation of Wildland Fires in Mediterranean Ecosystems**. Springer, Berlin, Heidelberg, 2009. p. 41-53.

VALENTINI, C. M. A.; SOARES, G. S.; SANTANA, R. A.; GUIMARÃES, A. F. S.; SILVA, A. H. B. Produção, acúmulo e decomposição de serapilheira em uma área revegetada do Parque Estadual Massairo Okamura em Mato Grosso. **Revista Holos**, Ano 30, v.5, p. 211-221, 2014

VALENTINI, C. M. A.; SANCHES, L.; PINTO-JUNIOR, L. O. B.; FARIA, R. A. P. G. Produção de serrapilheira em biomas no estado de mato grosso. 2018. Disponível em :< https://chuva-inc.github.io/galoa-static-files/doi/tantatinta/10_producao_de_serrapilheria.pdf>. Acessado em 27 de julho de 2020.

VALOR, T.; OLABARRIA, J.; PIQUE, M.; CASALS, P. The effects of burning season and severity on the mortality over time of *Pinus nigra* spp. *salzmannii* (Dunal) Franco and *P. sylvestris* L. **Forest Ecology and Management**, v. 406, p. 172-183, 2017.

VAN WAGNER, C. E. **Structure of the Canadian forest fire weather index**. Ontario: Environment Canada, Forestry Service, 1974.

VAN WAGNER, C. E.; FOREST, P. Development and structure of the canadian forest fireweather index system. In: **Can. For. Serv., Forestry Tech. Rep.** 1987.

VASCONCELOS, L. G. T. R. **Biomassa, estoques de nutrientes e matéria orgânica leve do solo de vegetação de pousio sob diferentes manejos em sistema de corte-e-trituração na Amazônia Oriental**. 2011. Tese de Doutorado. UFRA/EMBRAPA.

VOLPATO, M. M. L. **Imagens AVHRR-NOAA para determinação do potencial de incêndios em pastagens**. 97p. (Tese de Doutorado). Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas. 2002

WASILEWSKI, T. Nota prévia sobre os incêndios em plantações de *Araucaria angustifolia* na fazenda Monte Alegre. In: SIMPÓSIO DE REFLORESTAMENTO

DA REGIÃO DA ARAUCÁRIA, 1., Curitiba, 1963. Anais... Curitiba: FIEP, 1965. p. 75-77.

WATSON, D. LABS, K. **Climatic design: energy-efficient building principles and practices**, 1983.

WEBER, A. A.; WOLLMANN, C. A. Mapeamento dos incêndios residências na área urbana de Santa Maria, RS, Brasil utilizando o estimador de densidade Kernel. **Investigaciones Geográficas**, n. 51, p. ág. 49-60, 2016.

WEILER, A.; GROSSNIKLAUS, M.; SCHOLL, M. H. Situation monitoring of urban areas using social media data streams. **Information Systems**, v. 57, p. 129-141, 2016.

WHITE, B. L. A. Modelos matemáticos de previsão do teor de umidade dos materiais combustíveis florestais finos e mortos. **Ciência Florestal**, v. 28, n. 1, p. 432-445, 2018.

WHITE, B. L. A. Mathematical models for estimate the fine and dead fuel moisture content. **Ciência Florestal**, v. 28, n. 1, p. 432-445, 2018.

WILLIAMS, A.P.; ABATZOGLOU, J.T. Recent advances and remaining uncertainties in resolving past and future climate effects on global fire activity. **Current Climate Change Reports**, v. 2, n. 1, p. 1-14, 2016.

WILLIAMS, G. W. **The USDA Forest Service: the first century**. USDA Forest Service, 2000.

WILLIAMS, Gerald W. **The Forest Service: Fighting for Public Lands**. Greenwood Publishing Group, 2007.

WOLFFENBÜTTEL, A. O que é? - Índice de Gini. IPEA. Desafios do desenvolvimento. Ano 1. Edição 4 – 1 de janeiro de 2004. Disponível em: < https://www.ipea.gov.br/desafios/index.php?option=com_content&id=2048:catid=28 >. Acesso em: 23 de março de 2021.

WRIGHT, J. G. Forest-fire hazard tables for mixed red and white pineforests. **Can. Dep. Interior, Forest Service., Forest-Fire Haz. Pap**, n. 3, 1933.

YOSHII, K.; DE CAMARGO, A. J. A.; ORIOLI, A. L. Monitoramento ambiental nos projetos agrícolas do Prodec. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2000., 2000.

ZADEH, L. A. Information and control. **Fuzzy sets**, v. 8, n. 3, p. 338-353, 1965.

ZADEH, L. A. Fuzzy logic. **Computer**, v. 21, n. 4, p. 83-93, 1988.

ZADEH, L. A.; KLIR, G. J.; YUAN, B. **Fuzzy sets, Fuzzy logic, and Fuzzy systems: selected papers**. World Scientific, 1996.

ZADEH, L. A. Fuzzy logic. **Scholarpedia**, v. 3, n. 3, p. 1766, 2008.