



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO – UFMA
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E AMBIENTAIS – CCAA
CURSO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA**



CARLOS AUGUSTO ALVES CARDOSO SILVA

**MONITORAMENTO DE INCÊNDIOS FLORESTAIS NO MARANHÃO,
BRASIL, ATRAVÉS DE DIFERENTES ÍNDICES DE RISCO**

**Chapadinha – MA
2019**

CARLOS AUGUSTO ALVES CARDOSO SILVA

**MONITORAMENTO DE INCÊNDIOS FLORESTAIS NO MARANHÃO,
BRASIL, ATRAVÉS DE DIFERENTES ÍNDICES DE RISCO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à coordenação de Engenharia Agrícola da Universidade Federal do Maranhão, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Agrícola.

Orientadora: Kamilla Andrade de Oliveira
Coorientador: Washington da Silva Sousa

Chapadinha – MA

2019

CARLOS AUGUSTO ALVES CARDOSO SILVA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à coordenação de Engenharia Agrícola da Universidade Federal do Maranhão, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Agrícola.

TCC defendido e aprovado, em _____ de _____ de 2019, pela comissão examinadora constituída pelos professores:

Prof. Dra. Kamilla Andrade de Oliveira

Orientadora

Prof. Dr. Washington da Silva Sousa

Examinador

Prof. Dr. Edmilson Igor Almeida Bernardo

Examinador

Ficha gerada por meio do SIGAA/Biblioteca com dados fornecidos pelo(a) autor(a).
Núcleo Integrado de Bibliotecas/UFMA

Silva, Carlos Augusto Alves Cardoso.

MONITORAMENTO DE INCÊNDIOS FLORESTAIS NO
MARANHÃO, BRASIL, ATRAVÉS DE DIFERENTES ÍNDICES DE RISCO
/ Carlos

Augusto Alves Cardoso Silva. - 2019.

44 f.

Orientador(a): Kamilla Andrade de Oliveira; Washington da Silva Sousa.

Curso de Engenharia Agrícola, Universidade Federal do Maranhão,
Chapadinha, 2019.

1. Desmatamento. 2. Focos. 3. Queimadas.

I. Washington da Silva Sousa, Kamilla Andrade de Oliveira.

II. Título.

À minha mãe Marly Alves Cardoso Silva, símbolo de amor e segurança.
Meu pai Francimar Costa Silva, símbolo de proteção e confiança.
Meus irmãos, Darly Cardoso Silva, Mary Mayane Cardoso Silva e Markes
Marrone Alves Cardoso Silva.
À Maria Patrícia Pereira Castro, símbolo de companheirismo.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

À Deus, simplesmente por tudo que fez e está fazendo em minha vida. Obrigado, Senhor!

À minha família, em especial a minha mãe Marly Alves Cardoso Silva, meu pai Francimar da Costa Silva, minhas irmãs Darly Cardoso Silva e Mayane Cardoso Silva, meu irmão Markes Marrone Alves Cardoso Silva. Obrigado família pela confiança, força, incentivos, amor, carinho, ensinamentos, etc.

À minha namorada Maria Patrícia Pereira Castro pelas diversas palavras de incentivos e por ter acompanhado de perto a minha jornada na graduação, sempre ajudando no que pôde e muitas vezes além do que podia e que eu merecia.

A minha orientadora professora Kamilla Andrade de Oliveira pela confiança, ensinamentos, conselhos, paciência e amizade. Obrigado, professora!

Aos professores Edmilson Igor Almeida Bernardo pelos ensinamentos, em especial ao coordenador do curso de engenharia agrícola e professor Washington da Silva Sousa, por ser essa pessoa incrível e sempre se dedicou ao máximo pelo melhor do curso.

À todos os meus amigos de turma e da universidade, em especial ao Eduardo Arouche da Silva, Ana Karla da Silva Oliveira e Max Willian Almeida da Silva pela amizade e força durante toda graduação.

Ao CNPq, pela concessão da bolsa de estudos.

À Universidade Federal do Maranhão pela oportunidade de realizar o curso, e a todos os professores do Centro de Ciências Agrárias e Ambientais pelos conhecimentos repassados.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	viii
LISTA DE TABELAS	ix
LISTA DE QUADROS	x
LISTA DE EQUAÇÕES	xi
LISTA DE SIGLAS	xii
RESUMO	13
1. INTRODUÇÃO	14
2. OBJETIVOS.....	16
2.1 Objetivo Geral.....	16
2.2 Objetivo Específico.....	16
3. REVISÃO DE LITERATURA	16
3.1 Incêndios florestais	16
3.2 Condições Meteorológicas.....	17
3.3 Índices de riscos de incêndios.....	18
4. MATERIAIS E MÉTODOS	20
4.1 Caracterização da área de estudo	20
4.2 Levantamento dos dados para o cálculo dos índices	20
4.3 Índices de riscos.....	21
4.4 Método de interpolação	23
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	24
6. CONCLUSÃO	35
7. REFERÊNCIA	36
ANEXOS.....	40

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.** Distribuição do número de dias nas classes de perigo de incêndio Nulo, Pequeno, Médio, Alto e Muito Alta de acordo com os cálculos do índice FMA, no período de 2010 a 2018..... 25
- Figura 2.** Distribuição do número de dias nas classes de perigo de incêndio nenhum risco, risco fraco, risco médio, grande perigo e perigosíssimo de acordo com os cálculos do índice Nesterov, no período de 2010 a 2018..... 26
- Figura 3.** Distribuição do número de dias nas classes de perigo de incêndio nenhum, pequeno, médio e alto de acordo com os cálculos do índice Telicyn no período de 2010 a 2018..... 27
- Figura 4.** Distribuição dos percentuais de risco de incêndio (grau de risco médio, alto, muito alto), por mês para os índices de FMA, Nesterov e Telicyn, para o período de 2000 a 2015..... 28
- Figura 5.** Número de dias com incêndios observados por municípios no período de 2010 a 2018..... 30
- Figura 6.** Mapas de precipitação mensal e anual do estado do Maranhão, no período de 1980 a 2018..... 31
- Figura 7.** Mapas de precipitação mensal e anual do estado do Maranhão, no período de 1980 a 2018..... 33
- Figura 8.** Mapas da umidade relativa do ar mensal e anual do estado do Maranhão, no período de 1980 a 2018..... 34

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Estações meteorológicas convencionais localizadas no Estado Maranhão. ...	20
Tabela 2. Grau de perigo de incêndios identificado de acordo com os índices.....	22
Tabela 3. Tabela de contingência para análise dos índices de fogos.....	23
Tabela 4. Método de análise da tabela de contingência.	23
Tabela 5. Desempenho do Skill Score (SS) e Porcentagem de Sucesso (PS) dos índices FMA, Nesterov, Telicyn e Angstron no período de 2010 a 2018.....	29

LISTA DE QUADROS

Quadro 1. Índices de determinação de perigo de incêndios.	19
---	----

LISTA DE EQUAÇÕES

EQUAÇÃO 1. Índice de Angstron	21
EQUAÇÃO 2. Índice de Telicyn	22
EQUAÇÃO 3. Índice de Nesterov	22
EQUAÇÃO 4. Déficit de saturação do ar	22
EQUAÇÃO 5. Fórmula de Monte Alegre	22
EQUAÇÃO 6. Interpolação de Pontos pela Ponderação do Inverso da Distância	24
EQUAÇÃO 7. Determinação do peso	24
EQUAÇÃO 8. Ponderação e soma dos pesos	24

LISTA DE SIGLAS

FMA – Fórmula de Monte Alegre

IBAMA - Instituto Brasileiro do Meio Ambiente

IDW - Inverse Distance Weighting

INMET - Instituto Nacional de Meteorologia

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

PS - Percentagem de Sucesso

SEMA - Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Recursos Naturais

SS - Skill Score

UR – Umidade Relativa do Ar

URSS - União da República Socialista Soviética

RESUMO

Os índices de risco de incêndio consistem numa alternativa para estimar a probabilidade de um fogo ocorrer e se propagar quando existe uma fonte de combustível. Comprovadamente eficiente e estudado em diferentes estados brasileiros, as aferições no Maranhão são escassas. Embora este estado seja o oitavo maior território brasileiro, apresenta três biomas e tenha ganhado importância no cenário agropecuário brasileiro. Nesse sentido, objetivou-se testar a eficiência dos índices Angstron, Telicyn, Nesterov e Monte Alegre para quantificação do número de dias com risco de incêndio em diferentes municípios do Maranhão, entre os anos de 2010 e 2018. Para isso, coletaram-se dados meteorológicos diários (precipitação, temperatura e umidade relativa), em 12 estações meteorológicas convencionais do Maranhão, no período compreendido de 01 de janeiro de 2010 a 31 de dezembro de 2018. O desempenho dos índices foi analisado pelo método de *Skill Score* (SS) e a análise da Percentagem de Sucesso (PS). Ao término do estudo, constatou-se que o índice Telicyn é o mais eficiente na detecção de queimadas. Portanto, pode ser indicado para estudos, controle e monitoramento de incêndios no Maranhão. Recomenda-se o aprimoramento nas estratégias de combate e fiscalização de incêndios no Maranhão, pois os índices são alarmantes, especialmente no trimestre de julho, agosto e setembro; e nos municípios de Chapadinha, Caxias, Balsas e Alto Parnaíba, que apresentam os maiores focos de incêndios.

Palavras-chave: Queimadas; Desmatamento; Focos.

1. INTRODUÇÃO

Quando o fogo queima uma determinada vegetação, essa ação pode ser classificada como incêndio florestal ou queimada controlada. Caso essa ação esteja sendo utilizado como forma de manejo em atividades agropastoris ou florestais, com objetivos definidos e área delimitada, é chamado de queimada controlada. Quando o fogo está descontrolado, consumindo toda ou parte de qualquer tipo de vegetação, é classificado como incêndio florestal (RIBEIRO; BONFIM, 2000; SOARES; BATISTA, 2007).

Tanto as queimadas controladas quanto os incêndios florestais são uma das maiores ameaças à preservação da biodiversidade do planeta. Além dos seus impactos diretos sobre a fauna e a flora, contribuem indiretamente com a degradação ambiental, deixando o solo mais susceptível a processos erosivos e liberando na atmosfera grande quantidade de gases responsáveis pelo efeito estufa (SOARES; BATISTA, 2007; WHITE et al., 2013). A ocorrência e a propagação dos incêndios florestais estão fortemente associadas às condições climáticas. A intensidade de um incêndio e a velocidade com que ele se propaga estão diretamente ligadas à umidade relativa, à temperatura e à velocidade do vento (NUNES et al., 2006).

No Brasil, anualmente com exceção das florestas plantadas por algumas empresas particulares, todos os demais tipos de vegetação estão desprotegidos das catástrofes provocadas pelo fogo (SAMPAIO, 1991). Todos os anos ocorrem mais de 300 mil focos de incêndio em áreas brasileiras. Na sua maioria, origina-se da prática agrícola para controle de fitossanitário, limpeza de áreas para plantio, rebrota de pastagens e colheita de cana de açúcar (IBAMA, 2019).

O estado do Maranhão é composto pelos biomas Amazônico, Cerrado e Caatinga, e assim como outros estados brasileiros têm sofrido duramente com as queimadas descontroladas (ARAUJO et al. 2016; SEMA, 2011). Onde no qual, Rocha et al. (2011) encontrou para o cerrado maranhense áreas de 299.100 hectares desmatadas por queimadas, no período de 2002 a 2009.

Como forma de prever o comportamento esperado do fogo para cada dia e as condições dos combustíveis florestais, utilizam-se índices de perigo de incêndios (HEIKKILÄ et al., 2010). Esses índices são ferramentas auxiliares no planejamento e supervisão das atividades de controle e combate aos incêndios florestais (SOARES, 1998).

O conhecimento do índice de perigo é fundamental dentro de um plano de prevenção e combate aos incêndios florestais, por possibilitar a adoção de medidas preventivas em bases mais técnicas e econômicas. Isto porque no controle de incêndios, a concentração de muitos recursos torna-se excessivamente cara e a racionalização excessiva dos mesmos, pode acarretar elevados prejuízos (SOARES; BATISTA, 2007; SOARES et al., 2008).

Os índices para previsão de incêndios florestais são ferramentas estatísticas utilizadas na avaliação da probabilidade de ocorrência de fogo, baseados nas condições atmosféricas do dia ou de uma série temporal (SOARES; BATISTA, 2007). Existem vários índices de risco de incêndios, como por exemplo, os índices de Telicyn, Angstron, Nesterov e a Fórmula de Monte Alegre, que são classificados de acordo com Sant'anna et al. (2007) como índices de ocorrência; e outros, como a Fórmula de Monte Alegre Alterada, “Canadian Forest Fire Weather Index” e “The National Fire Danger Rating System”, que são classificados como índices de propagação, segundo Tetto et al., 2010.

De acordo com Narciso et al. (2009), o uso de índices de perigo de incêndios permite dar uma boa noção do risco de queimadas que determinado dia ou época pode apresentar. Esses autores relatam a necessidade de realizar pesquisas visando a sua melhor adaptação às condições de cada região. Assim, a aplicação de um índice de perigo de incêndio aliado a estratégias de prevenção, detecção e combate ao fogo, pode reduzir em muito as perdas causadas por esses eventos (ALVARES, 2014).

Nesse contexto, e devido os incêndios florestais ocasionarem a devastação da vegetação, com fortes impactos ambientais, econômicos e sociais. Se faz necessário a adoção de ferramentas que possibilitem a identificação e quantificação do número de dias com ocorrência de incêndios, que venham a contribuir para direcionamento mais eficiente dos recursos de controle e/ou prevenção, com reflexos diretos à sociedade maranhense.

Tendendo a contribuir com a redução da carência de estudos no Brasil voltados à essa temática, especialmente na identificação e controle de incêndios no estado do Maranhão.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Objetivou-se testar a eficiência dos índices Angstron, Telicyn, Nesterov e Monte Alegre, para quantificação do número de dias com risco de incêndio em diferentes municípios do Maranhão, entre os anos de 2010 e 2018.

2.2 Objetivo Específico

- Quantificar o número de dias em cada classe de risco;
- Aferir os meses do ano de maior probabilidade de ocorrência de incêndios;
- Apontar as regiões e municípios de maior ocorrência de queimadas;
- Identificar o índice mais eficiente na detecção de incêndios para o estado do Maranhão;
- Correlacionar os municípios de maior ocorrência de incêndios com as condições meteorológica da região.

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Incêndios florestais

Os primeiros levantamentos sobre ocorrências de incêndios florestais no Brasil ocorreram em 1983, tendo sido registrados 227 casos, cuja área queimada foi de 222.269 hectares (SOARES, 1984). Entre os anos de 1983 a 1987 foram realizados novos estudos, sendo registrado 1754 incêndios, afetando uma área de 34.107 hectares (SOARES, 1988). Entre 1994 a 1997 foram registrados 1.957 incêndios, atingindo uma área de 265.946 hectares. Já, os trabalhos desenvolvidos de 1998 a 2002 mostraram que foram registrados 19.377 incêndios e afetando uma área de 85.735,2 hectares (SOARES; BATISTA, 2007).

Nesse sentido, se faz importante as análises do comportamento histórico dos incêndios, onde permite estabelecer correlações entre as variáveis que influem na ocorrência e propagação do fogo, o qual auxilia e melhora as ações de prevenção e combate aos incêndios florestais (RODRIGUEZ; SOARES, 2004).

Tendo em vista, que o fogo é notado como um dos desastres naturais mais comuns e é reconhecidamente um importante elemento dos sistemas ecológicos, estando diretamente relacionado e influenciado pelas condições meteorológicas e consequentemente pelas mudanças climáticas. Em uma escala global, a intensificação

do efeito estufa tem provocado um maior perigo de incêndios, já a ocupação humana e as práticas agrícolas tem sido a principal causa do início destes incêndios (SOARES; BATISTA, 2007).

Tornado as queimadas controladas e os incêndios florestais uma das principais ameaças à preservação da biodiversidade do planeta. Além dos seus impactos diretos sobre a fauna e a flora, contribuem indiretamente com a degradação ambiental, principalmente pelo fato de deixar o solo mais susceptível a processos erosivos e pela liberação de grande quantidade de gases responsáveis pelo efeito estufa na atmosfera (SOARES; BATISTA, 2007; WHITE *et al.*, 2013). O calor liberado pelo fogo é o responsável primário pelos efeitos imediatos sobre as plantas, animais e solo, já os combustíveis residuais afeta tanto o solo como a qualidade do ar e a fumaça, enquanto o monóxido de carbono, os hidrocarbonos e outros produtos são responsáveis por efeitos sobre a qualidade do ar atmosférico (SOARES; BATISTA, 2007).

Dentre os afetados com os incêndios as árvores são os que merecem maior destaque, mas os incêndios considerados de menores intensidades são poucos nocivos a vida da árvore, principalmente na fase adulta. No entanto, as mudas e as pequenas podem facilmente serem mortas pela ação do fogo. Quando o fogo não influencia diretamente na morte da planta, no mínimo atrapalha no seu desenvolvimento a sobrevivência e reprodução das plantas e ainda atua sobre a dinâmica do banco de sementes (BOND; WILGEN, 1996). Quando não ocorre a morte da árvore diretamente o fogo pode também, deixar cicatrizes nas árvores, facilitando a infestação por pragas e insetos (SOARES E BATISTA, 2007).

3.2 Condições Meteorológicas

Os incêndios florestais têm causado vários impactos ambientais, sociais e econômicos no mundo, sendo que a sua frequência e intensidade tendem a aumentar nos próximos anos. A maior proximidade entre áreas com fluxo de pessoas e áreas com cobertura vegetal, tem se tornado aliados quando o assunto é frequência, propagação e intensidade, além disso, tem chamado a atenção de governos e pesquisadores pela concentração do número de ocorrências de incêndios e por suas especificidades em termos de intensidade, época de ocorrência e área atingida (TETTO, 2012).

É por esse e outros motivos que pesquisadores do mundo todo investigam e realizam estudos sobre a relação existente entre os incêndios florestais e as variáveis meteorológicas, uma vez que, as variações dos dados podem ser observadas por

diferentes óticas temporal, espacial e temática, sendo a última, quando há mudança na cobertura do solo (EUGENIO, 2017).

As condições meteorológicas estão diretamente ligadas aos incêndios florestais em todas as suas fases, tendo influência desde o seu início, passando pela propagação até a sua extinção. O perigo de incêndio, que é uma ferramenta que apresenta o risco de ocorrência de um incêndio, leva em consideração variáveis de relevo, vegetação, inflamabilidade de materiais dispostos na superfície, umidade da cobertura do solo, condições meteorológicas locais, entre outros (VIEGAS et al., 2004).

Já, Oliveira et al. (2012) relatam que a ocorrência de incêndios florestais é relacionada a um conjunto de fatores, tais como: topografia, clima e infraestruturas (estradas, densidade populacional, uso da terra, etc.), o que pode proporcionar uma maior ou menor susceptibilidade a ocorrência.

3.3 Índices de riscos de incêndios

O monitoramento dos incêndios torna-se fundamental para a viabilização do controle do fogo, redução dos custos nas operações de combate e atenuação dos danos (BATISTA, 2004). Nesse sentido, com o intuito de colaborar no planejamento e supervisão de atividades e estratégias de controle de incêndios florestais, os índices de perigo de incêndio se mostram uma importante ferramenta para região de estudo (SOARES, 1998).

Além disso, o conhecimento do grau de perigo diário é uma ferramenta útil no planejamento das atividades de prevenção e de combate aos incêndios florestais. Para isso, são utilizados os índices de perigo que refletem a probabilidade de ocorrência ou propagação de um incêndio, em função das condições atmosféricas do dia ou de uma sequência de dias (SOARES; BATISTA, 2007). Para Botelho (1996) os índices possuem diversas utilidades e aplicações, dentre as quais, o conhecimento do grau de perigo, o planejamento e controle de incêndios, a permissão para queimas controladas, o estabelecimento de zonas de perigo, a previsão do comportamento do fogo e a advertência pública do grau de perigo.

Portanto, a utilização de um índice de perigo confiável é fator fundamental para um planejamento mais eficiente das medidas de prevenção e para a adoção de ações rápidas e efetivas nas atividades de combate aos incêndios florestais, visando não somente, a redução das perdas e dos prejuízos financeiros advindos da ocorrência de eventos catastróficos (SOARES; BATISTA, 2007).

Nesse contexto, os índices de ocorrência utilizados no presente estudo, foram: Telicyn, Angstron, Nesterove Fórmula de Monte Alegre (Quadro 1).

Quadro 1: Índices de determinação de perigo de incêndios.

ÍNDICE	ORIGEM	FÓRMULAS UTILIZADAS	DISCRICÃO
Angstron	Suécia	$B = 0,05 * H - 0,1 (T - 27)$	B = índice de Angstron
			H = umidade relativa do ar (%)
			T= temperatura do ar (°C)
Telicyn	Ex-URSS	$I = \sum_{i=1}^n \log (t_i - r_i)$	I = índice de Telicyn
			Log = logaritmo na base 10
			t = temperatura do ar (°C) r = temperatura do ponto de orvalho (°C)
Nesterov	Ex - URSS	$G = \sum_{i=1}^n d_i * t_i$ $d = E * \left(\frac{1 - H}{100} \right)$	G = Índice de Nesterov
			d = déficit de saturação do ar (mibares)
			t = temperatura do ar (°C)
			E = pressão máxima de vapor de água em milibares H = umidade relativa do ar em %.
Fórmula de Monte Alegre	Brasil	$FMA = \sum_{i=1}^n \frac{100}{H_i}$	FMA = Formula de Monte Alegre
			H= umidade relativa do ar (%)
			n = número de dias sem chuva

Fonte: Adaptado de Nunes, 2005, Sampaio, 1999 e Soares, 1972.

O índice Telicyn foi desenvolvido na antiga União da República Socialista Soviética (URSS), este índice tem como variáveis a temperatura do ar e do ponto de orvalho, ambas medidas às 13 horas. O índice é acumulativo, isto é seu valor aumenta gradativamente, como realmente acontece com as condições de risco de incêndio, até que a ocorrência de uma chuva o reduza a zero, recomeçando novo ciclo de cálculos (SOARES; BATISTA, 2007).

O índice de Angstron foi desenvolvido na Suécia, este índice baseia-se fundamentalmente na temperatura e umidade relativa do ar, ambos medidos diariamente às 13 horas, o índice não é acumulativo (SOARES; BATISTA, 2007).

Em relação ao índice Nesterov, onde no qual foi desenvolvido na antiga União da República Socialista Soviética (URSS) e, aperfeiçoado na Polônia, este índice tem

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

A Formula de Monte Alegre, desenvolvido através de dados da região central do estado do Paraná por Soares, (1972), este índice é acumulativo, utiliza duas variáveis meteorológicas: umidade relativa do ar, de forma direta e a precipitação, de forma indireta.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Caracterização da área de estudo

O estudo foi conduzido no estado do Maranhão, o qual está localizado entre as coordenadas 1° 01' a 10° 21' SUL e 41° 48' a 48° 50' OESTE, limítrofe ao norte com o Oceano Atlântico (639,5 km), ao sul e sudoeste com o estado do Tocantins (1.060 km), a oeste com estado do Pará (798 km), e a leste e sudeste limita-se com o Piauí (1.365 km) (SEMA, 2011).

Segundo a classificação de Koppen – Geiger, o clima do Maranhão é caracterizado como subúmido seco, subúmido, tropical e equatorial úmido, onde as temperaturas médias anuais ultrapassam 24 °C, com as maiores precipitações nos meses de novembro a maio e menores, nos meses de junho a outubro, com totais médios anuais que variam de 800 mm a 2200 mm (MENEZES, 2009; NASCIMENTO, 2014).

O Maranhão compreende os biomas do Cerrado (64,09%), Amazônia (34,78%) e Caatinga (1,13%), os quais estão passando por uma intensa mudança no uso e ocupação do solo, ocasionando grandes perdas da biodiversidade através das altas taxas de desmatamento e queimadas (SEMA, 2011).

4.2 Levantamento dos dados para o cálculo dos índices

Foram coletados em 12 estações meteorológicas convencionais do Maranhão, os dados referentes à precipitação (mm), temperatura (°C) e umidade relativa (%), sendo adquiridos por meio do banco de dados do Instituto Nacional de Meteorologia – INMET. Os valores foram diários e compreenderam o período de 01 de janeiro de 2010 a 31 de dezembro de 2018.

Na Tabela 1, encontram-se as 12 estações meteorológicas utilizadas para coleta de dados.

Tabela 1. Estações meteorológicas convencionais localizadas no Estado Maranhão.

N	Estação	Municípios	UF	Longitude	Latitude
1	82970	Alto Parnaíba	MA	-45,93	- 9,1
2	82460	Bacabal	MA	-44,76	-4,21
3	82768	Balsas	MA	-46,03	-7,53
4	82571	Barra do Corda	MA	-45,23	-5,5
5	82765	Carolina	MA	-47,46	-7,33
6	82476	Caxias	MA	-43,35	-4,86
7	82382	Chapadinha	MA	-43,35	-3,73
8	82676	Colinas	MA	-44,25	-6,03
9	82564	Imperatriz	MA	-47,48	-5,53
10	82280	São Luis	MA	-44,21	-2,53
11	82198	Turialvo	MA	-45,36	-1,56
12	82376	Zé Doca	MA	-45,65	-3,26

4.3 Índices de riscos

No estudo, os índices utilizados na prevenção de incêndios no país: Angstron, Telicyn, Nesterov e Monte Alegre. Os quais foram estimados de acordo com os dados de precipitação (mm), temperatura (°C) e umidade relativa (%).

O índice de Angstron (B) foi estimado pela seguinte fórmula (equação 1):

$$B = 0,05 * H - 0,1 (T - 27) \quad (1)$$

Em que: “B” = índice de Angstron; “H” = umidade relativa do ar (%); “T” = temperatura do ar (°C). Quando o valor de “B” for menor que 2,5 há riscos de incêndios, ou seja, as condições atmosféricas estão favoráveis à ocorrência de incêndio.

O índice de Telicyn foi estimado pela equação 2:

$$I = \sum_{i=1}^N \log (t_i - r_i) \quad (2)$$

Em que: “I” = índice de Telicyn; “log” = logaritmo na base 10; “t” = temperatura do ar (°C); “r” temperatura do ponto de orvalho (°C). Em casos de precipitações iguais ou superiores a 2,5 mm, abandona-se a somatória anterior e inicia-se o cálculo no dia seguinte, ou no cessar da chuva. Além disso, o índice é dado como 0 (zero) nos dias de chuva.

O índice de Nesterov foi estimado pela equação 3:

$$G = \sum_{i=1}^n d_i * t_i \quad (3)$$

Em que: “G” = Índice de Nesterov; “d” = déficit de saturação do ar (mibares);

“t” = temperatura do ar (°C). Segundo Soares e Batista (2007), o déficit de saturação do ar é dado pela diferença entre a pressão máxima de vapor de água e a pressão real de vapor de água, sendo calculado pela equação 4:

$$d = E * \left(\frac{1 - H}{100} \right) \quad (4)$$

Em que: “d” = déficit de saturação do ar em milibares; “E” = pressão máxima de vapor de água em milibares; “H” = umidade relativa do ar em %.

O índice de Monte Alegre foi estimado pela equação 5:

$$FMA = \sum_{i=1}^n \frac{100}{H_i} \quad (5)$$

Em que: “FMA” = Formula de Monte Alegre; “H” = umidade relativa do ar (%); “n” = número de dias sem chuva.

As análises das estimativas dos índices de Telicyn, Nesterov, Angstron e FMA foram classificadas em graus de perigos de incêndio, conforme a tabela de referência (Tabela 2).

Tabela 2. Grau de perigo de incêndios identificado de acordo com os índices.

Índices	Riscos de Incêndios				
FMA	Nulo ≤ 1,0	Pequeno 1,1 - 3,0	Médio 3,1 - 8,0	Alto 8,1 - 20	Muito alto > 20,0
Nesterov	Nenhum risco ≤ 300	Risco fraco 301 - 500	Risco médio 501 - 1000	Grande perigo 1001 - 4000	Perigosíssimo > 4000
Telecyn	Nenhum 0,0 - 2,0	Pequeno 2,1 - 3,5	Médio 3,6 - 5,0	Alto > 5,0	
Angstron	Há riscos < 2,5		Não há riscos > 2,5		

Para analisar o desempenho dos índices de incêndios e identificar os que apresentaram maior desempenho para o Maranhão, utilizou-se o método de *Skill Score* (SS), que se baseia na tabela de contingência (Tabelas 4 e 5) e a análise da porcentagem de sucesso (PS). O método pela contingência analisa o padrão de relacionamento entre duas ou mais variáveis, e abrange os valores observados e os previstos para um mesmo evento.

Tabela 3. Tabela de contingência para análise dos índices de fogos.

Evento	Incêndios		Total Previsto	
	Observados	Não Observados		
Incêndio	Previsto	a	b	$N_2 = a + b$
	Não previsto	c	d	$N_4 = c + d$
Total observado	$N_1 = a + c$	$N_3 = b + d$	$N = a + b + c + d$	

Fonte: Nunes, (2005)

Tabela 4. Método de análise da tabela de contingência.

Evento	Incêndios		Total Previsto	
	Observados	Não Observados		
Incêndio	Previsto	$a/(a + c)$	$b/(b + d)$	$N_2 = a + b$
	Não previsto	$c/(a + c)$	$d/(b+d)$	$N_4 = c + d$
Total observado	$N_1 = a + c$	$N_3 = b + d$	$N = a + b + c + d$	

Em que: "G" - Número de acertos na previsão = $a + d$; "p" - Probabilidade de ter pelo menos um evento por dia = N_1 / N ; "q" - Probabilidade de exceder o valor limite do índice = N_2/N ; "H" - Número esperado de acertos = $N * (1 - p) * (1 - q) + N * p * q$; "SS" - *Skill Score* = $(G - H) / (N - H)$; "PS" - Porcentagem de sucesso = G / N .

O método de *Skill Score* é a razão da diferença entre os acertos na previsão e o número esperado de acertos consiste na diferença entre dias observados e o número de dias com previsão de acertos (NUNES, 2005).

O cálculo dos índices de Angstron, Telicyn, Nesterov e FMA foi realizado através do *software* Incêndio Florestal, que é um sistema para cálculo de índice de risco de incêndios, produzido pelo Laboratório de Incêndios Florestais da Universidade Federal de Viçosa.

4.4 Método de interpolação

Foram realizadas a interpolação dos dados referentes a precipitação (mm), temperatura (°C) e Umidade relativa do ar (%), sendo calculado os dados no período de 1980 a 2018. Os mapas foram gerados através dos valores médios mensal e anual.

A interpolação foi realizada pelo método de Interpolação de Pontos pela Ponderação do Inverso da Distância (IDW), onde no qual, a Ponderação do Inverso das Distâncias (Inverse Distance Weighting) implementa explicitamente o pressuposto de que as coisas mais próximas entre si são mais parecidas do que as mais distantes. Para prever um valor para algum local não medido, o IDW usará os valores amostrados à

sua volta, que terão um maior peso do que os valores mais distantes, ou seja, cada ponto possui uma influência no novo ponto, que diminui na medida em que a distância aumenta (JAKOB, 2016).

O cálculo foi realizado de acordo com a equação 6:

$$Z(s_0) = \sum_{i=1}^N \lambda Z(s_i) \quad (6)$$

Em que:

$Z(s_0)$: é o valor a ser predito para o local s_0 ;

N : é o número de pontos observados a serem usados ao redor do valor a ser predito;

λ : são os pesos colocados para cada ponto observado a ser utilizado;

$Z(s_i)$: é o valor observado no local s_i .

A formula para determinar os pesos foi baseada nas equações 7 e 8:

$$\lambda = \frac{d_{i0}^{-p}}{\sum_{i=1}^N d_{i0}^{-p}} \quad (7)$$

$$\sum_{i=0}^N \lambda_i = 1 \quad (8)$$

Na medida em que a distância aumenta, o peso é reduzido por um fator de “p”. d_{i0} : é a distância entre o local predito, s_0 : é cada um dos locais observados, s_i .

Os pesos dos locais observados, a serem usados na predição, são ponderados, e sua soma é igual a 1.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A distribuição observada para o índice FMA em ordem crescente de perigosidade, registrou em média o número de dias com o grau de risco de incêndio para as classes nulo (17,46%), pequeno (15,96%), médio (17,86%), alto (16,13%) e muito alto (32,59%) (Figura 1). O grau de risco de incêndio muito alto foi o que revelou maior percentual (32,59%), similar aos resultados de Nunes et al. (2010), quando retrataram maior percentual para classe muito alta de perigo para o índice FMA, em um estudo realizado entre os anos de 1998 e 2003 no Distrito Florestal de Monte Alegre.

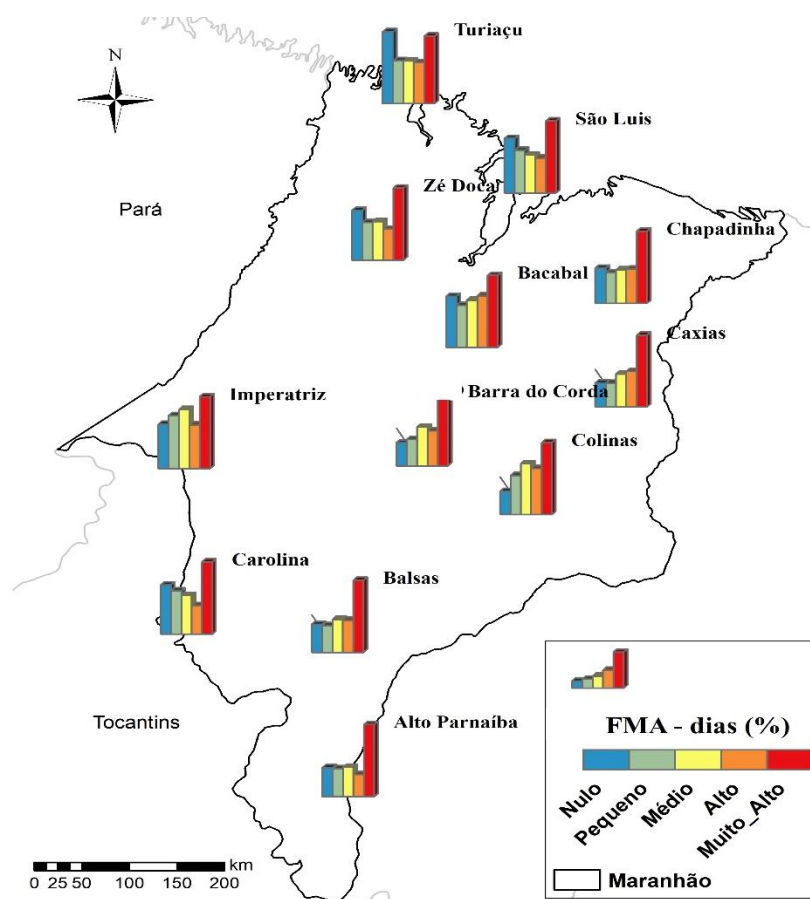


Figura 1. Distribuição do número de dias nas classes de perigo de incêndio Nulo, Pequeno, Médio, Alto e Muito Alta de acordo com os cálculos do índice FMA, no período de 2010 a 2018.

Em relação aos riscos de incêndios por municípios, houve maior número de dias na classe muito alta para os municípios de Alto Paraíba (39,93%), Caxias (38,17%), Balsas (37,55%), Barra do Corda (36,83%) e Chapadinha (35,09%). Por outro lado, os municípios de Turiaçu, São Luís, Zé Doca e Carolina foram os que registraram os maiores percentuais de dias na classe de risco nulo, cujos valores médios foram de 26,99%, 22,56%, 21,70% e 21,24%, respectivamente (Figura 1).

Estudos realizados por Oliveira et al. (2017) na Amazônia brasileira revelaram que havia tendência na elevação dos percentuais de dias nas classes alta e muito alta, nas regiões Sul e Leste do Bioma. Esses resultados corroboraram com os obtidos no presente estudo, que apresentaram maior número de dias na classe do índice muito alta para mesorregião Sul-Leste do Maranhão (Figura 1).

A distribuição do número de dias observados para o índice Nesterov registraram as classes, perigosíssimo e nenhum risco, com percentuais equivalentes em média a 33,4% e 31,9% do número de dias, respectivamente, seguido das classes grande perigo (20,3%), médio (9,0%) e risco fraco (5,4%) (Figura 2). Constatou-se a predominância

do número de dias nas classes perigosíssimo e nenhum risco para o índice de Nesterov, fato que também foi observado por Oliveira (2017), em estudos na Amazônia Legal com valores concentrados na classe de nenhum risco, com percentuais equivalentes em média a 50% dos dias, seguidos das classes grande perigo (18%), altíssimo risco (12%), risco fraco (12%) e risco médio (8%).

Borges et al. (2011) observaram maior número de dias previstos nas classes de grande e de altíssimo risco, com valores médios de 39,43 e 23,48%, respectivamente, totalizando 62,91%.

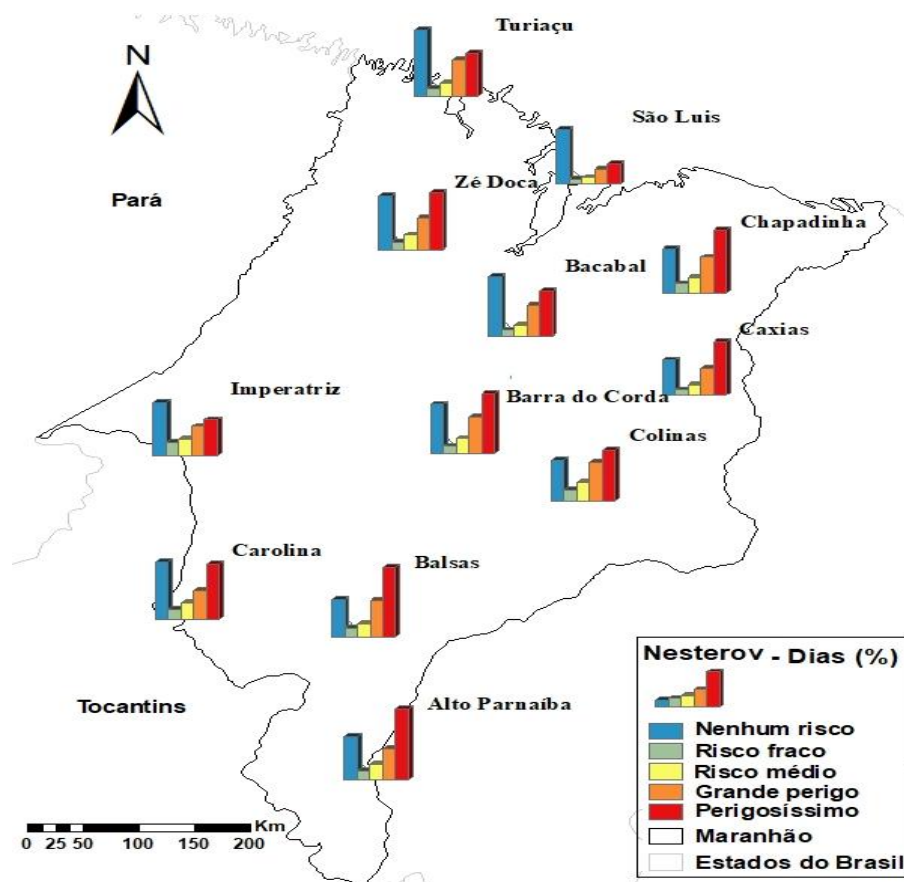


Figura 2. Distribuição do número de dias nas classes de perigo de incêndio nenhum risco, risco fraco, risco médio, grande perigo e perigosíssimo de acordo com os cálculos do índice Nesterov, no período de 2010 a 2018.

Segundo os resultados obtidos pelo índice Nesterov, os municípios de Alto Parnaíba, Balsas, Caxias e Chapadinha foram os que registraram maiores probabilidades de incêndios, com valores de 42,2%, 41,7%, 40,4% e 37,6%, respectivamente. Já os municípios de São Luís (54,1%), Turiaçu (39,5%), Bacabal (38,8%) e Imperatriz (35,6%) tiveram a classe nulo como a de maior predominância, ou seja, menor probabilidade de ocorrências de incêndios florestais (Figura 2).

Semelhante aos resultados do índice FMA, as mesorregiões Sul e Leste do Maranhão foram as mais susceptíveis a incêndios, com destaque para os municípios de Chapadinha e Caxias situados no Leste, e Alto Parnaíba e Balsas posicionados ao Sul Maranhense (Figura 2).

Já o índice Telicyn registrou os maiores percentuais de dias na classe nenhum risco com 47,2%, seguido das classes alto (39%), pequeno (8,2%) e médio (5,5%) (Figura 3). Os resultados assemelham-se com os de Oliveira (2017), que encontrou percentuais de 72% na classe nenhum-nulo, com distribuição de 17% para classe alto-grande, 7% para classe pequeno-baixo e 4% para classe de médio risco.

Os municípios de Caxias, Balsas e Alto Parnaíba foram os que apresentaram maiores valores na classe de risco alto, com percentuais de 46,4%, 45,7% e 45,3%, respectivamente (Figura 3). Observa-se que os municípios estão localizados na região Sul ou Leste do Maranhão, igualando-se com resultados dos índices FMA e Nesterov.

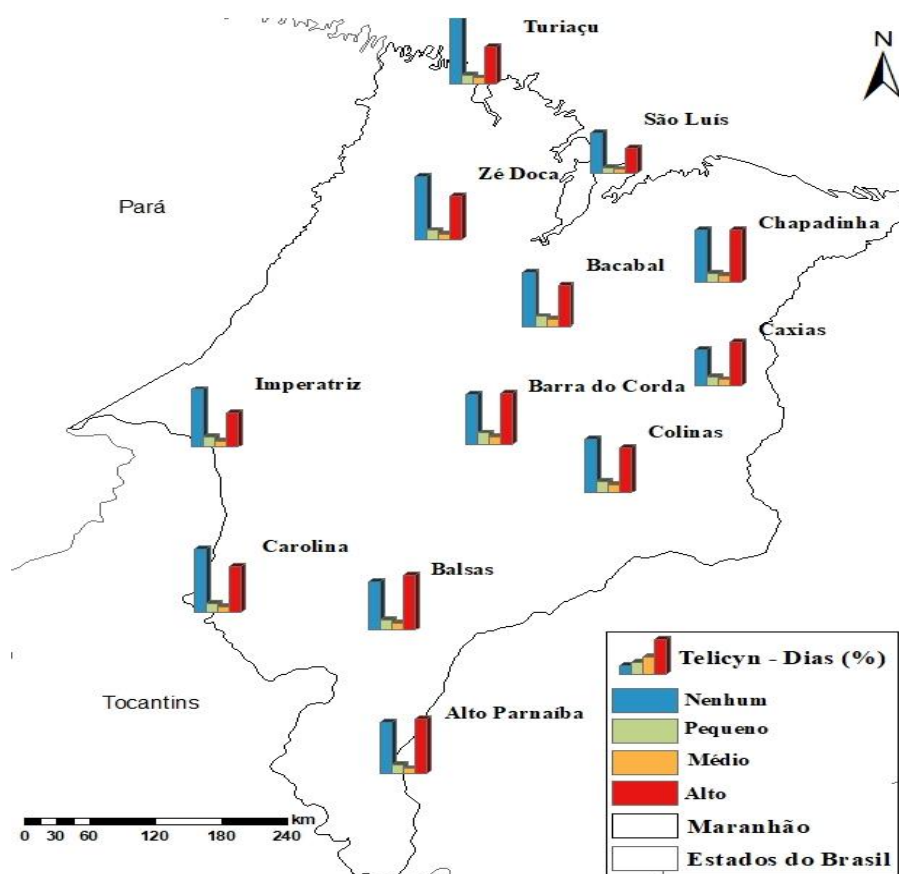


Figura 3. Distribuição do número de dias nas classes de perigo de incêndio nenhum, pequeno, médio e alto de acordo com os cálculos do índice Telicyn no período de 2010 a 2018.

Com exceção dos municípios de Caxias, Balsas, Barra do Corda e Chapadinha, os demais registraram maiores percentuais na classe nenhum risco, com destaque a

Turiagu (57%), São Luís (55%), Imperatriz (53%), Carolina (51%) e Bacabal (48,3%) (Figura 3).

Em contrapartida, o índice de Angstron por não possuir em sua formulação natureza acumulativa, não foi avaliado comparativamente aos índices FMA, Nesterov e Telicyn.

Considerou-se que os índices não indicam perigo de ocorrências de incêndios sempre que o valor calculado por estes, for menor que o limite inferior da classe classificada como grau de perigo médio dos respectivos índices e que estes indicavam perigo de ocorrência de incêndios sempre que o valor dos índices for igual ou superior ao referido limite (NUNES, 2008; MBANZE et al. 2017, WHITE, 2013).

Nesse sentido, na Figura 4 têm-se a distribuição dos percentuais das classes que indicam perigo de ocorrência de incêndios (grau de risco médio, alto e muito alto) dos índices FMA, Nesterov e Telicyn nos meses do ano, período de 2010 a 2018.

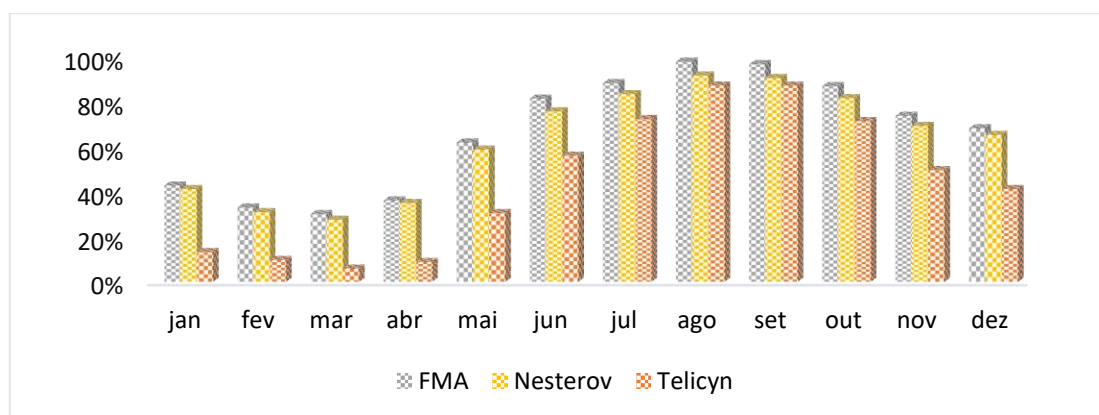


Figura 4. Distribuição dos percentuais de risco de incêndio (grau de risco médio, alto, muito alto), por mês para os índices de FMA, Nesterov e Telicyn, para o período de 2010 a 2018.

Ao analisar a distribuição de perigo de incêndios nos meses de cada ano, compreendido no intervalo de 2010 a 2018, observou-se que os maiores percentuais se concentraram no mês de agosto, com 98% dos dias com riscos para o índice FMA, 92% para Nesterov e 87% para Telicyn. Seguido pelo mês de setembro, cujos valores foram estimados em 97%, 91% e 87% para os índices FMA, Nesterov e Telicyn, respectivamente (Figura 4).

O mês de julho foi o terceiro mês que ocorreram os maiores percentuais de ocorrências de incêndios, com 88, 84 e 72% para o índice de FMA, Nesterov e Telicyn, respectivamente. Portanto, este foi o trimestre de maior perigo de ocorrência de incêndio, entre os anos de 2010 e 2018.

Resultados semelhantes foram encontrados por Ribeiro et al. (2011), quando analisaram a região norte de Mato Grosso. Os autores destacaram o mês de agosto como o de maior índice de perigo de incêndio, seguido de setembro e julho para o período de 2000 a 2005. Ao analisar o índice de FMA, Machado et al. (2014) encontraram índices extremos de risco, somente para o mês de agosto, no período de 2005 a 2009 no Mato Grosso. Similar ao obtido por Souza et al. (2012) que reportaram valores com risco muito alto, apenas nos meses de julho e agosto.

Os valores médios da análise de desempenho para cada estação são apresentados na Tabela 5, cujo índice de melhor porcentagem de sucesso foi Telicyn, com 74% de acertos, seguido do índice Nesterov (69%), FMA (68%) e Angstron (59%).

Para os municípios de Bacabal, Balsas, Carolina, Caxias, Chapadinha, Imperatriz, Turiaçu e Zé Doca, os resultados do SS seguiram na mesma ordem crescente dos PS. Além disso, a PS dos índices Nesterov e FMA foram muito próximos, com valores de 69% e 68%, em média, respectivamente.

Tabela 5. Desempenho do Skill Score (SS) e Porcentagem de Sucesso (PS) dos índices FMA, Nesterov, Telicyn e Angstron no período de 2010 a 2018.

Municípios	FMA		Nesterov		Telicyn		Angstron	
	SS	PS	SS	PS	SS	OS	SS	PS
Alto Parnaíba	0,419	69%	0,415	69%	0,275	77%	0,376	71%
Bacabal	0,359	66%	0,291	64%	0,410	71%	0,054	60%
Balsas	0,405	70%	0,415	74%	0,505	75%	0,347	67%
Barra do Corda	0,387	70%	0,346	76%	0,540	77%	0,282	63%
Carolina	0,448	72%	0,481	74%	0,499	75%	0,357	70%
Caxias	0,322	65%	0,269	63%	0,449	72%	0,429	72%
Chapadinha	0,489	74%	0,505	76%	0,546	77%	0,023	48%
Colinas	0,334	66%	0,217	68%	0,495	75%	0,185	61%
Imperatriz	0,332	65%	0,286	64%	0,401	71%	0,070	61%
São Luís	0,271	60%	0,151	61%	0,390	73%	0,003	76%
Turiaçu	0,444	71%	0,460	72%	0,700	70%	0,000	0%
Zé Doca	0,387	67%	0,392	68%	0,437	73%	0,014	63%
Média	0,383	68%	0,352	69%	0,471	74%	0,178	59%

Resultados semelhantes foram observados por Torres et al. (2008), os quais ao analisar a eficiência dos índices para Minas Gerais, elencaram que o índice de melhor desempenho foi o Telicyn com 76% de acertos, seguido por Nesterov (69%) e FMA (68%). Oliveira (2017) num estudo na Amazônia Legal brasileira, destacou o índice

Telicyn como o de melhor desempenho, acompanhado da FMA e Nesterov, respectivamente.

O índice Telicyn em média registrou o melhor desempenho (SS=0,471 e PS=74%), com valores que variaram de 70% para o município de Turiacu, a 77% para os municípios de Alto Parnaíba, Barra do Corda e Chapadinha. Já o índice Angstron mostrou-se menos eficiente na detecção de incêndios, pois os valores de PS e SS foram iguais a 0 (zero) para o município de Turiacu. Ou seja, este índice não previu nenhum incêndio durante o período de estudo. Embora tenha havido 1009 dias com focos de calor entre os anos de 2010 a 2018, para este município.

Na Figura 5, estão distribuídos o número de dias com registros de queimadas, no período de 2010 a 2018. É importante ressaltar que o número dias registrados com incêndios somente foram quantificados quando faziam parte de um raio de 40 km da estação meteorológica, ou seja, incêndios ocorridos fora da área pré-delimitada não foram analisados.

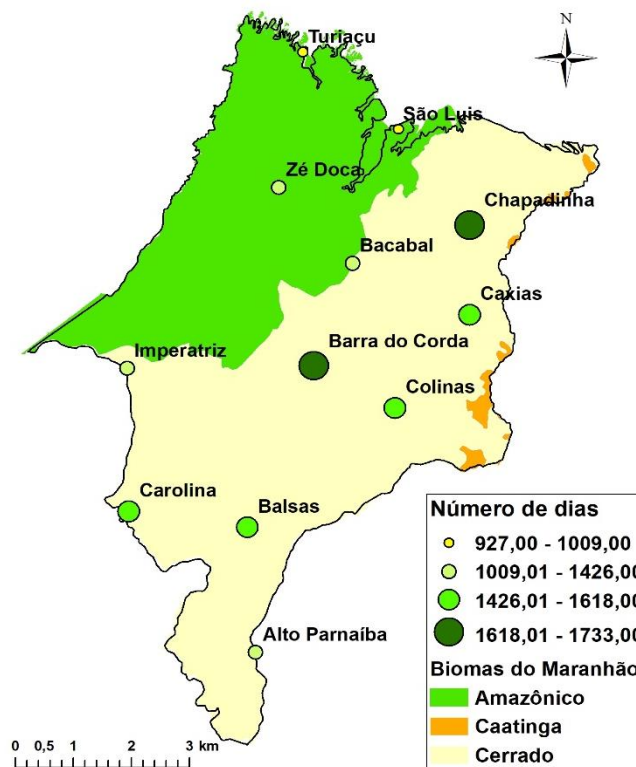


Figura 5. Número de dias com incêndios observados por municípios no período de 2010 a 2018.

Ao analisar o número de dias com incêndios, notou-se maior quantitativo para as estações de Chapadinha com 1.733 dias e Barra do Corda (1.679 dias), seguido das estações de Balsas (1.816 dias), Colinas (1.596 dias), Caxias (1.550 dias) e Carolina

(1.476 dias). Por outro lado, São Luís (927 dias) e Turiacu (1009 dias) destacaram-se pelos menores números de dias, comparado com os demais municípios.

Com o objetivo de avaliar a relação entre o número de dias com registro de incêndios, os meses de maior ocorrência e as regiões mais críticas, foi realizado um estudo sobre as condições atmosféricas referentes a precipitação, temperatura e umidade relativa do ar (UR), no estado Maranhão, período de 1980 a 2018.

Nesse sentido, na Figura 6, encontra-se a distribuição espacial da precipitação mensal e anual do estado do Maranhão em 38 anos.

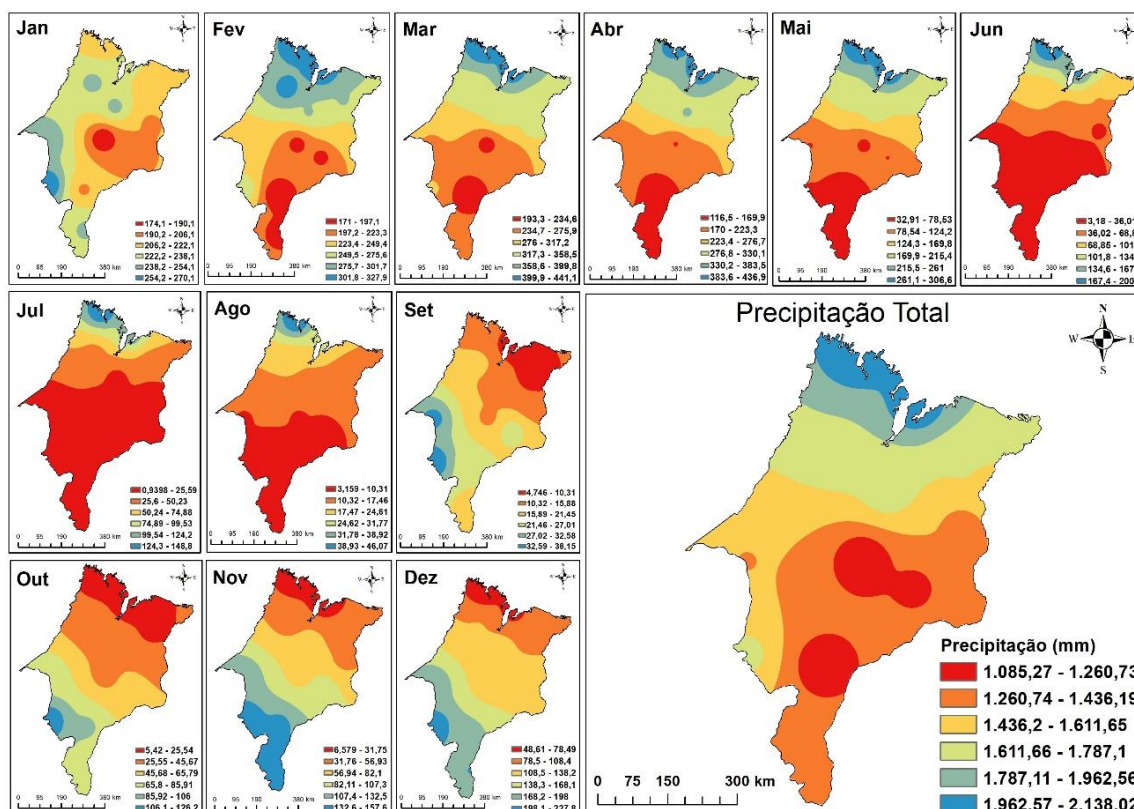


Figura 6. Mapas de precipitação mensal e anual do estado do Maranhão, no período de 1980 a 2018.

Os resultados revelam que no período estudado (1980 a 2018), a precipitação em média variou de 1085,27 mm a 2138,02 mm, registrando suas menores baixas na região que estão localizados os municípios de Barra do Corda (1085,12 mm) Balsas (1146,33 mm), Colinas (1221,11 mm), Alto Parnaíba (1295,85 mm) e Caxias (1390,77 mm) onde no qual, tais municípios estão entre os de maior número de dias com ocorrência de incêndios florestais. Já os municípios de maior precipitação média anual foram São Luis (2138,15 mm), Turiacu (2130,20 mm), Zé Doca (1766, 18 mm) e Bacabal (1710,91 mm) (Figura 5).

Resultados semelhantes em relação a precipitação no estado do Maranhão foram encontrados por Silva et al. (2014), no qual relatam uma variação da precipitação anual no Maranhão entre 1000 mm na região sudeste, a 2500 mm (noroeste). Os autores enfatizam que os valores mais baixos da precipitação estão distribuídos principalmente na microrregião das Chapadas do Alto Itapecuru no centro-leste maranhense e os valores mais altos estão distribuídos nas microrregiões do Gurupi, Litoral Maranhense e parte da Baixada Maranhense.

A precipitação mensal em média para os 12 municípios estudado destacou que os meses de agosto, setembro, julho e outubro foram os de menores ocorrências de chuvas, com valores de 14,27 mm, 18,24 mm, 34, 5 mm e 50,19 mm, respectivamente. Nesse contexto, os meses de maior probabilidade de ocorrência de incêndios foram respectivamente agosto, setembro e outubro, ocorrendo uma correlação inversamente proporcional, ou seja, as áreas de maior precipitação registraram um menor número de dias com incêndios (Figura 4).

Caldas et al. (2014), destacam em seu estudo no Parque estadual do Mirador, estado do Maranhão, que a quantidade focos em terras protegidas variou consideravelmente em relação à quantidade de precipitação, nos períodos de maior precipitação ocorreu simultaneamente a diminuição do número de focos, ocorrendo inversamente proporcional, ou seja, nos anos de baixa precipitação houve um aumento do número de focos.

Na Figura 7, têm-se a distribuição espacial da temperatura média (°C) distribuída no estado do Maranhão no período de 1980 a 2018.

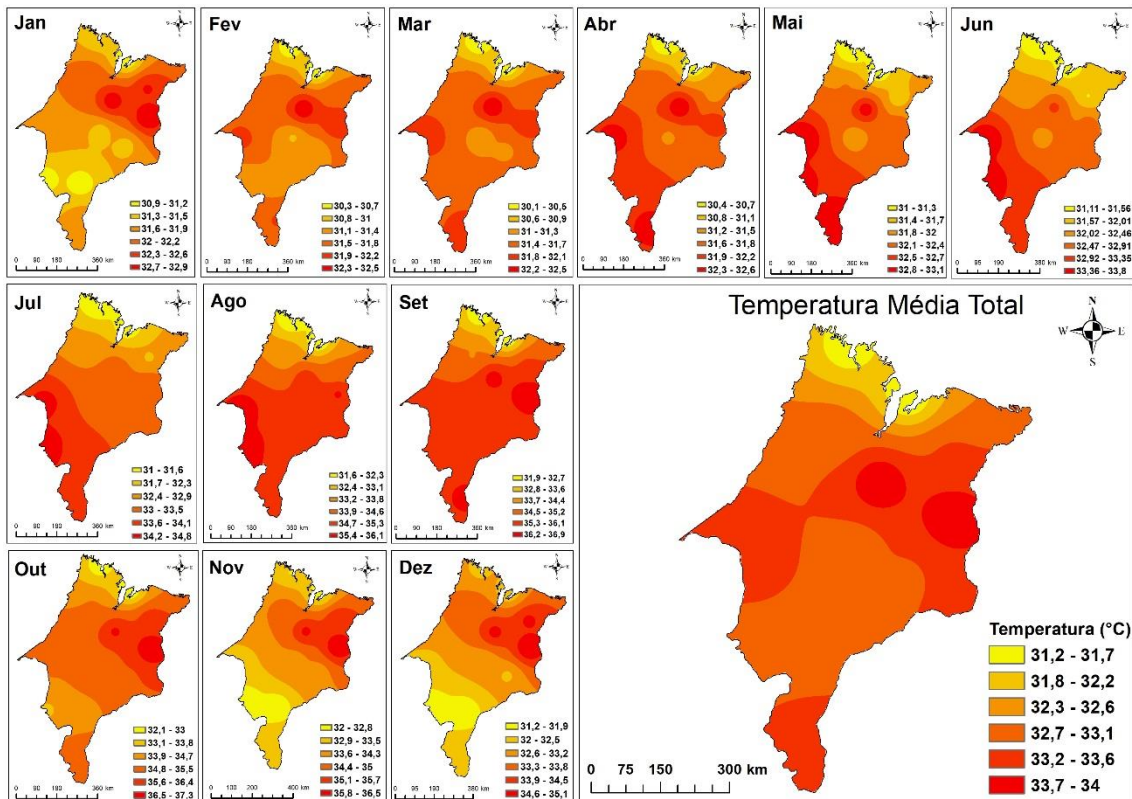


Figura 7. Mapas de temperatura mensal e anual do estado do Maranhão, no período de 1980 a 2018.

Os valores mostram que a temperatura variou de 31,2 °C a 34 °C para todo estado, com maiores temperaturas na mesorregião do leste maranhense. Os meses de setembro, outubro e agosto em média foram os que registraram as maiores temperaturas no ano, com valores de 35,19 °C, 34,81 °C e 34 °C, respectivamente.

Em relação a umidade relativa do ar (Figura 8) para o estado do Maranhão, observa-se que os resultados foram semelhantes em relação a distribuição espacial da precipitação e temperatura.

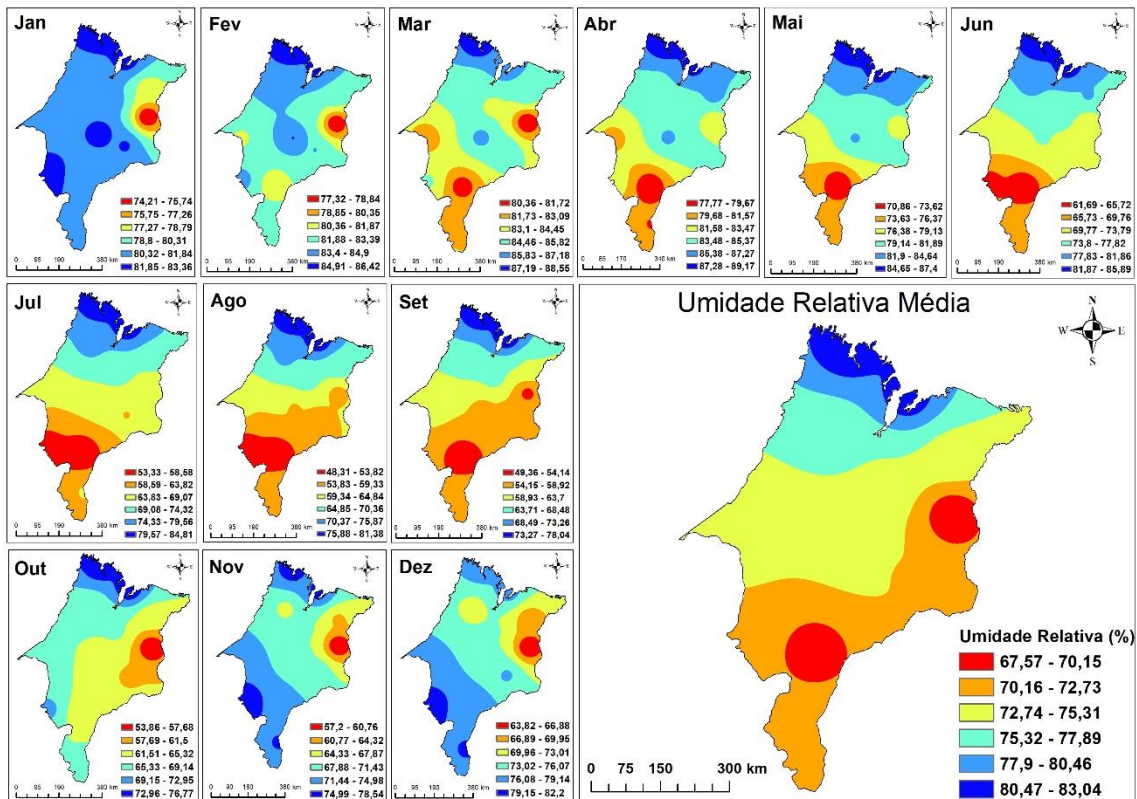


Figura 8. Mapas da umidade relativa do ar mensal e anual do estado do Maranhão, no período de 1980 a 2018.

Em média a umidade relativa do ar variou de 67 mm a 83 mm, estando localizado os maiores valores de umidade na região dos municípios de Turiaçu e São Luís e Zé Doca, com a UR de 83,1%, 82,55% e 76,23 % em média, respectivamente. Por outro lado, os municípios de menor UR foram Caxias com 67,56%, seguido de Balsas (68,21%) e Carolina (71,74%).

Os meses com registro de menor UR em média para os municípios estudado (Tabela 1) foram setembro, agosto, outubro e julho com valores de 61,8%, 63%, 65,98% e 68,2%, respectivamente.

Vale ressaltar, que os municípios de menores registros dias com incêndios (Figura 5) estão localizados na região de maior umidade relativa do ar em todos os meses do ano, enquanto que os municípios de menor UR também se encontra entre os de maior ocorrência com incêndios (Figuras 7 e 8). Além disso, os meses mais críticos em ocorrência de incêndios (agosto, setembro, outubro e julho), também tiveram destaque em baixa UR.

Resultados semelhantes foram encontrados por Torres et al. (2011), onde ressaltaram que a umidade relativa do ar foi o elemento meteorológico que melhor se correlacionou com as ocorrências de incêndios florestais em Juiz de Fora (MG).

Vasconcelos et al. (2015), relataram que as condições meteorológicas são responsáveis por importantes funções no comportamento de queimadas e incêndios na Amazônia Legal, em períodos de secas severas os autores em seu estudo revelaram que a suscetibilidade da floresta ao fogo no Sul do Amazonas foi 84% maior em 2005, comparado com 2004.

Os resultados em relação as condições meteorológicas (precipitação, temperatura e umidade relativa do ar) enfatizam que as condições atmosféricas estão diretamente relacionadas com os incêndios florestais no estado do Maranhão, tanto em relação a localização dos municípios, como no período do ano.

No entanto, enfatiza-se a necessidade de mais estudos voltados as principais causas realizadas pelo homem que levam a ocorrência dos incêndios, procurando talvez, correlacionar o crescimento produtivo da agropecuária das regiões vista como críticas em relação ao número de incêndios.

6. CONCLUSÃO

O índice Telicyn é o mais eficiente na detecção de queimadas, portanto, pode ser indicado para estudos, controle e monitoramento de incêndios no Maranhão.

Recomenda-se o aprimoramento nas estratégias de combate e fiscalização de incêndios no Maranhão, pois os índices são alarmantes, especialmente no trimestre de julho, agosto e setembro; e nos municípios de Chapadinha, Caxias, Balsas e Alto Parnaíba, que apresentam os maiores focos.

As condições meteorológicas referentes a precipitação, temperatura e umidade relativa do ar estiveram relacionadas diretamente com o número de incêndios ocorridos nos municípios estudados.

7. REFERÊNCIA

- ALVARES, C. A., CEGATTA, Í. R., VIEIRA, L. A. A., PAVANI, R. F., MATTOS, E. M., SENTELHAS, P. C., SOARES, R. V. Perigo de incêndio florestal: aplicação da Fórmula de Monte Alegre e avaliação do histórico para Piracicaba, SP. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, SP, v. 42, n. 104, p. 521-532, 2014.
- ARAUJO, L. S., SILVA, G. B. S., TORRESAN, F., VICTORIA, D. D. C., VICENTE, L., BOLFE, E., MANZATTO, C. Conservação da biodiversidade do Estado do Maranhão: cenário Atual em dados geoespaciais. **Embrapa Meio Ambiente- Documentos (INFOTECA-E)**, 2016.
- ARAUJO, L. S., SILVA, G. B. S., TORRESAN, F., VICTORIA, D. D. C., VICENTE, L., BOLFE, E., MANZATTO, C. **Conservação da biodiversidade do Estado do Maranhão: cenário Atual em dados geoespaciais**. Embrapa Meio Ambiente- Documentos (INFOTECA-E), 2016. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/159940/1/Serie-Documentos-108-Luciana.pdf>>. Acesso em: 30/Jun/2019.
- BATISTA, A. C. Detecção de incêndios florestais por satélites. **Floresta**, Curitiba, v. 34, n. 2, p. 237 – 241, 2004.
- BOND, W. J., WILGEN, B.W. **Fire and Plants**. London: Chapman e Hall, 1996.
- BORGES, T. E.; 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.
- BOTELHO, H. S. **Efeitos do fogo controlado em árvores de povoamento jovens de Pinus pinaster**. Vila Real, Portugal: UTAD, 1996.
- CALDAS, J. M.; SILVA, F. B.; SILVA JUNIOR, C. H. L. Análise de focos de queimadas no Parque Estadual do Mirador utilizando um Sistema de Informação Geográfica – SIG, estado do Maranhão, Brasil. In: XIV SAFETY, HEALTH AND ENVIRONMENT WORLD CONGRESS. **Anais...** Cubatão: COPEC, 2014.
- EUGENIO FERNANDO COELHO. **Análise de risco de incêndios em florestas plantadas**. 2017. 161 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Espírito Santo, Centro de Ciências Agrárias e Engenharias, 2017.
- HEIKKILÄ, T. V.; GRÖNQVIST, R.; JURVÉLIUS, M. **Wildland fire management: handbook for trainers**. Helsinki: Ministry for Foreign Affairs of Finland, Development Policy Information Unit, 2010. 248 p.
- IBAMA - INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS. **Alternativas para o uso do fogo**. Disponível em: <http://www.ibama.gov.br/areas-tematicas/alternativas-ao-usodo-fogo> - Acesso em: 23.08.2019.
- JAKOB, A. A. E., YOUNG, A. F. O uso de métodos de interpolação espacial de dados nas análises sociodemográficas. **Anais**, p. 1-22, 2016.

- 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.
- 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.
- MENEZES, R. H. N. **Caracterização agroclimática e análise do rendimento agrícola do estado do Maranhão, Brasil**. 2009, 168 f. Tese (Doutorado em Meteorologia). Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande, 2009.
- NARCISO, M. G., SORIANO, B. M. A., DANIEL, O., SANTOS, S. A. Utilização de sistema de informação de dados climáticos para cálculo de índices de risco de incêndio para a sub-região da Nhecolândia. In: Simpósio de Geotecnologias no Pantanal, 2., 2009, Corumbá, MS. **Anais...** Corumbá, MS: Embrapa Informática Agropecuária/INPE, 2009, p. 220-229.
- NASCIMENTO, F. C. N. **Padrões climáticos associados à periodicidade de eventos extremos de precipitação no Estado do Maranhão**. 2014. 108 f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia). Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande, 2014.
- NUNES J. R. S. **FMA + - Um novo índice de perigo de incêndios florestais para o estado do Paraná, Brasil**. 2005. 169 f. Tese (Doutorado). Universidade Federal do Paraná; 2005.
- NUNES, J. R. S. **Efeitos das mudanças climáticas sobre os índices de perigo de incêndios florestais**. Curitiba: UFPR, 2008. 57 p.
- NUNES, J. R. S.; FIER, I. S. N.; SOARES, R. V.; BATISTA, A. C. Desempenho da fórmula de Monte Alegre (FMA) e da fórmula de Monte Alegre Alterada (FMA+) no distrito florestal de Monte Alegre. **Floresta**, v. 40, n. 2, 2010.
- OLIVEIRA, K. A. **Estudo espaço-temporal de riscos de incêndios florestais na Amazônia brasileira**. 2017. 234 f. Tese (Doutorado – Meteorologia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa. 2017.
- OLIVEIRA, S.; OEHLER, F.; SAN-MIGUEL-AYANZ, J.; CAMIA, A.; PEREIRA, J. M. C. Modeling spatial patterns of fire occurrence in Mediterranean Europe using multiple regression and random forest. **Forest Ecology and Management**, v. 275, 2012.p. 117-129.
- RIBEIRO, G. A.; BONFIM, V. R. Incêndio Florestal versus queima controlada. **Ação Ambiental**, Viçosa, v. 2, n. 12, p. 8-11, 2000.
- 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**, v. 41, n. 2, p. 257 - 270, 2011.

- ROCHA, G. F., FERREIRA, J. R. L.G., FERREIRA, N. C., FERREIRA, M. E. Detecção de desmatamentos no bioma Cerrado entre 2002 e 2009: Padrões, tendências e impactos. **Revista Brasileira de Cartografia**. n. 63, p. 341–349, 2011.
- RODRÍGUEZ, M. P. R.; SOARES, R. V. Análiss comparativo entre los incendios forestales en Monte Alegre, Brasil y Pinar del Río, Cuba. **Floresta**, v. 34, n. 2, p. 101-107, 2004.
- SAMPAIO O. B. **Análise da eficiência de quatro índices na previsão de incêndios florestais para a região de Agudos – SP**. 1999. 157 f. (Tese Doutorado), Curitiba, Universidade Federal do Paraná, 1999.
- SAMPAIO, O. B. **Estudo comparativo de índices, para previsão de incêndios florestais, na região de Coronel Fabriciano, Minas Gerais**. 1991. 88 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1991.
- SANT’ANNA, C. M.; FIEDLER, N. C.; MINETTE, L. J. **Controle de incêndios florestais**. Alegre: Suprema. p. 152. 2007.
- SANTOS, J. F. et al. Evolução do perfil dos incêndios florestais em áreas protegidas no Brasil, de 1993 a 2002. Curitiba: **Floresta**, v.36, n.1, p.93-100, 2006.
- SEMA- Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Recursos Naturais. **Plano de ação para prevenção e controle do desmatamento e das queimadas no estado do Maranhão**, São Luís, 2011. Disponível em: <http://www.fundoamazonia.gov.br/export/sites/default/pt/.galleries/documentos/prevencao-e-controle-do-desmatamento/Plano_Estadual_Maranhao.pdf>. Acesso em: 03/Jun/2019.
- SILVA, F. B., SANTOS, J., ARAÚJO, M., SILVA JUNIOR, C. Análise espaço-temporal da precipitação no estado do Maranhão no período de 2003 a 2012. In: **Proceedings of Safety, Health and Environment World Congress**. 2014. p. 123-125.
- SILVA, J. C. D., FIEDLER, N. C., RIBEIRO, G. A., SILVA JÚNIOR, M. C. D. Avaliação de brigadas de incêndios florestais em unidades de conservação. **Viçosa: Revista Árvore**, v.27 n.1, p.95-101. 2003.
- SOARES, R. S. BATISTA, A. C. NUNES, J. R. S. **Incêndios Florestais no Brasil**, v.1, p.246, 2009.
- SOARES, R. S. Perfil dos incêndios florestais no Brasil em 1983. **Revista Floresta**, Curitiba, v. 58, nº 13, p. 31- 42. 1984.
- SOARES, R. S. Perfil dos incêndios florestais no Brasil, de 1984 a 1987. **Revista Floresta**, Curitiba, v. 18, n. 12, p. 94 – 121. 1988.
- SOARES, R. V. Desempenho da “Fórmula de Monte Alegre” índice brasileiro de perigo de incêndios florestais. **Revista Cerne**, Lavras, v. 4, n. 1, p. 87-99, 1998.
- SOARES, R. V. Estatísticas dos incêndios florestais no Brasil. In: SOARES, R. V.; BATISTA, A. C.; NUNES, J. R. S. **Incêndios florestais no Brasil: o estado da arte**. Curitiba: UFPR, 2009. p. 1-20.

- SOARES, R. V. Índices de perigo de incêndio. **Floresta**, Curitiba, v. 3, n. 3, p. 19 - 40, 1972.
- SOARES, R. V.; BATISTA, A. C. **Incêndios Florestais: controle, efeitos e uso do fogo**. Curitiba: UFPR, 2007. 264 p.
- SOARES, R. V.; BATISTA, A. C.; NUNES, J. R. S. **Manual de prevenção e combate a incêndios florestais**. 2. ed. Curitiba: UFPR, 2008. 55 p.
- 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, p.13, 2012.
- TETTO, A. F, BATISTA, A. C. SOARES, R. V. NUNES, J. R. S. Comportamento e ajuste da fórmula de Monte Alegre na Floresta Nacional de Irati, Estado do Paraná. **Scientia Forestalis**; v.38, n.87, p.409-417, 2010.
- TETTO, A. F. **Comportamento histórico dos incêndios florestais na fazenda Monte Alegre no Período de 1965 a 2009**. 115 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2012.
- TETTO, A. F.; BATISTA, A. C.; PIVOVAR, C. Manejo da biomassa pós-colheita como forma de prevenção aos incêndios florestais. In: SEMINÁRIO DE ATUALIZAÇÃO EM SISTEMAS DE COLHEITA E TRANSPORTE FLORESTAL, 15., 2008, Curitiba. **Anais...** Curitiba: FUPEF, 2008. p. 286.
- TORRES, F. T. 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.; LIMA, G. S.; MARTINS, S. V.; VALVERDE, S. R. Analysis of efficiency of fire danger indices in forest fire prediction. **Revista Árvore**, v.41 n.2, p.1–10, 2017.
- 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.
- VASCONCELOS, S. S. FEARNSIDE, P. M. GRAÇA, P. M. L. A. SILVA, P. R. T. DIAS, D. V. Suscetibilidade da vegetação ao fogo no sul do Amazonas sob condições meteorológicas atípicas durante a seca de 2005. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 30, n. 2, p. 134 - 144, 2015.
- VIEGAS, D. X. REIS, R. M. CRUZ, M. G. VIEGAS, M. T. Calibração do sistema canadiano de perigo de incêndio para aplicação em Portugal. **Silva Lusitana**, v. 12, n. 1, p. 77-93, 2004.
- WHITE, B. L. A. **Análise espacial e temporal de incêndios florestais para o município de Inhambupe, litoral norte da Bahia**. 98 f. Dissertação (mestrado em Agroecossistemas), Universidade Federal de Sergipe, 2013.
- WHITE, B. L. A.; WHITE, L. A. S.; RIBEIRO, G. T.; FERNANDES, P. A. M. Development of a fire danger index for Eucalypt plantations in the northern coast of Bahia, Brazil. **Floresta**, Curitiba, v. 43, n. 4, p. 601-610, 2013.

ANEXOS

Tabela 1. Número de dias distribuídos nas classes de riscos de acordo com os cálculos do índice Nesterov, para os 12 municípios estudado, no período de 2010 a 2018.

Municípios	Nenhum	Fraco	Médio	Grande Perigo	Perigosíssimo
Alto Parnaíba	834	162	299	604	1387
Bacabal	1174	122	230	616	887
Balsas	746	179	262	723	1368
Barra do Corda	962	139	291	715	1176
Carolina	1121	192	315	559	1080
Caxias	692	107	203	538	1046
Chapadinha	865	182	300	703	1236
Colinas	807	228	381	772	1000
Imperatriz	1045	270	324	584	714
São Luis	1077	94	131	292	396
Turialva	1299	151	268	726	843
Zé Doca	1070	156	302	629	1128
Total	11692	1982	3306	7461	12261
%	31,86%	5,40%	9,01%	20,33%	33,41%

Tabela 2. Número de dias distribuídos nas classes de riscos de acordo com os cálculos do índice Telecyn, para os 12 municípios estudado, no período de 2010 a 2018.

Municípios	Nenhum	Pequeno	Médio	Alto
Alto Parnaíba	1403	250	145	1488
Bacabal	1463	270	190	1106
Balsas	1313	272	194	1499
Barra do Corda	1364	313	217	1389
Carolina	1693	226	129	1219
Caxias	975	242	170	1199
Chapadinha	1420	259	191	1416
Colinas	1454	304	213	1217
Imperatriz	1564	270	174	929
São Luís	1088	132	91	679
Turialva	1888	237	165	997
Zé Doca	1716	251	151	1167
Total	17341	3026	2030	14305
%	47,2%	8,2%	5,5%	39,0%

Tabela 3. Número de dias distribuídos nas classes de riscos de acordo com os cálculos do índice FMA, para os 12 municípios estudado, no período de 2010 a 2018.

Municípios	Nulo	Pequeno	Médio	Alto	Muito Alto
Bacabal	585	484	542	592	826
Balsas	479	455	563	550	1231
Alto Parnaíba	527	509	535	403	1312
Barra do Corda	388	446	651	589	1209
Carolina	694	609	547	400	1017
Colinas	319	538	701	637	993
Imperatriz	477	572	639	473	776
São Luis	449	350	311	287	593
Turialva	887	532	528	507	833
Zé Doca	713	542	553	446	1031
Total	5518	5037	5570	4884	9821
%	17,90%	16,34%	18,07%	15,84%	31,86%

Tabela 4. Número de dias com incêndios observados por municípios no período de 2010 a 2018.

Município	Número dias
Alto Parnaíba	1426
Bacabal	1355
Balsas	1618
Barra do Corda	1679
Carolina	1476
Caxias	1550
Chapadinha	1733
Colinas	1596
Imperatriz	1388
São Luis	927
Turialva	1009
Zé Doca	1225

Tabela 5. Distribuição dos valores da precipitação (mm) mensal e anual dos 12 municípios estudados, no período de 1980 a 2018.

Municípios/meses	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Total
Alto Parnaíba	240,32	188,21	241,08	130,74	32,85	3,16	0,93	3,79	18,21	80,22	158,27	198,63	1295,86
Bacabal	244,11	277,43	349,63	335,78	184,68	52,10	19,07	13,83	12,33	30,97	68,16	124,58	1710,91
Balsas	203,86	170,94	193,27	116,49	41,57	4,82	1,82	3,16	24,15	89,57	139,24	176,79	1146,33
Barra do Corda	174,07	186,62	217,70	168,06	69,18	15,55	7,61	9,82	14,61	36,73	74,67	117,99	1085,12
Carolina	270,10	271,46	279,14	188,93	77,87	10,73	6,48	8,73	38,28	126,64	158,03	228,56	1660,91
Caxias	203,04	246,27	325,21	281,82	133,65	31,49	16,44	12,73	11,01	30,63	49,97	119,36	1390,78
Chapadinha	213,13	276,90	348,72	326,04	200,24	68,36	31,18	10,56	4,74	18,12	31,76	87,99	1616,93
Colinas	190,65	190,27	242,30	178,15	77,92	19,36	7,96	7,28	24,75	60,98	94,88	136,56	1221,11
Imperatriz	252,78	223,90	273,30	177,33	77,84	16,13	6,45	10,10	34,66	82,59	127,79	191,25	1434,09
São Luis	223,97	328,49	435,04	438,25	307,74	174,05	118,33	26,19	5,67	5,41	8,94	66,07	2138,15
Turialvo	210,85	311,16	441,11	397,96	298,12	200,15	148,82	46,07	12,65	10,24	6,58	48,61	2130,21
Ze Doca	243,02	313,61	329,56	323,53	204,65	87,92	43,62	19,01	17,82	30,17	45,85	109,73	1766,18
Média	222,49	248,77	306,34	255,26	142,19	56,98	34,06	14,27	18,24	50,19	80,35	133,84	1549,72

Tabela 6. Distribuição dos valores da temperatura (°C) mensal e anual dos 12 municípios estudados, no período de 1980 a 2018.

Municípios	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Média
Alto Parnaíba	31,79	31,81	31,91	32,39	33,10	33,13	33,55	35,01	36,20	35,23	33,14	32,18	33,30
Bacabal	32,82	32,53	32,51	32,57	32,95	33,00	33,36	35,04	36,43	36,51	35,90	34,69	34,04
Balsas	31,02	31,30	31,35	31,94	32,75	33,26	33,70	35,16	35,71	34,29	32,29	31,38	32,85
Barra do Corda	31,37	31,00	30,99	31,40	31,74	32,32	33,27	34,73	35,59	35,18	34,00	32,60	32,84
Carolina	31,07	31,20	31,31	31,89	32,83	33,80	34,77	36,06	35,89	33,72	32,04	31,24	32,99
Caxias	32,93	32,13	31,99	31,98	32,13	32,54	33,38	35,37	36,90	37,25	36,51	35,14	34,03
Chapadinha	32,61	31,75	31,49	31,41	31,53	31,55	32,21	33,93	35,39	35,92	35,66	34,60	33,17
Colinas	31,41	31,18	31,22	31,63	32,17	32,72	33,50	34,99	35,92	35,47	33,91	32,45	33,04
Imperatriz	31,79	31,91	32,05	32,42	33,10	33,67	34,37	35,69	35,72	34,74	33,35	32,44	33,44
São Luis	30,85	30,30	30,07	30,38	31,03	31,21	31,15	31,60	31,92	32,11	32,30	31,94	31,23
Turiação	31,24	30,50	30,22	30,47	30,98	31,11	31,01	31,66	32,25	32,58	32,74	32,35	31,42
Ze Doca	32,20	31,63	31,50	31,71	32,05	32,02	32,38	33,53	34,40	34,74	34,53	33,75	32,89
Média	31,76	31,44	31,39	31,68	32,20	32,53	33,05	34,40	35,19	34,81	33,87	32,90	-

Tabela 7. Distribuição dos valores da umidade relativa do ar (%) mensal e anual dos 12 municípios estudados, no período de 1980 a 2018.

Municípios	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Média
Alto Parnaíba	81,43	82,35	82,77	79,60	73,99	68,78	64,04	58,91	57,69	65,67	75,15	79,38	72,65
Bacabal	81,11	83,17	84,16	84,21	80,69	76,23	72,68	67,79	65,34	66,10	68,21	73,19	74,99
Balsas	80,85	80,72	80,95	77,76	70,85	61,68	53,33	48,31	49,35	62,29	74,42	77,98	68,21
Barra do Corda	82,62	84,92	86,30	85,81	82,20	74,08	65,75	58,97	57,84	62,63	69,46	75,87	73,82
Carolina	83,40	83,83	84,64	82,51	75,93	64,12	54,12	48,31	54,59	70,36	78,62	82,20	71,75
Caxias	74,21	77,32	80,36	82,04	77,87	71,32	64,21	57,23	52,94	53,85	57,20	63,81	67,57
Chapadinha	77,94	82,50	85,25	85,87	82,58	78,07	72,79	66,78	63,46	62,62	63,74	67,83	74,12
Colinas	82,00	83,40	85,71	83,97	79,27	71,90	63,70	56,26	55,28	60,84	69,90	76,42	72,65
Imperatriz	81,49	81,65	82,42	81,01	76,70	70,58	63,86	59,76	61,83	67,35	74,20	78,10	73,25
São Luis	82,91	85,35	87,04	88,17	86,66	84,80	84,37	81,11	78,05	76,87	76,70	78,05	82,55
Turiação	83,10	86,42	88,55	89,17	87,46	85,89	84,93	81,51	78,02	76,86	76,87	78,34	83,10
Zé Doca	80,44	83,89	85,18	84,72	82,02	78,79	75,82	71,41	67,63	66,37	67,02	71,50	76,24
Média	80,96	82,96	84,44	83,74	79,69	73,85	68,30	63,03	61,84	65,98	70,96	75,22	-