

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RECÔNCAVO DA BAHIA
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS, AMBIENTAIS E BIOLÓGICAS

CAMILA FREITAS MOINHOS DE MIRANDA

**AVALIAÇÃO DE ÍNDICES DE PERIGO DE INCÊNDIO PARA A ECORREGIÃO DA
CHAPADA DIAMANTINA**

Cruz das Almas – Bahia

2018

CAMILA FREITAS MOINHOS DE MIRANDA

**AVALIAÇÃO DE ÍNDICES DE INCÊNDIO PARA A ECORREGIÃO DA CHAPADA
DIAMANTINA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Colegiado do Curso de Graduação em Engenharia Florestal da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia – UFRB pela estudante Camila Freitas Moinhos de Miranda como requisito parcial para obtenção do grau de bacharel em Engenharia Florestal.

Orientador: Everton Luís Poelking.

Cruz das Almas – Bahia

2018

CAMILA FREITAS MOINHOS DE MIRANDA

**AVALIAÇÃO DE ÍNDICES DE PERIGO DE INCÊNDIO PARA A ECORREGIÃO DA
CHAPADA DIAMANTINA**

Trabalho de conclusão de curso apresentado à
Universidade Federal do Recôncavo da Bahia como
requisito parcial para a obtenção do título de bacharel
em Engenharia Florestal.

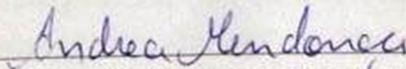
Aprovado em: 10 de Setembro de 2018.

BANCA EXAMINADORA



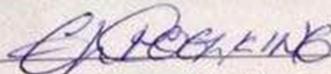
Dr. Liniker Fernandes da Silva

Professor Adjunto na Universidade Federal do Recôncavo da Bahia – UFRB



Dr.^a Andrea Vita Reis Mendonça

Professora Adjunta na Universidade Federal do Recôncavo da Bahia – UFRB



Dr. Everton Luis Poelking

Professor Adjunto na Universidade Federal do Recôncavo da Bahia – UFRB

AGRADECIMENTOS

A toda a minha família, em especial aos meus pais Josemar Moinhos e Regina Moinhos por todo apoio, dedicação e amor. Vocês tornaram essa conquista possível.

Às minhas irmãs, Nathália Moinhos e Júlia Moinhos, às minhas tias Rita Vasconcelos e Aparecida Vasconcelos, e à minha madrinha Luciane Moinhos, por todo o carinho e apoio.

Ao meu orientador, professor Dr. Everton Luís Poelking, por todos os ensinamentos transmitidos, pela paciência, bondade, compreensão e por sempre ter acreditado em meu potencial.

À Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, a todos os docentes e demais funcionários que contribuíram para minha formação acadêmica, em especial a Liniker Fernandes, Andrea Vita e Ruth Exalta, pelo apoio.

A todos os colegas da turma 2011.1 do curso de Engenharia Florestal da UFRB, pelo companheirismo.

A toda a equipe Fisk Cruz das Almas, por ter sido peça fundamental para minha formação profissional, pelo carinho, cuidado e alegrias diárias.

A todos os amigos queridos que a UFRB bondosamente colocou em meu caminho, em especial à Gessica do Carmo, Dayane Lopes, Camila Luz, Isabella Oliveira, Heitor Lemes, Mariela Brito, Maria Clara Medrado, Jessica Cavalotti, Camilo Maia, Emília Sampaio e Evelyn Rocha, o meu muito obrigada, por estarem ao meu lado nos momentos mais felizes e mais difíceis que vivi durante essa jornada.

A todos os meus amigos de longa data que sempre estiveram presentes, apesar da distância física, em especial à Dayany Calixto, Caroline Costa, Marília Meneses e Suelen Sampaio.

À Família ACCC, aos colegas do College of the Rockies e a todas as amigas construídas durante a realização do programa Ciência sem Fronteiras.

A Deus pelas bênçãos e ao universo pela sincronicidade, gratidão.

RESUMO

A região da Chapada Diamantina (BA) sofre com incêndios recorrentes que interferem na vegetação e atingem negativamente a fauna local. Os índices de perigo de incêndio são fórmulas matemáticas que utilizam dados meteorológicos para calcular a probabilidade de ocorrência de incêndio para determinada área. Os índices de Angstron, de Nesterov, de Telicyn e a Fórmula de Monte Alegre Alterada, são comumente utilizados no Brasil. Portanto, o objetivo deste estudo foi avaliar o modelo matemático de índice de perigo de incêndio que melhor se ajusta às condições do Parque Nacional da Chapada Diamantina. Foram utilizados o teste de diagnóstico e o *Heidke Skill Score* para comparar os índices. De acordo com os resultados obtidos, o índice mais eficiente foi o índice de Angstron. Apesar do melhor desempenho em comparação aos demais índices, o índice de Angstron não é um bom preditor de incêndios para o Parque Nacional da Chapada Diamantina. Para que a predição de ocorrência de incêndio seja mais precisa é de extrema importância coletar e escriturar, por sub-região, os dados climáticos, topográficos e vegetacionais, para que outros índices possam ser testados, adaptados ou criados para as condições dessa região.

Palavras-chave: Índice de perigo de incêndio, *Heidke Skill Score*, Unidade de conservação.

ABSTRACT

The vegetation and fauna of Chapada Diamantina region, in Brazil, have been suffering serious disturbances due to frequent wildfire occurrences. Fire indexes are mathematical equations that use meteorological data to calculate the probability of a fire occurrence in a determined area. The Angstron, Nesterov and Telicyn indexes and the *Fórmula de Monte Alegre Alterada* are commonly applied to the Brazilian areas. Therefore, the objective of this paper is to evaluate the fire index that is better suited for the conditions of Chapada Diamantina National Park. Diagnostic tests and Heidke Skill Score were calculated to compare the indexes. According to the results obtained in this study, the most efficient index was the Angstron Index. Although, the Angstron Index had the best performance among the indexes tested, it is not a good fire index for the Chapada Diamantina National Park. In order to obtain precise fire predictions, it is of great importance that climate, topographic, and vegetation data are collected and cataloged by sub-region, so that other indexes can be tested, adapted or created for this region.

Keywords: Fire index, Heidke Skill Score, Conservation areas.

Sumário

1. INTRODUÇÃO	6
2. REVISÃO DE LITERATURA	7
2.1 Incêndios Florestais no Parque Nacional da Chapada Diamantina	7
2.2 Risco e Perigo de Incêndio	8
2.3 Índices de Perigo de Incêndio	10
3. MATERIAL E MÉTODOS	11
3.1 Caracterização da Área de Estudo	11
3.2 Dados	12
3.3 Índices de Perigo de Incêndio	13
3.4 Análise dos Dados	17
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	19
5. CONCLUSÃO	23
6. REFERÊNCIAS	24

1. INTRODUÇÃO

As florestas são bens comuns de todos os seres vivos, dotadas de função ambiental, econômica e social, sendo essencial para a manutenção da vida na Terra. Dada essa importância, a lei de N.º. 9985 de 18 de julho do ano 2000 institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza, que tem como um de seus objetivos colaborar com a preservação e conservação de ecossistemas naturais (MORAIS, 2011). Esta lei classifica os parques nacionais como unidades de conservação integral, sendo o uso de seus recursos naturais permitido apenas de forma indireta. A criação de parques tem a finalidade de preservar ecossistemas de importância ecológica e que apresentam beleza cênica, assim como, ofertar um espaço para a produção de pesquisas científicas, tornando possível a realização de atividades de cunho educacional e turístico (MMA, 2007).

O Parque Nacional da Chapada Diamantina (PNCD) foi estabelecido pelo Decreto Federal de N.º. 91655 de 17 de setembro de 1985, localizado na região central da Bahia, compreendendo 6 municípios no total, ocupando uma área de aproximadamente 152400 hectares. Seu primeiro plano de manejo foi criado em 2007, em cumprimento da lei de N.º. 9985 de 18 de julho do ano 2000 com a meta de reduzir a perda ecológica ocorrente nesta área (MMA, 2007).

Estudiosos e moradores locais associam a perda ecológica à ocorrência de incêndios na área do parque. Apesar dos campos rupestres e do cerrado, (vegetações presentes na ecorregião da Chapada Diamantina) serem moldados por eventos recorrentes de fogo (DURIGAN & RATTER, 2016; NEVES & CONCEIÇÃO, 2010) não há estudos suficientes que indiquem se a interação da vegetação do parque com o fogo é positiva ou negativa.

Os incêndios que ocorrem na região do PNCD geralmente são associados às atividades antrópicas, por meio de atividades como queimadas para renovação de pastagens, queimadas para limpeza de áreas e ações diversas que causam eventos de fogo ocasionais na beira de rodovias ou em áreas mais afastadas do parque (JUNCÁ et al., 2005).

A região da Chapada Diamantina é acometida por incêndios, anualmente, de gravidade média a alta (MORAIS, 2007) indicando que as práticas de prevenção adotadas no Brasil, especificamente no PNCD, não têm sido suficientes para manter a ocorrência de queimadas sob

controle (NUNES, 2009). Haja vista que, é preferível evitar a ocorrência de um incêndio do que combatê-lo depois de estabelecido o vigor do fogo (SOARES, 1972).

Uma possível forma de monitorar a possibilidade de ocorrência de fogo em determinada região é através de índices de perigo de incêndio. Estes índices calculam a probabilidade de ocorrência de fogo em função das condições meteorológicas de um determinado local e período (SOARES & BATISTA, 2007). Portanto, um índice quando adequado às peculiaridades locais é capaz de prever eventos de fogo, tornando possível a identificação de formas mais eficientes e rápidas para prevenir e combater os incêndios e reduzir as perdas ambientais, econômicas e sociais que este fenômeno pode vir a causar (SOARES, 2009).

No Brasil, os índices de perigo mais utilizados são o índice de Nesterov, o índice de Angstrom e a Fórmula de Monte Alegre Alterada (SOARES & BATISTA, 2007). Destes índices, somente a Fórmula de Monte Alegre Alterada foi desenvolvida baseada em características ambientais brasileiras. Soares & Batista (2007) apontam que as empresas e instituições florestais brasileiras costumam utilizar as equações matemáticas internacionais de Angstrom e Nesterov para calcular o índice de perigo de incêndio de determinada área.

Sendo assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar a eficiência dos índices de Angstrom, Nesterov, Telicyn e Fórmula de Monte Alegre em prever a ocorrência de incêndios no Parque Nacional da Chapada Diamantina.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Incêndios Florestais no Parque Nacional da Chapada Diamantina

A paisagem pode mudar completamente e permanentemente após a passagem de um incêndio, sendo o fogo um agente de transformação da vegetação. Incêndio florestal é definido como sendo qualquer forma de fogo descontrolado que ocorrer em uma área florestal (NWCG, 2008). A ocorrência do fogo nas florestas brasileiras é fonte de grave perturbação, dessa forma é essencial que os episódios de fogo sejam escriturados de maneira que informe o local, o período e se disponível, o agente causador (SOARES, 2009). Essas informações são de fundamental importância para que medidas de prevenção sejam tomadas de maneira mais eficiente.

Um incêndio pode ser iniciado por causas naturais ou devido às ações antrópicas. Tendo em vistas as causas naturais, um incêndio pode ser ocasionado em decorrência de cristais livres e expostos na superfície do solo que, através da combinação do posicionamento destes com as condições climáticas e do combustível presente, fornecem uma quantidade de calor capaz de iniciar o fogo. Outra forma natural de um incêndio ser iniciado é por meio do rolamento de pedras soltas, que através do atrito com outras rochas, geram faíscas que em contato com o combustível seco ocasionam fogo (MORAIS, 2011). Essas duas formas naturais são raras de ocorrer. A causa natural mais comum se dá por meio de descargas elétricas (SOARES & BATISTA, 2007), porém, estas ocorrem comumente em períodos chuvosos, no qual a vegetação se apresenta muito úmida, dificultando a ignição do fogo, e o raio geralmente é seguido de chuva, facilitando a extinção de uma possível chama gerada em decorrência dele (MORAIS, 2011).

De acordo com o IBAMA (2008), o PNCD é a unidade de conservação brasileira que apresenta o maior número registrado de focos de incêndios. Porém, a sistematização dos dados das ocorrências observadas pelos brigadistas do parque ainda é falha, gerando uma insuficiência de informações que são extremamente importantes para dar subsídios a um manejo mais eficiente no quesito em questão (MESQUITA et al., 2011).

Muitas são as causas levantadas como precursoras dos incêndios no PNCD. A ação antrópica seria a principal causadora das queimadas descontroladas (BERLINCK et al., 2010). Gonçalves et al. (2011) considera comum a prática de atear fogo na região onde a espécie *Comanthera mucugensis* (sempre-viva-de-mucugê) ocorre, já que suas populações são renovadas com a passagem do fogo. Funch (2007) relata que as atividades de criação de animais, agricultura, turismo e garimpo (os garimpeiros ateam fogo na vegetação para abrir caminhos e montar acampamento) realizadas sem um planejamento adequado são possivelmente as causas dos incêndios que ocorrem no parque.

2.2 Risco e Perigo de Incêndio

Quando se trata de incêndios, existe uma indefinição quanto à terminologia empregada nesta área. No Brasil, o risco e o perigo de incêndio são dois termos largamente utilizados, porém confundem-se com as definições internacionais devido a uma questão de nomenclatura. A

literatura internacional, geralmente, emprega três termos principais: *fire risk*, *fire danger* e *fire hazard*.

Bachmann & Allgower (1999) definem risco de incêndio como a probabilidade de ocorrência de um incêndio num local específico às dadas circunstâncias e seu esperado desfecho, sendo esse, os impactos causados na área.

A FAO (1986) define risco de incêndio como sendo a chance do fogo se iniciar, chance essa afetada pelas condições da natureza e pela incidência de agentes causadores.

O CCFFM (1987) conceitua risco de incêndio como sendo a probabilidade de início de fogo, determinada pela presença de agentes causadores ou de atividades potencialmente causadoras de incêndio. Estas três definições exibem um ponto em comum, sendo ele a concordância quanto ao risco de incêndio ser basicamente a chance do incêndio começar, ainda sem focar nas consequências deste.

Para o termo *fire danger* (perigo de incêndio) a definição mais aceita no meio acadêmico é como sendo um termo geral, geralmente expresso por um índice, usado para expressar fatores constantes e variáveis do ambiente em que há a ocorrência de incêndio, que determina a facilidade de ignição, o grau de propagação, a dificuldade de controle e o impacto causado pelo fogo (FAO, 1986; CCFFM, 1987). Portanto, a definição de perigo de incêndio e todas as suas derivações podem ser bem empregadas para a criação e adaptação de índices de perigo para a prevenção de incêndios em determinadas áreas.

O terceiro termo *fire hazard*, sem equivalente na língua portuguesa, é o mais complexo na terminologia internacional, por possuir várias definições e por, geralmente, não apresentar um equivalente em outras línguas. De acordo com a FAO (1986) *fire hazard* é um combustível complexo, que é definido pelo seu volume, tipo, organização, e localização, que determina o grau de facilidade de ignição e o grau de dificuldade de combate. O CCFFM (1987) define *fire hazard* como o potencial comportamento do fogo, não levando em consideração à condição de umidade do combustível e/ou as barreiras que podem estar entre o fogo inicial e o combustível (baseando-se apenas nas características físicas desse combustível como, por exemplo, disposição no espaço e sua quantidade). Para Bachmann e Allgower (1999) *fire hazard* consiste no próprio processo do incêndio que causa destruição e modifica o ambiente em que ocorre, sem necessariamente ser algo considerado ruim.

Percebe-se que há uma sobreposição dos termos *fire risk* e *fire danger*, sendo estes complementares. Portanto, para o presente trabalho serão adotadas as seguintes definições: risco de incêndio é a percepção da chance de ocorrência do fogo em determinada área sem a determinação da probabilidade matemática; perigo de incêndio é a probabilidade matemática de ocorrência de fogo em determinado local em função de sua vegetação, condições meteorológicas e outros fatores constantes e variáveis; e *fire hazard* é o incêndio em si, e todo o impacto causado por ele.

2.3 Índices de Perigo de Incêndio

Por todo o mundo, são utilizados índices de perigo de incêndio para obter a probabilidade e a dimensão de ocorrência de um evento de fogo. Estes índices visam quantificar essa probabilidade e traduzir esses números para classes de perigo para, mais facilmente, alertar aos órgãos responsáveis e aos cidadãos que transitam pelas áreas de risco (áreas que apresentam condições ambientais favoráveis à ocorrência de fogo), possibilitando a adoção de eficientes medidas preventivas.

Esses índices se baseiam em fatores variáveis e constantes. Como exemplo de fatores variáveis têm-se as condições climáticas, e de fatores constantes têm-se topografia, relevo, tipologia vegetal, entre outros.

Os índices de perigo de incêndio são separados em dois grupos, os de ocorrência e os de propagação. Os de ocorrência geralmente fazem uso dos fatores variáveis, apontando a chance do fogo ocorrer. Os de propagação empregam fatores variáveis e constantes para sinalizar o possível comportamento do fogo durante um incêndio. Os índices que lidam com características meteorológicas são acumulativos quando utilizam dados de dias passados e não acumulativos quando utilizam apenas os dados de um dia em específico (NUNES, 2009).

Os índices mais utilizados no Brasil são o índice de Nesterov, o índice de Angstron, e a Fórmula de Monte Alegre Alterada (SOARES & BATISTA, 2007). O índice de Telicyn também é utilizado em menor escala (TORRES & RIBEIRO, 2008).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Caracterização da Área de Estudo

O Parque Nacional da Chapada Diamantina está localizado na área central do Estado da Bahia, no planalto geograficamente conhecido como Serra do Sincorá, que é integrante de um conjunto maior de relevos serranos denominado de Chapada Diamantina, que é um prolongamento da Cadeia do Espinhaço que se inicia no Estado de Minas Gerais (MMA, 2007). Lá atuam quatro massas de ar: Equatorial Continental; Tropical Continental; Tropical Atlântica e Polar. A ação dessas quatro massas de ar associadas às elevadas altitudes promovem condições necessárias para o desenvolvimento do clima tropical semiúmido no centro da região, predominando o semiárido à sua volta, tendo temperatura média anual de 20°C (MMA, 2007).

A região da Chapada Diamantina é caracterizada por relevos serranos, planaltos e áreas cársticas que se desenvolveram sobre rochas sedimentares. Essa região se sobressai em relação às áreas que a circundam, por ser uma área elevada, quase toda acima de 500 metros de altitude, com altitudes de até 1800 metros, e picos isolados que atingem acima de 2000 metros (JUNCÁ et al., 2005).

Essa região é bastante acidentada. O relevo dessa área apresenta grandes maciços residuais, topos rochosos, vales estreitos e profundos, declives íngremes, grandes superfícies planas de altitude, serras altas, estreitas e alongadas (JUNCÁ et al., 2005). São três as suas principais feições de relevo, superfícies semi-aplainadas do topo, escarpas frontais e alvéolos.

Diversos são os tipos de vegetação que estão presentes na região da Chapada Diamantina, sendo que essa diversidade está associada às características de sua geografia física. Áreas de cerrado são predominantes onde o solo é mais arenoso e áreas de campos rupestres são predominantes em altitudes acima de 1000 metros, onde há uma maior ocorrência de afloramentos rochosos. Áreas de Caatinga, que ocupam grande extensão da ecorregião, estão presentes em altitudes de até 1000 metros onde se misturam com o bioma Cerrado (JUNCÁ et al., 2005). Juncá et al. (2005) ressalta que as condições do relevo dessa região sofreram importantes modificações no século XX devido às atividades relacionadas ao garimpo de diamantes.

Para a realização desse estudo, foram analisados dados referentes ao Parque Nacional da Chapada Diamantina e seu entorno, de coordenadas 12°25' e 13°20' de latitude sul e 41°25' de

longitude oeste e uma área de aproximadamente 152400 hectares. Os municípios que fazem parte do PNCD são Andaraí, Ibicoara, Lençóis, Mucugê, Itaetê e Palmeiras (MMA, 2007). De acordo com o plano de manejo do parque a precipitação média anual é de 1215 milímetros (MMA, 2007).

3.2 Dados

Os dados coletados foram sistematizados em um banco de dados para que fossem aplicados nos modelos matemáticos de índice de perigo.

Compondo o banco de dados estão os Relatórios de Ocorrência de Incêndios (ROI's) dos anos de 2012, 2014 e 2015, fornecidos pelos brigadistas do parque, relatando informações a respeito dos incêndios combatidos, como o dia de início e extinção do fogo. Os dados meteorológicos (horários) da estação do município de Lençóis (Código OMM 83242), com as informações de umidade relativa do ar, pressão atmosférica máxima, temperatura, temperatura do ponto de orvalho, precipitação total do dia, e velocidade do vento para os anos de 2012, 2014 e 2015, fornecidos pelo INMET, também compõem o banco de dados. As informações referentes ao ano de 2013 não compuseram o banco de dados devido à ausência ou incompletude dos dados fornecidos pelo INMET.

Para o cálculo dos índices utilizou-se dados meteorológicos do horário de máxima temperatura e mínima umidade relativa do ar, que corresponde as 16h00min (figura 01). Estas condições favorecem o início e a propagação do fogo.

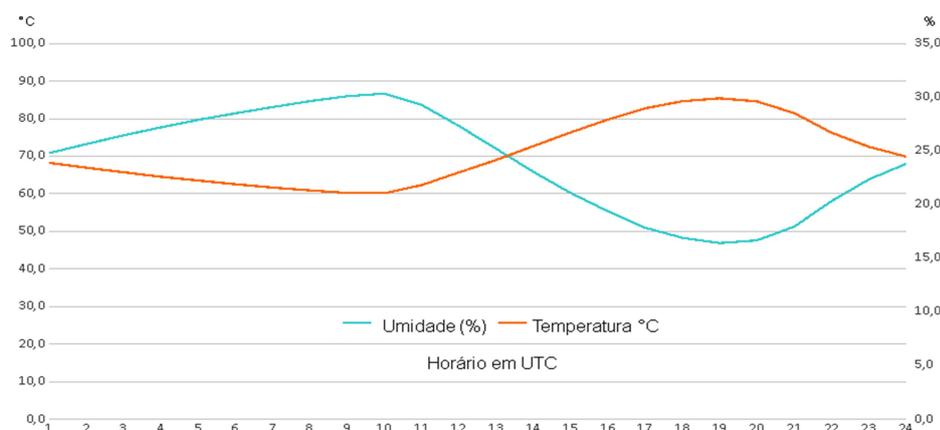


Figura 01. Relação entre a temperatura e a umidade do ar para a estação meteorológica de Lençóis (Código OMM 83242) durante os anos de 2012 a 2017, em função do horário (UTC) da coleta de dados.

3.3 Índices de Perigo de Incêndio

Serão testados os seguintes índices, adaptando o horário de coleta dos dados das 13h00min para as 16h00min, já que estes índices foram desenvolvidos para regiões de características geográficas diferentes das características da região em estudo.

a) Índice de Angstron

O índice de Angstron, (SOARES, 1984) que se baseia principalmente na temperatura e na umidade relativa do ar, sendo os valores medidos às 13h00min de cada dia, foi elaborado na Suécia. Este índice utiliza a seguinte equação matemática:

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

B = Índice de Angstron;

H = Umidade relativa do ar em %;

T = Temperatura do ar em °C.

Este índice é não acumulativo e indica que existirá risco de incêndio sempre que os valores de “B” forem inferiores a 2,5, indicando que as condições atmosféricas daquele dia estão propícias à ocorrência de incêndio (SOARES, 1984).

b) Índice de Nesterov

Assim como o índice de Angstron, o índice de Nesterov (SOARES, 1984) também tem suas medidas tomadas às 13h00min, sendo a temperatura e o déficit de saturação do ar as variáveis utilizadas para o cálculo do índice. Este índice foi elaborado na Rússia e tem a seguinte equação matemática:

$$G = \sum_{i=1}^n di \cdot Ti$$

G = Índice de Nesterov;

di = Déficit de saturação do ar em milibares;

Ti = Temperatura do ar em °C;

n = Número de dias sem chuva maior que 10,0 mm.

Para calcular o déficit de saturação do ar, basta igualar a diferença entre a pressão máxima e a pressão real de vapor d'água:

$$d = E (1 - H/100)$$

d = Déficit de saturação do ar em milibares;

E = Pressão máxima de vapor d'água em milibares;

H = Umidade relativa do ar em %.

Com relação ao índice de Nesterov, há uma tabela de restrições (tabela 01) relacionada à ocorrência de precipitação que limita o somatório, já que o índice é acumulativo.

Tabela 01. Modificação do cálculo devido à quantidade de chuva do dia.

Chuva do dia (mm)	Modificação no cálculo
≤ 2,0	Nenhuma
2,1 a 5,0	Reduzir 25% no valor de G calculado no dia anterior e somar (d.t) do dia.
5,1 a 8,0	Reduzir 50% no valor de G calculado no dia anterior e somar (d.t) do dia.
8,1 a 10,0	Desprezar a soma anterior e começar um novo cálculo, ou seja, G = (d.t) do dia.
> 10,0	Cessar o cálculo (G=0), e começar novamente a somatória no dia seguinte ou quando não houver mais chuva.

Fonte: SOARES, 2009.

Há outra tabela também a ser seguida (tabela 02) que, de acordo com os valores de “G”, após a modificação do cálculo, indica o risco de incêndio.

Tabela 02. Escala de perigo de Nesterov.

Valor de G	Grau de perigo
≤ 300	Nenhum risco
301 a 500	Risco pequeno
501 a 1000	Risco médio
1001 a 4000	Grande risco
> 4000	Perigosíssimo

Fonte: SOARES, 2009.

c) Índice de Telicyn

Desenvolvido pela União Soviética, o índice logarítmico de Telicyn é acumulativo e toda vez que ocorrer precipitação igual ou acima de 2,5 mm a somatória deverá ser zerada, recomeçando o cálculo no dia seguinte ou quando cessar a precipitação. Este índice é representado pela seguinte equação (TELICYN, 1970):

$$I = \sum_{i=1}^n \log(Ti - Ri)$$

I = Índice de Telicyn;

T = Temperatura em °C medida às 13h00min;

R = Temperatura em °C do ponto de orvalho;

Log = Logaritmo na base 10.

Tabela 03. Valor do índice de Telicyn e seu grau de perigo correspondente.

Valor de I	Grau de perigo
≤ 2	Nenhum
2,1 a 3,5	Pequeno
3,6 a 5,0	Médio
> 5,0	Alto

Fonte: WHITE & RIBEIRO, 2010.

d) Fórmula de Monte Alegre Alterada

A Fórmula de Monte Alegre Alterada (FMA+) como o próprio nome indica, surgiu a partir da alteração da inicial Fórmula de Monte Alegre, desenvolvida para a região central do Paraná, que se baseia em variáveis meteorológicas, indicando a probabilidade de um incêndio se iniciar caso exista uma fonte de calor (NUNES, et al., 2006). Para torná-la mais eficiente na prevenção e combate aos incêndios, por agora também poder indicar o potencial de propagação do fogo, foi adicionado a este índice de perigo a variável velocidade do vento que está diretamente relacionada à propagação de um incêndio florestal. A Fórmula de Monte Alegre Alterada é acumulativa e tem seu cálculo modificado de acordo com o volume de precipitação total do dia (tabela 04).

Tabela 04. Modificação no cálculo da FMA+ de acordo com a precipitação do dia.

Chuva do dia (mm)	Modificação no cálculo
≤ 2,4	Nenhuma
2,5 a 4,9	Reduzir 30% na FMA+ calculada no dia anterior e somar (100/H) do dia.
5,0 a 9,9	Reduzir 60% na FMA+ calculada no dia anterior e somar (100/H) do dia.
10,0 a 12,9	Reduzir 80% na FMA+ calculada no dia anterior e somar (100/H) do dia.
> 12,9	Cessar o cálculo (FMA+=0) e começar novamente o somatório no dia seguinte ou quando a precipitação for menor ou igual a 2,4.

Fonte: NUNES et al., 2006.

Para saber o grau de perigo estimado, é observada uma escala de acordo com a tabela 05. (NUNES, et al., 2006). Portanto, tem-se o seguinte índice de perigo:

$$FMA^+ = \sum_{i=1}^n \left(\frac{100}{Hi} \right) e^{0,04v}$$

FMA⁺ = Fórmula de Monte Alegre Alterada;

H = Umidade relativa do ar (%), medida às 13h00min;

n = Número de dias sem chuva maior ou igual a 13,0 mm;

e = Velocidade do vento em m/s, medida às 13h00min; sendo o fator de propagação, calculado pelos modelos lineares e exponenciais.

Tabela 05. Grau de perigo da FMA+.

Valor de FMA+	Grau de perigo
≤ 3,0	Nulo
3,1 a 8,0	Pequeno
8,1 a 14,0	Médio
14,1 a 24,0	Alto
> 24,0	Muito alto

Fonte: NUNES et al., 2006.

3.4 Análise dos Dados

Para avaliar o desempenho dos índices será utilizado o método *Heidke Skill Score* (HSS) (HEIDKE, 1926) que se baseia em uma tabela de contingência (tabela 06). Nesta tabela, serão comparadas as ocorrências estimadas e as ocorrências observadas para um determinado evento.

Tabela 06. Modelo de tabela de contingência utilizada para calcular o *Heidke Skill Score*.

Evento	Observado		Total Previsto	
	Incêndio	Não Incêndio		
Previsto	Incêndio	a	b	a + b
	Não Incêndio	c	d	c + d
Total Observado	a + c	b + d	a + b + c + d	

Fonte: SAMPAIO, 1999.

O *Heidke Skill Score* ($HSS = 2x(a \times d) - (b \times c) / [(a + c) \times (c + d) + (a + b) \times (b + d)]$) mede a fração de previsões corretas ao eliminar as previsões que estariam corretas devido ao acaso (CAWCR, 2015). Se $HSS = 1$, não há previsões incorretas, para $HSS = -1$ não há previsão correta, e o resultado igual à zero, indica que não há eventos previstos ou não há eventos observados (SWPC, 2018). Portanto, quanto mais próximo do número 1 for o resultado do HSS, melhor o será o índice para prever a probabilidade de ocorrência de incêndio.

Para analisar os dados foram calculados a prevalência das ocorrências, a sensibilidade, a especificidade, o valor preditivo positivo, o valor preditivo negativo e a porcentagem de sucesso ($PS = (a + d) / (a + b + c + d)$). A prevalência ($P = a + c / a + b + c + d$) indica a proporção de dias em que houve ocorrência de incêndios em relação ao total de dias analisados. A sensibilidade ($S = a / (a + c)$) representa a capacidade do índice de classificar como “ocorrência” os dias que tiveram a ocorrência de fogo observada. A especificidade ($E = d / (b + d)$) representa a capacidade do índice classificar como “não ocorrência” os dias nos quais não houve registro de fogo (WILSON & JUNGNER, 1968). O valor preditivo positivo ($VPP = S * P / S * P + [(1 - E) * (1 - P)]$) representa a probabilidade da previsão de ocorrência de incêndio estar correta. O valor preditivo negativo ($VPN = E * (1 - P) / [(E * (1 - P)) + [(1 - S) * E]]$) representa a probabilidade da previsão de não ocorrência de incêndio estar correta (PARIKH et al., 2008). Sendo “a” o

número de dias em que a ocorrência foi prevista e também observada (verdadeiro positivo), “b” o número de dias em que houve alarme falso (falso positivo), “c” o número de dias em que a predição falhou (falso negativo) e “d” o número de dias em que a predição de não ocorrência foi precisa (verdadeiro negativo).

Portanto, para calcular o *Heidke Skill Score* e as demais medidas, foram designadas duas classes de acordo com os valores obtidos por cada índice, sendo elas “ocorrência de fogo” e “não ocorrência de fogo” (tabela 07). Para o índice de Angstron, valores abaixo de 2,5 indicam a ocorrência do fogo e valores acima ou iguais a 2,5 indicam a não ocorrência. Para os índices de perigo de incêndio que classificam os seus resultados em mais de duas classes, foi feita a junção das classes reduzindo-as em duas para cada índice (WHITE & RIBEIRO, 2010). Portanto, o índice de Nesterov indica a não ocorrência de incêndio quando apresentar valores menores ou iguais a 500, representando as classes originais “nenhum risco” e “risco pequeno”, valores acima de 500 indicam a ocorrência de incêndios, representando as classes “risco médio”, “grande risco” e “perigosíssimo”. Para a FMA+, os valores abaixo ou iguais a 8,0, que representam as classes “nulo” e “pequeno”, indicam a não ocorrência de fogo, e os valores acima de 8,0, que representam as classes “médio”, “alto” e “muito alto”, indicam a ocorrência de fogo. O índice de Telicyn indica a não ocorrência de incêndio quando obtém valores iguais ou menores que 3,5, que representam as classes “nenhum” e “pequeno”, e indicam a ocorrência de incêndio quando obtiver valores acima de 3,5, representando as classes “médio”, “alto” e “muito alto”.

Tabela 07. Classes de perigo de incêndio para todos os índices.

Índice	Valores que representam a possibilidade de ocorrência do fogo	Valores que representam a possibilidade de não ocorrência do fogo
Angstron	< 2,5	≥ 2,5
Nesterov	> 500	≤ 500
FMA+	> 8,0	≤ 8,0
Telicyn	> 3,5	≤ 3,5

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Depois de calculados os índices, foram obtidas 4 tabelas de contingência referentes aos índices de Angstron (tabela 08), de Nesterov (tabela 09), de Telicyn (tabela 10) e a FMA+ (tabela 11). Para os dados analisados, a prevalência foi de 17,24%, representando a porcentagem de dias em que a ocorrência de fogo na região do PNCD foi observada.

Tabela 08. Tabela de contingência – Índice de Angstron.

Evento	Observado		Total Previsto	
	Incêndio	Não Incêndio		
Previsto	Incêndio	176	581	757
	Não Incêndio	13	326	339
Total Observado		189	907	1096

Tabela 09. Tabela de contingência - Índice de Nesterov.

Evento	Observado		Total Previsto	
	Incêndio	Não Incêndio		
Previsto	Incêndio	186	856	1042
	Não Incêndio	3	51	54
Total Observado		189	907	1096

Tabela 10. Tabela de contingência - Índice de Telicyn.

Evento	Observado		Total Previsto	
	Incêndio	Não Incêndio		
Previsto	Incêndio	164	539	703
	Não Incêndio	25	368	393
Total Observado		189	907	1096

Tabela 11. Tabela de contingência - FMA+.

Evento	Observado		Total Previsto	
	Incêndio	Não Incêndio		
Previsto	Incêndio	180	711	891
	Não Incêndio	9	196	205
Total Observado		189	907	1096

Para a sensibilidade foram obtidos os valores de 0,9312, 0,9841, 0,8677 e 0,9524 para os índices de Angstron, de Nesterov, de Telicyn e para a FMA+, respectivamente.

Para a especificidade foram obtidos os valores de 0,3594, 0,0562, 0,4057 e 0,2161 para os índices de Angstron, de Nesterov, de Telicyn e para a FMA+, respectivamente.

O VPP apresentou os seguintes valores 0,2325, 0,1785, 0,2333 e 0,2020 para os índices de Angstron, de Nesterov, de Telicyn e para a FMA+, respectivamente.

O VPN apresentou os seguintes valores 0,9617, 0,9444, 0,9364 e 0,9561 para os índices de Angstron, de Nesterov, de Telicyn e para a FMA+, respectivamente.

Para o HSS foram calculados os valores de 0,1327, 0,0145, 0,1317 e 0,0682 para os índices de Angstron, de Nesterov, de Telicyn e para a Fórmula de Monte Alegre Alterada, respectivamente.

A porcentagem de sucesso apresentou os seguintes valores 46%, 22%, 49% e 34% para os índices de Angstron, de Nesterov, de Telicyn e para a FMA+, respectivamente.

A tabela 12 faz uma compilação dos resultados dos índices para todas as medidas calculadas. Para o teste de sensibilidade, o índice de Nesterov obteve o melhor desempenho e os resultados foram, em ordem decrescente, 98,41% (Nesterov), 95,24% (FMA+), 93,12% (Angstron) e 86,77% (Telicyn). Quanto à especificidade, o índice de Telicyn apresentou o melhor desempenho e os resultados foram, em ordem decrescente, 40,57% (Telicyn), 35,94% (Angstron), 21,61% (FMA+) e 5,62% (Nesterov).

Tabela 12. Compilação dos resultados para todos os índices e parâmetros calculados.

Índice	S	E	VPP	VPN	HSS	PS
Angstron	0,9312	0,3594	0,2325	0,9617	0,1327	46%
Nesterov	0,9841	0,0562	0,1785	0,9444	0,0145	22%
Telicyn	0,8677	0,4057	0,2333	0,9364	0,1317	49%
FMA+	0,9524	0,2161	0,2020	0,9561	0,0682	34%

A análise em conjunto dessas duas medidas indica que todos os índices testados neste estudo estão superestimando a ocorrência de incêndios no PNCD, já que possuem altos valores de sensibilidade e baixos valores de especificidade, apresentando um comportamento inverso, não sendo capazes de prever corretamente os dias em que há risco de incêndio. Portanto, indicam erroneamente que haverá ocorrência de incêndio, criando um falso alarme.

Para os valores de VPP, o índice de Telicyn obteve o melhor desempenho e os resultados foram, em ordem decrescente, 23,33% (Telicyn), 23,25% (Angstron), 20,20% (FMA+) 17,85% (Nesterov). Para os valores de VPN, o índice de Angstron apresentou o melhor desempenho e os resultados foram, em ordem decrescente, 96,17% (Angstron), 95,61% (FMA+), 94,44% (Nesterov) e 93,64% (Telicyn). Assim sendo, para a região do PNCD, estes índices calculam com mais precisão a não ocorrência de evento de fogo. Os resultados foram semelhantes entre si, o desempenho seria considerado melhor se o resultado obtido fosse de altas porcentagens tanto para o VPP quanto para o VPN.

Corroborando com os resultados descritos acima, o índice de Angstron obteve o melhor desempenho através do *Heidke Skill Score*, e os resultados foram, em ordem decrescente, 0,1327 (Angstron), 0,1317 (Telicyn), 0,0682 (FMA+) e 0,0145 (Nesterov). O índice de Angstron apresentou o valor mais próximo de 1, porém ainda assim, os valores estão muito distantes de 1, que seria o “valor perfeito” (SWPC, 2018).

Em relação à porcentagem de sucesso o índice de Telicyn obteve o melhor desempenho e os resultados foram, em ordem decrescente, 49% (Telicyn), 46% (Angstron), 34% (FMA+) e 22% (Nesterov).

Com base nesses resultados, foi criada uma tabela de classificação (tabela 13) (WHITE & RIBEIRO, 2010) que compara os valores de todos os resultados indicando qual o índice que teve o melhor desempenho para cada medida (o número 1 representa o valor de melhor resultado). Nesta tabela de classificação, a soma dos resultados de menor valor indica o índice que teve o melhor desempenho. Portanto, dentre os índices testados neste estudo, o índice de Angstron foi avaliado como o índice que melhor se ajusta à região do Parque Nacional da Chapada Diamantina.

Tabela 13. *Ranking* dos índices.

	S	E	VPP	VPN	HSS	PS	Soma
Angstron	3	2	2	1	1	2	11
Nesterov	1	4	4	3	4	4	20
Telicyn	4	1	1	4	2	1	13
FMA+	2	3	3	2	3	3	16

White & Ribeiro (2010), para o Parque Nacional da Serra de Itabaiana no estado de Sergipe, que apresenta vegetação correspondente ao bioma Caatinga, que também ocorre no PNCD, avaliou o índice de Angstron como o de melhor desempenho para predição de perigo de incêndio para aquela região, seguido pelo índice de Telicyn. O valor de *skill score* calculado por White & Ribeiro (2010) para o índice de Angstron foi de 0,053 e a porcentagem de sucesso foi de 70%. Para o índice de Telicyn o valor de *skill score* foi de 0,035 e de porcentagem de sucesso foi de 68%.

Nunes et al. (2007) em seu trabalho desenvolvido para o estado do Paraná, que apresenta condições climáticas e fisiogeográficas bastante diferentes da ecorregião da Chapada Diamantina, obteve *skill score* de 0,1165 e porcentagem de sucesso de 55,64%, utilizando a FMA+, bem como relações positivas a respeito das ocorrências previstas e ocorrências observadas, considerou este índice como eficiente para a região do Paraná.

Neste estudo, o índice de Angstron foi o que apresentou o melhor desempenho entre os índices testados, entretanto ele não é eficiente para prever a ocorrência de incêndios para a região como um todo. Os resultados apontam para a necessidade de se desenvolver um índice específico ou de se adaptar um existente para a região, já que os existentes foram desenvolvidos para outras regiões do Brasil e do mundo. Porém, para isto deve se considerar todas as peculiaridades que o local apresenta, principalmente a topografia, que é muito variada e influencia diretamente nas condições climáticas, indicando a necessidade de delimitar microrregiões que apresentem características mais próximas, e da implementação de estações meteorológicas próprias. Calcular o perigo de incêndio separando a estação de chuva da estação de seca também pode gerar resultados mais concisos. Assim sendo, para que a predição de ocorrência de incêndios no Parque Nacional da Chapada Diamantina seja mais precisa, é de extrema importância que dados climáticos, topográficos e vegetacionais sejam coletados e escriturados por sub-região.

5. CONCLUSÃO

A ecorregião da Chapada Diamantina apresenta características fisiogeográficas que variam consideravelmente em poucos quilômetros de distância, apresentando condições climáticas razoavelmente diferentes para cada município em um determinado período. Analisar a região como um todo tendo como base apenas uma estação meteorológica gera resultados imprecisos quanto à predição de incêndios, principalmente utilizando índices que foram desenvolvidos para outras regiões. Não foi possível indicar um índice de perigo de incêndio eficiente para a ecorregião da Chapada Diamantina através das análises feitas neste estudo com os dados disponíveis, sendo altamente recomendável a delimitação de microrregiões e implementação de estações meteorológicas em cada uma delas.

6. REFERÊNCIAS

BACHMANN, A.; ALLGOWER, B. The need for a consistent risk terminology. In: CROSSING THE MILLENNIUM: INTEGRATING SPATIAL TECHNOLOGIES AND ECOLOGICAL PRINCIPLES FOR A NEW AGE IN FIRE MANAGEMENT, 1999, Boise. **The joint fire science conference and workshop**. Boise, Idaho: University of Idaho and the International Association of Wildland Fire, 2000.

BERLINCK, C. N. et al. O Parque Nacional da Chapada Diamantina e a emissão de gases de efeito estufa. **Ciência Hoje**, v. 46 n. 276. 2010.

CCFFM, Canadian Committee on Forest Fire Management. **Glossary of Forest Fire Management Terms**. Canada, 1987. Disponível em: <<https://cfs.nrcan.gc.ca/publications?id=35337>> Acesso em: 27 de fev. 2017.

CAWCR, Collaboration for Australian Weather and Climate Research. WWRP/WGNE Joint Working Group on Forecast Verification Research. Australia, 2015. Disponível em : <http://www.cawcr.gov.au/projects/verification/> Acesso em: 30 de jun. 2018.

DURIGAN, G.; RATTER, J. A. The need for a consistente fire policy for Cerrado conservation. *Journal of applied ecology*, London, v. 53, p. 11-15. 2016.

FAO, Food and Agriculture Organization. **Wildland management terminology**. Roma, 1986.

FUNCH, R. **Um guia para a Chapada Diamantina**. Lençóis: Flora Editora e Artes Visuais, 2007.

GONÇALVES, C. N. et al. Recorrência dos incêndios e fitossociologia da vegetação em áreas com diferentes regimes de queima no Parque Nacional Da Chapada Diamantina. **Biodiversidade Brasileira**. Brasília, ano 1, n. 2. set. 2011. Disponível em: <

<http://www.icmbio.gov.br/revistaelectronica/index.php/BioBR/article/view/138>> Acesso em: 20 mar. 2018.

HEIDKE, P. Berechnung des Erfolges und der Güte der Windstärkevorhersagen im Sturmwarnungsdienst. **Geogr. Ann.** Stockholm, v.8, p. 301–349.1926.

IBAMA, Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais. **Relatório de combate ampliado**. Prevfogo - Brasília, 2008.

INPE, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **Queimadas**. Disponível em: <<http://www.inpe.br/queimadas/portal>> Acesso em 20 mar. 2018.

JUNCÁ, F. A. et al. Biodiversidade e Conservação da Chapada Diamantina. Ministério do Meio Ambiente, Brasília, 2015.

MESQUITA, F. W. et al. Histórico dos incêndios na vegetação do Parque Nacional da Chapada Diamantina, entre 1973 e abril de 2010, com base em Imagens Landsat. **Biodiversidade Brasileira**, Brasília, ano 1, n. 2, set. 2011. Disponível em: <<http://www.icmbio.gov.br/revistaelectronica/index.php/BioBR/article/view/141>> Acesso em: 20 mar. 2018.

MMA, Ministério do Meio Ambiente. **Plano de Manejo Parque Nacional da Chapada Diamantina**. Brasília, 2007.

MORAIS, J. C. M. **Principais causas dos incêndios florestais e queimadas**. Brasília: Ibama/Prevfogo, 2011.

NWCG, National Wildfire Coordinating Group. **Glossary of wildland fire terminology**. Idaho, 2008.

NEVES, S. P.; CONCEIÇÃO, A. A. Campo rupestre recém-queimado na Chapada Diamantina, Bahia, Brasil: plantas de rebrota e sementes, com espécies endêmicas na rocha. **Acta Botanica Brasilic.** São Paulo, v. 24, n. 3, 697-707, jul./set. 2010.

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.** Curitiba, ano 1, v. 36. jan./abr. 2006.

NUNES, J. R. S.; SOARES, R. V.; BATISTA, A. C. Ajuste da Fórmula de Monte Alegre Alterada (FMA+) Para O Estado Do Paraná. **Revista Floresta,** Curitiba, v. 37, n. 1, p. 1-14, 2007.

NUNES, J. R. S. Índices de incêndios florestais: a experiência paranaense **In:** SOARES, R. V.; BATISTA, A. C.; NUNES, J. R. S. **Incêndios florestais no Brasil: o estado da arte.** Curitiba, 2009.

PARIKH, R. et al. Understanding and using sensitivity, specificity and predictive values. **Indian Journal of Ophthalmology.** v. 56, n. 1, p. 45-50. 2008. Disponível em: <<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2636062/>> acesso em: 05 julho 2018.

SAMPAIO, O. B. **Análise da eficiência de quatro índices na previsão de incêndios florestais para a região de Agudos - SP.** Curitiba, 1999. 157p. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná.

SOARES, R. V. **Perfil dos incêndios florestais no Brasil.** Curitiba: ABEAS, 1984.

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

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, 2009.

SWPC, Space Weather Prediction Center. Forecast Verification. Estados Unidos, 2018. Disponível em: <https://www.swpc.noaa.gov/content/forecast-verification> acesso em: 30 de jun. 2018.

TELICYN, G. P. Logarithmic index of fire weather danger for forests. **Lesnoe Khozyaistvo**. n. 11, p. 58-59. 1970.

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

WHITE, B. L. A.; RIBEIRO, A. S. Análise da eficiência dos índices de perigo de ocorrência de incêndios florestais para o Parque Nacional Serra de Itabaiana, Sergipe. **In: Pensar a (In)Sustentabilidade: Desafios à Pesquisa**. SANTOS, A. C. Porto Alegre, p. 197-209. 2010.

WILSON, J. M. G.; JUNGNER, G. **Principles and practice of screening for disease**. Geneva: World Health Organization. 1968.