

UNIVERSIDADE FEDERAL DA GRANDE DOURADOS

**ZONEAMENTO DO RISCO DE INCÊNDIO PARA O
PANTANAL SUL-MATO-GROSSENSE**

BALBINA MARIA ARAUJO SORIANO

**DOURADOS
MATO GROSSO DO SUL
2012**

ZONEAMENTO DO RISCO DE INCÊNDIO PARA O PANTANAL SUL-MATO-GROSSENSE

BALBINA MARIA ARAUJO SORIANO

Meteorologista M.Sc.

Orientador: Prof. Dr. OMAR DANIEL

Tese apresentada à Universidade Federal da Grande Dourados, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia – Produção Vegetal, para obtenção do título de Doutora.

DOURADOS
MATO GROSSO DO SUL
2012

ZONEAMENTO DO RISCO DE INCÊNDIO PARA O PANTANAL SUL-MATO-GROSSENSE

por

Balbina Maria Araujo Soriano

Tese apresentada como parte dos requisitos para obtenção do título de
DOUTORA EM AGRONOMIA

Aprovada em: 29 de fevereiro de 2012

Prof. Dr. Omar Daniel
(UFGD) (Orientador)

Dr^a Sandra Aparecida Santos
(Embrapa Pantanal)

Dr. Carlos Ricardo Fietz
(Embrapa Agropecuária Oeste)

Prof^a. Dr^a Paula Pinheiro Padovese Peixoto
(UFGD)

Prof. Dr. Joelson Gonçalves Pereira
(UFGD)

DEDICO e AGRADEÇO

A Deus,

Por iluminar e guiar sempre meu caminho, direcionando-me sempre para o lado bom da vida. Com certeza a Fé e a Perseverança naquele que nunca nos desampara me levou a concluir mais uma etapa da vida.

Aos meus Pais:

Antonio de Almeida Soriano (*in memoria*) e Vandette Araujo Soriano, por me darem uma vida digna, honesta, incentivando sempre lutar pelos nossos sonhos, sem eles não seríamos quem somos hoje.

E irmãos:

Antonio de Almeida Soriano Filho, Teotônio Francisco Araujo Soriano, Cristina Maria Araujo Soriano, Rita de Cássia Araujo Soriano e Fernando José Araujo Soriano pelo incentivo e companheirismo.

Aos meus amados,

Jorge Orlando Cochamanidis (pela confiança e por sempre está do meu lado nas horas mais difíceis), Sofia Soriano Cochamanidis e Nicole Soriano Cochamanidis pelo amor, carinho, incentivo e muita paciência para suportar meus momentos de ausência e agonia.

AGRADECIMENTOS

Como não será possível citar todas as pessoas que desde o começo do projeto me incentivaram e apoiaram na realização deste trabalho, gostaria de expressar a minha gratidão a todos aqueles que, desde sempre, se mostraram solícitos aos meus pedidos de ajuda e me incentivaram a seguir em frente, meu eterno agradecimento;

Ao meu orientador Prof. Dr. Omar Daniel, quero expressar toda a minha gratidão pela sua dedicação e excelentes sugestões com este trabalho. A sua orientação foi fundamental para alcançar os objetivos propostos;

A Prof^a. Dr^a Paula Pinheiro Padovese Peixoto, Dr^a Sandra Aparecida Santos, Prof. Dr. Joelson Gonçalves Pereira e Dr. Carlos Ricardo Fietz, por aceitarem o convite para fazer parte da banca de defesa desta tese, que com certeza terão muito a contribuir com a melhoria deste trabalho;

À Embrapa Pantanal representado pela Dra Emiko Kawakami de Resende, a Universidade Federal da Grande Dourados representado pela Prof^a Dr^a Silvana de Paula Quintão Scalon e a Embrapa Agropecuária do Oeste representado pelo Dr. Guilherme Asmus, que viabilizaram a realização deste trabalho;

Ao amigo Éder Comunello da Embrapa Agropecuária Oeste que não mediu esforços em ajudar-me. Obrigada pelas sugestões, incentivo e colaboração no desenvolvimento desse trabalho, além do apoio na manipulação do SPRING;

As amigas (os), Rivaldália Ferreira e Odilza Veslazquez pela palavra amiga e também não mediram esforços para ajudar-me; Sandra Santos pela idéia inicial do projeto, sugestões e incentivo; Débora Marques por acalmar-me nos momentos mais difíceis e revisão das referências bibliográficas; Vânia Nunes e Marcia Divina pela ajuda no inglês; Regina Célia pelo carinho e ajuda na formatação; Carlos Padovani pelo arquivo digital das sedes de fazendas e estradas, Sandra Mara, Vanderlei, Cecília Torrico, Flávio, Zilca, Marcia Toffani, Suzana, Ana Helena, pelo apoio e incentivo nas diversas etapas de realização deste trabalho;

Aos funcionários da Embrapa Pantanal, especialmente a Gentil, Marcos José, Sidney, Nelson, Joãozinho, Marcos Tadeu, Edmir de Freitas, José Carmelo, Luiz Pellegrin, Egleu, Janete, Marilise, Batista, Oslain, pelo apoio imprescindível nas diversas etapas deste trabalho;

As amigas do curso pela amizade e convívio, em especial Tatiana Moreno minha irmã de coração, Geula Graciela amiga de todas as horas, Claudia Bacchi, Ayd, Ana, Daniela, Carina e Mirianny;

A família *Congro* representado por Hélio e Mercedes Congro (Dourados), a família *Moreno* representado por Sebastião e Cristina Moreno (Campo Grande) por receber-me em suas casas de braços abertos e tratar-me como parte da família.

A Fernando Soriano, Tania Cuellar, Margarida (Margô) e Rosiara Ferra que na minha ausência cuidaram das minhas filhas como se fossem suas, minha eterna gratidão;

Enfim, a todos que de uma forma ou de outra estiveram presentes para concretização desta tese.

SUMÁRIO

	PÁGINA
RESUMO	xi
ABSTRACT.....	xiii
INTRODUÇÃO GERAL.....	1
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	6
CAPÍTULO 1 - EFICIÊNCIA DE ÍNDICES DE RISCO DE INCÊNDIOS PARA O PANTANAL SUL-MATO-GROSSENSE	8
RESUMO	8
ABSTRACT	8
INTRODUÇÃO	9
MATERIAL E MÉTODOS	11
2.1. Caracterização da área de estudo	11
2.2. Dados meteorológicos e de focos de calor.....	14
2.3. Índices de risco de incêndios	15
RESULTADOS E DISCUSSÃO	21
CONCLUSÕES	26
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	27
CAPÍTULO 2 - VALIDAÇÃO DO MAPEAMENTO DAS UNIDADES DE PAISAGEM DA SUB-REGIÃO DA NHECOLÂNDIA, PANTANAL SUL-MATO-GROSSENSE.....	30
RESUMO	30
ABSTRACT	30
INTRODUÇÃO	31
MATERIAL E MÉTODOS	33
2.1. Caracterização da área de estudo	33
2.2. Classificação temática do mapeamento da sub-região da Nhecolândia.....	35
2.3. Trabalho de campo.....	39
2.4. Avaliação da acurácia do mapeamento	40
RESULTADOS E DISCUSSÃO	42
3.1. Erros de omissão e comissão	42
3.2. Índice de exatidão global e Kappa	44
CONCLUSÕES	45
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	46
CAPÍTULO 3 - ZONEAMENTO DO RISCO DE INCÊNDIO PARA O PANTANAL SUL-MATO-GROSSENSE	50
RESUMO	50
ABSTRACT	51
INTRODUÇÃO	52
MATERIAL E MÉTODOS	57
2.1. Caracterização da área de estudo	57

2.2. Avaliação multicriterial.....	60
2.2.1. Bases de dados utilizados.....	61
2.3. Elaboração dos mapas de risco de incêndio.....	64
2.3.1. Padronização e ponderações.....	64
2.3.2. Cálculo do risco de incêndio.....	69
2.4. Validação dos mapas de risco de incêndio com focos de calor.....	71
RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	72
3.1. Variáveis meteorológicas e focos de calor.....	72
3.2. Focos de calor.....	75
3.3. Risco de incêndio.....	77
CONCLUSÕES.....	92
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	93
CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	99
APÊNDICE.....	101
APÊNDICE A - programa na linguagem legal para geração da reflectância corrigida.....	102
APÊNDICE B - programa na linguagem legal para geração do cálculo do índice de vegetação da diferença normalizada (NDVI).....	106
APÊNDICE C - programa na linguagem legal para geração do mapa de unidades de paisagem (UP).....	107
APÊNDICE D - programa na linguagem legal para geração do mapa de precipitação.....	108
APÊNDICE E - programa na linguagem legal para geração do mapa de índice de vegetação normalizada (NDVI).....	109
APÊNDICE F - programa na linguagem legal para geração do mapa de facilidade de acesso (FA).....	110

LISTA DE QUADROS

PÁGINA

CAPÍTULO 1

Quadro 1. Escala de perigo de incêndio do índice logarítmico de Telicyn.	16
Quadro 2. Restrições do índice de Nesterov em função da quantidade de chuva do dia.	17
Quadro 3. Escala de perigo do índice de Nesterov	17
Quadro 4. Restrições da Fórmula de Monte Alegre (FMA) em função da quantidade de chuva do dia	18
Quadro 5. Escala de perigo de incêndio da Fórmula de Monte Alegre (FMA).	18
Quadro 6. Restrições ao somatório da Fórmula de Monte Alegre Modificada (FMA ⁺) em relação da quantidade de chuva do dia.	19
Quadro 7. Escala de perigo de incêndio da FMA ⁺	19
Quadro 8. Correlação linear de Pearson (r) e coeficiente de determinação para regressão exponencial (R ²) entre o total mensal do número de focos de incêndio (variável dependente) e a média mensal da precipitação pluvial (PP), umidade relativa do ar (UR), temperatura do ar (TEMP) e a velocidade do vento (VV).	21
Quadro 9. Probabilidade (P) da detecção de incêndios registrados (In) pelos índices: Fórmula de Monte Alegre (FMA), Fórmula de Monte Alegre Modificada (FMA ⁺), Telicyn (I), Nesterov (G) e Angstron (B), em condições favoráveis e desfavoráveis.	22
Quadro 10. Probabilidade da detecção de incêndios registrados pelos índices: Fórmula de Monte Alegre (FMA), Fórmula de Monte Alegre Modificada (FMA ⁺), Telicyn (I) e Nesterov (G), em condições favoráveis.	23
Quadro 11. Probabilidade da detecção de incêndios registrados pelos índices: Fórmula de Monte Alegre (FMA), Fórmula de Monte Alegre Modificada (FMA ⁺), Telicyn (I) e Nesterov (G).	24
Quadro 12. Resultados do teste de Bartlett.	24
Quadro 13. Resultados do teste de Friedman, usando valores de ordenação para verificar a eficiência dos quatro índices.	25

CAPÍTULO 2

Quadro 1. Classificação das unidades de paisagem no Pantanal (RAVAGLIA et al., 2011).	36
Quadro 2. Superfície das unidades de paisagem das sub-regiões da Nhecolândia, no Pantanal Sul-mato-grossense.	39
Quadro 3. Classes de qualidade do índice Kappa (LANDIS e KOCH, 1977)	41
Quadro 4. Matriz de erro/confusão comparando os resultados do mapa temático das unidades de paisagem da sub-região da Nhecolândia (linhas) com os dados de referência de campo (colunas).	43

CAPÍTULO 3

Quadro 1. Classes conceituais de risco e coeficientes empregados.....	65
Quadro 2. Ponderação do risco de incêndio de acordo com as Unidades de Paisagem .	66
Quadro 3. Classes de facilidade de acesso, níveis de suscetibilidade e seus respectivos coeficientes.....	67
Quadro 4. Classes de precipitação pluviométrica, níveis de suscetibilidade e seus respectivos coeficientes.....	68
Quadro 5. Classes de NDVI, níveis de suscetibilidade e seus respectivos coeficientes.	69
Quadro 6. Percentual da área total (2.672.049,25 ha) ocupada pelas classes de unidades de paisagem (UP) da sub-região da Nhecolândia, Pantanal Sul-mato-grossense	78
Quadro 7. Percentual da área total (2.672.049,25 ha) ocupada pelas classes de facilidade de acesso (estradas e sedes de fazendas) da sub-região da Nhecolândia, Pantanal Sul-mato-grossense, base 2004	80
Quadro 8. Percentual da área total (2.672.049,25 ha) ocupada pelas classes de precipitação pluvial para os anos de 2008 a 2010 e média histórica (1969-2007), para a sub-região da Nhecolândia, Pantanal Sul-mato-grossense.....	83
Quadro 9. Percentual da área total (2.672.049,25 ha) ocupada pelas classes de índice de vegetação da diferença normalizada (NDVI) para os anos de 2008 a 2010 e média dos três anos, para a sub-região da Nhecolândia, Pantanal Sul-mato-grossense.	86
Quadro 10. Percentual da área total (2.672.049,25 ha) por classes de risco de incêndio para os anos de 2008 a 2010 e sua conjugação (Geral), para a sub-região da Nhecolândia, Pantanal Sul-mato-grossense.	90
Quadro 11. Focos de calor detectados de 2008 a 2010, por classes de risco e unidades de paisagem na sub-região da Nhecolândia, Pantanal Sul-mato-grossense.....	91

LISTA DE FIGURAS

PÁGINA

INTRODUÇÃO GERAL

Figura 1. Sub-regiões do Pantanal Mato-grossense (SILVA e ABDON, 1998)	3
--	---

CAPÍTULO 1

Figura 1. Localização da sub-região da Nhecolândia, no Pantanal Sul Mato-grossense (SILVA e ABDON, 1998)	11
Figura 2. Distribuição média mensal da precipitação pluviométrica no interior e entorno da sub-região da Nhecolândia, no período de 1969 a 2007 (HIDROWEB, 2011).....	12
Figura 3. Localização da área de estudo (fazenda Nhumirim), situada na sub-região da Nhecolândia no Pantanal Sul-mato-grossense, definida segundo as recomendações da WMO (2008).....	14

CAPÍTULO 2

Figura 1. Localização da sub-região da Nhecolândia, no Pantanal Sul Mato-grossense (SILVA e ABDON, 1998)	33
Figura 2. Distribuição média mensal da precipitação pluviométrica no interior e entorno da sub-região da Nhecolândia, no período de 1969 a 2007 (HIDROWEB, 2011).....	34
Figura 3. Mapa temático da sub-região da Nhecolândia, MS, base 1999, classificado em unidades de paisagem em função da classe da vegetação e grau de inundação (RAVAGLIA et al., 2011).....	38

CAPÍTULO 3

Figura 1. Localização da sub-região da Nhecolândia, no Pantanal Sul-mato-grossense (SILVA e ABDON, 1998).	57
Figura 2. Distribuição média mensal da precipitação pluviométrica no interior e entorno da sub-região da Nhecolândia, no período de 1969 a 2007 (HIDROWEB, 2011).....	58
Figura 3. Fluxograma das atividades intermediárias e produtos gerados para elaboração do mapa de risco potencial de incêndio..	70
Figura 4. Distribuição média mensal da precipitação pluvial no interior e entorno da sub-região da Nhecolândia no período de 2008 a 2010 e sua relação com a média histórica de 1969-2007 (HIDROWEB, 2011).....	73
Figura 5. Valores médios mensais da umidade relativa do ar, no período de 2008 a 2010 e sua relação a média histórica de 1977-2007, sub-região da Nhecolândia, Pantanal Sul-mato-grossense (Fonte: Estação Climatológica de Nhumirim).....	74
Figura 6. Valores médios mensais da temperatura do ar, no período de 2008 a 2010 e sua relação com a média histórica de 1977-2007, sub-região da Nhecolândia, Pantanal Sul-mato-grossense (Fonte: Estação Climatológica de Nhumirim).	74

Figura 7. Número de focos de calor (INPE, 2011) e total anual de precipitação (HIDROWEB, 2011), registrados na sub-região da Nhecolândia, Pantanal Sul-mato-grossense, entre 2008 e 2010.....	76
Figura 8. Média mensal do número de focos de calor registrados na sub-região da Nhecolândia, Pantanal Sul-mato-grossense, entre 2008 a 2010 (INPE, 2011).....	77
Figura 9. Mapa temático das unidades de paisagem da sub-região da Nhecolândia, Pantanal Sul-mato-grossense, base 1999, classificado em função da classe da vegetação e grau de inundação (RAVAGLIA et al., 2011)	78
Figura 10. Mapa de facilidade de acesso (estradas e sedes de fazendas) da sub-região da Nhecolândia, Pantanal Sul-mato-grossense. (Fonte: dados obtidos junto ao Laboratório de Geoprocessamento da Embrapa Pantanal, na forma de coordenadas e arquivo vetorial)	79
Figura 11. Mapa da distribuição média mensal da precipitação pluviométrica no interior e entorno da sub-região da Nhecolândia, em 2008 (abril a setembro).....	81
Figura 12. Mapa da distribuição média mensal da precipitação pluviométrica no interior e entorno da sub-região da Nhecolândia, em 2009 (abril a setembro).....	81
Figura 13. Mapa da distribuição média mensal da precipitação pluviométrica no interior e entorno da sub-região da Nhecolândia, em 2010 (abril a setembro).....	82
Figura 14. Mapa da distribuição média mensal da precipitação pluviométrica no interior e entorno da sub-região da Nhecolândia, no período de 1969 a 2007 (abril a setembro).....	82
Figura 15. Mapa de índice de vegetação da diferença normalizada (NDVI) de 2008, da sub-região da Nhecolândia, Pantanal Sul-mato-grossense.....	84
Figura 16. Mapa de índice de vegetação da diferença normalizada (NDVI) de 2009, da sub-região da Nhecolândia, Pantanal Sul-mato-grossense.....	84
Figura 17. Mapa de índice de vegetação da diferença normalizada (NDVI) de 2010, da sub-região da Nhecolândia, Pantanal Sul-mato-grossense.....	85
Figura 18. Mapa da média dos índices de vegetação (NDVI) da sub-região da Nhecolândia, Pantanal Sul-mato-grossense, considerando os anos de 2008 a 2010.....	85
Figura 19. Mapa de risco de incêndio de 2008, da sub-região da Nhecolândia, Pantanal Sul-mato-grossense.	86
Figura 20. Mapa de risco de incêndio de 2009, da sub-região da Nhecolândia, Pantanal Sul-mato-grossense.	87
Figura 21. Mapa de risco de incêndio de 2010, da sub-região da Nhecolândia, Pantanal Sul-mato-grossense.	87
Figura 22. Mapa de risco de incêndios da sub-região da Nhecolândia, Pantanal Sul-mato-grossense, considerando a conjugação dos anos de 2008 a 2010.	88
Figura 23. Classes de risco de incêndio para os anos de 2008 a 2010 e sua conjugação (Geral) em função da superfície (ha) na qual o risco foi previsto, para a sub-região da Nhecolândia, Pantanal Sul-mato-grossense.....	89

SORIANO, B.M.A. **Zoneamento do Risco de Incêndio para o Pantanal Sul-mato-grossense**. 2012. 110 f. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) – Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados-MS.

RESUMO: Este estudo foi desenvolvido para a sub-região da Nhecolândia, Pantanal Sul-mato-grossense e dividido em três etapas, tendo a primeira o objetivo de comparar os índices de risco de incêndios e definir o mais eficiente para as condições do Pantanal Sul-mato-grossense. A metodologia consistiu na análise de correlação entre variáveis meteorológicas e a ocorrência dos focos de calor, bem como a comparação entre os índices de risco de incêndios: Angström (B), Telicyn (I), Nesterov (G), Monte Alegre (FMA) e Monte Alegre Modificada (FMA⁺). Foram utilizados dados meteorológicos coletados às 14 horas na estação Climatológica Principal de Nhumirim e de focos de calor da passagem noturna do NOAA (12 e 15), no período de 1999 a 2008. Como resultado, foi obtido que a velocidade do vento e a umidade relativa do ar foram as variáveis meteorológicas que apresentaram maior correlação com a ocorrência de incêndios. Para detecção de qualquer grau de risco de incêndio, a FMA, o G e a FMA⁺ foram os índices mais eficientes. Para a detecção de graus de risco de incêndio nas classes Muito alto e Alto, o G foi o mais eficiente, seguido da FMA. A segunda etapa foi validar o mapeamento das unidades de paisagem da sub-região da Nhecolândia, Pantanal Sul-mato-grossense. A metodologia consistiu no processamento digital das imagens de satélite TM/Landsat-5 de setembro de 1999. Para a validação do mapeamento, foram utilizados dados de levantamento de campo. Através da análise da matriz de confusão, foram observados uma exatidão global de classificação de 72,73% e um índice Kappa de 0,66. A terceira etapa foi elaborar zoneamento do risco de incêndio para as condições do Pantanal Sul Mato-grossense, tendo como base o período de 2008 a 2010, utilizando a avaliação de multicritério processada em sistema de informação geográfica (SIG). Foram produzidos mapas temáticos dos fatores: unidades de paisagem (UP), facilidade de acesso (FA), precipitação pluviométrica (PP) e índice de vegetação da diferença normalizada (NDVI). O zoneamento foi gerado pela superposição dos mapas de risco, em função da somatória ponderada dos riscos parciais, representado pelo modelo: $RI = (0,35 \times UP) + (0,30 \times NDVI) + (0,20 \times PP) + (0,15 \times FA)$. A partir do modelo calculou-se o risco de incêndio para quatro períodos: agosto/2008, setembro/2009, setembro/2010, além de um mapa conjugado considerando a média de precipitação histórica e NDVI médio para os três anos. Os dados de focos de calor obtidos pelo satélite NOAA foram considerados como verdade de campo em relação à incidência de queimadas na região e foram utilizados para validar o mapa. Os mapas de risco foram quantificados, observando-se no mapa conjugado uma participação de 89,4% das classes de risco médio, alto e muito alto quando comparados com a superfície na qual o risco foi previsto, onde também foram detectados 86,1% dos focos de calor ($r = 0,996$, $p < 0,05$). A mesma tendência se confirmou na análise dos dados individuais (2008 a 2010). Verificou-se também maior incidência dos focos de calor entre 2008 e 2010 nas unidades de paisagem ACIS, ASNIA e ASIS as quais representam 72% da paisagem da Nhecolândia e também onde ocorrem naturalmente os capins vermelho (*Andropogon hypoginus* Hack.) e carona (*Elionurus muticus* (Spreng.) Kuntze), totalizando 1012 focos do montante das ocorrências nas classes de risco médio a muito alto. Esta tese é composta de três artigos, sendo nos quais constam as conclusões de cada um. Porém, de forma resumida, podem ser citadas as seguintes conclusões: a) considerando a facilidade de aplicação, a alta probabilidade de acerto na detecção de riscos de

incêndio em qualquer grau e também nas classes de Alto risco a mais, a FMA pode ser considerada a mais adequada para estimar o risco de ocorrência de incêndios para a sub-região da Nhecolândia; b) o mapa de unidades de paisagem para a sub-região da Nhecolândia obtido por classificação automática não supervisionada foi validado e classificado como sendo de qualidade muito boa; c) os mapas de risco obtidos pela metodologia utilizada são de alta confiabilidade para a sub-região da Nhecolândia, Pantanal Sul-mato-grossense.

Palavras-chave: Índices de risco de incêndio, índice Kappa, análise de multicritério, Nhecolândia.

SORIANO, B.M.A. **Mapping Fire Risk in South Pantanal of Mato Grosso**. 2012. 110 f. Thesis (Ph.D. in Vegetable Production) - Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados-MS.

ABSTRACT: This study was developed for the Nhecolândia region, South Pantanal of Mato Grosso and divided into three phases. In the first phase, the aim was to compare the index of risk fire and define the most efficient for the South Pantanal of Mato Grosso conditions. The methodology consisted of a correlation analysis between meteorological variables and the occurrence of heat sources. Also, a comparison between fire risk indexes: Angström (B), Telicyn (I), Nesterov (G), Monte Alegre (FMA) and Modified Monte Alegre (FMA⁺). Meteorological data were collected at 14:00 hour daily at the Nhumirim climatological station and the hotspots during night NOAA passages (12 and 15), in the period of 1999 to 2008. As a result, windy speed and air relative humidity were the meteorological variables that presented greater correlation with fire occurrences. The FMA, G and FMA⁺ indexes were the most efficient to detect any level of fire risk. On the other hand, index G was the most efficient to detect risk fire in the classes high and very high. The second phase was to validate the mapping of landscape units in the Nhecolândia region, South Pantanal of Mato Grosso. The methodology consisted of digital processing of satellite TM/Landsat-5 images of September 1999. Data collected in the field was used to validate the mapping. A global exact classification of 72.73% and a Kappa Index of 0.66 were achieved by using the confusion matrix analysis. The third phase was to map the fire risk, from 2008 to 2010, for South Pantanal of Mato Grosso. In this phase, a multi criteria assessment using the Geographic Information System (GIS) was used. Thematic maps were produced for four factors: landscape unit (UP), ease of access (FA), rain precipitation (PP) and normal vegetation index (NDVI). Mapping was generated by superimposition of risk maps by weighed sum of partial risks by the model: $RI = (0.35 \times UP) + (0.30 \times NDVI) + (0.20 \times PP) + (0.15 \times FA)$. Fire risk was calculated using this model for four periods: August/2008, September/2009, September/2010, plus another conjugated map considering the historical mean precipitation and mean NDVI for three years. The source of heat data were obtained by NOAA satellite images and considered to be equivalent to the real fire incidence for this region. These images were used to validate the map. Fire risk maps were quantified by observing the conjugated map: when there was a participation of 89.4% of medium, high and very high risk classes when compared to a surface where the risk had been expected because of 86.1% of heat sources ($r = 0.996$, $p < 0.05$). The same result was confirmed in the analysis of individual data (2008 to 2010). A greater incidence of hotspots between 2008 and 2010 were observed in the landscape units: ACIS (Field Areas Flooded Seasonally), ASNIA (Non Flooded Savannas Areas) and ASIS (Savannas Areas Flooded Seasonally), which represents 72% of the Nhecolândia's landscape and also where naturally occur "vermelho" grasses (*Andropogon hypoginus* Hack.) and "carona" grasses (*Elionurus muticus* (Spreng.) Kuntze). Thus, a total of 1012 hotspots in the medium to high risk classes. This dissertation has three articles, each one with conclusion remarks. Here are a summary of the final conclusions: a) The FMA can be considered as the best tool to estimate the occurrence of fire risks for the Nhecolândia region. This is an easy application to be used, with a high probability of being correct in the detection of fire risks in any level and also in the high risk classes; b) The landscape unit map for the Nhecolândia region obtained by non-supervised automatic classification was validated and classified as being of very good quality; c) The risk maps obtained by

the methodology used are of high reliability for the Nhecolândia region, South Pantanal of Mato Grosso.

Keywords: Indices of fire risk, Kappa index, multi criteria assessment, Nhecolândia.

INTRODUÇÃO GERAL

O Pantanal Mato-Grossense é uma extensa planície de áreas úmidas contínuas da América do Sul, inserida na bacia hidrográfica do Alto Paraguai (BAP), localizado na região Centro-Oeste do Brasil. A BAP pertence à Bacia do rio da Prata, que é a segunda maior da América do Sul e a quinta maior do mundo (BRAVO et al., 2005), abrangendo os países Brasil, Bolívia e Paraguai (BRASIL, 1974). A maior porção está em território brasileiro, compreendendo os estados de Mato Grosso e Mato Grosso do Sul, com 361.666 km² (SILVA e ABDON, 1998).

Na BAP existem duas áreas geográficas predominantes, o Planalto, com altitude média acima de 200 m e o Pantanal, nas áreas mais baixas. O Pantanal foi formado pelo rebaixamento de uma grande região, fato relacionado ao soerguimento da Cordilheira dos Andes (HORTON e DECELLES, 1997; USSAMI et al., 1999). No Brasil, apresenta uma área de drenagem de 138.183 km², ou 38,21% da área total da bacia (SILVA e ABDON, 1998), e tem como principal canal de drenagem o rio Paraguai.

Cerca de 65% de todo o território ocupado pelo Pantanal encontra-se no estado de Mato Grosso do Sul e 35% no Mato Grosso, situando-se entre os paralelos de 16° e 22° de latitude Sul e os meridianos de 55° e 58° de longitude Oeste. Suas características geológicas, geomorfológicas e climáticas proporcionam a formação de um habitat único, cuja dinâmica é regida basicamente pela captação, armazenamento e distribuição das águas, ou seja, seu comportamento hidrológico. Devido a sua posição geográfica, sofre influência de quatro grandes biomas: Amazônia, Cerrado, Chaco e Mata Atlântica, que são responsáveis pela alta biodiversidade (BRASIL, 1997). É considerado pela UNESCO como Patrimônio Natural Mundial e Reserva da Biosfera (UNESCO, 2010).

A planície pantaneira possui uma pequena declividade no sentido Leste para Oeste de 30 a 50 cm/km e menores ainda de Norte para Sul, de 3 a 15 cm/km (BRASIL, 1982). A região enquadra-se no tipo climático Aw (Köppen), definido como clima tropical, megatérmico (temperatura média do mês mais frio é superior a 18 °C). Além destas características, a região sofre influência de frentes frias, provenientes das porções mais meridionais, com penetração rápida pelas planícies dos pampas e do chaco, que aos poucos vão perdendo suas forças até os contrafortes

da Serra dos Parecis. Essas frentes geralmente ocorrem em junho e julho, havendo, entretanto, registros menos frequentes desde o início de maio até os primeiros dias de setembro (BRASIL, 1982).

O regime de chuvas é tropical, com total anual que varia de 800 a 1.200 mm. Quanto à distribuição das chuvas, apresenta dois períodos definidos: um chuvoso (de outubro a março), quando ocorre cerca de 80% do total anual das chuvas e um período de seca (de abril a setembro). O trimestre mais chuvoso compreende os meses de dezembro a fevereiro, sendo janeiro o mês mais chuvoso e julho o mais seco. Essa forma de distribuição das chuvas deve-se ao sistema de circulação do oeste, que é influenciado pela baixa altitude em relação ao planalto circundante (NIMER, 1989).

A temperatura média anual varia de 20 °C a 28 °C, com média anual de 25,5 °C. A temperatura máxima média anual varia de 28 °C a 33 °C e a mínima anual de 14 °C a 23 °C, sendo as médias anuais das mínimas e máximas de 20 °C e 32 °C, respectivamente. As temperaturas máximas absolutas chegam a ultrapassar 40 °C entre os meses de setembro e janeiro e as mínimas absolutas ocorrem entre maio e agosto, sendo comuns os resfriamentos abaixo de 10 °C. (CAMPELO JUNIOR, et al., 1997).

De acordo com Silva e Abdon (1998), o Pantanal Mato-grossense foi dividido em onze sub-regiões (Figura 1), onde foram considerados aspectos relacionados à inundação, relevo, solo e vegetação, localizadas em 16 municípios em Mato Grosso e Mato Grosso do Sul. Dentre as sub-regiões, destaca-se a sub-região da Nhecolândia, que é a segunda maior, compreendendo 19,5% da planície pantaneira, com área de aproximadamente 26.000 km², localizada no Pantanal Sul-mato-grossense, agregando áreas dos municípios de Rio Verde de Mato Grosso, Aquidauana e Corumbá. Esta sub-região é caracterizada por uma diversidade de habitats como cerradão, cerrado, campo cerrado, campo limpo e lagoas (doces e salobras) dispostos em mosaico. É considerada uma das mais importantes áreas de criação de gado devido a sua riqueza em pastagens nativas existentes principalmente nas áreas de campo limpo e bordas de corpos d'água.

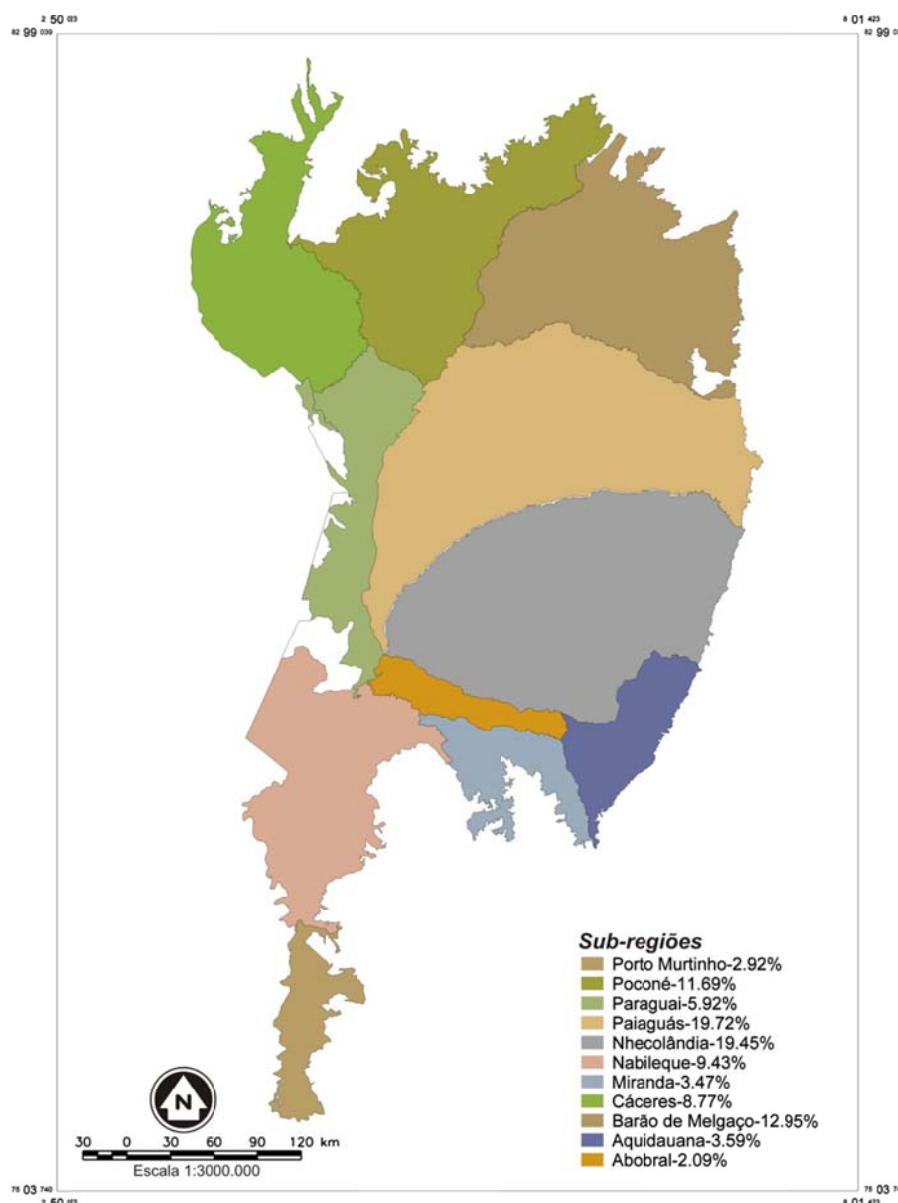


Figura 1. Sub-regiões do Pantanal Mato-grossense (SILVA e ABDON, 1998).
(Fonte: Laboratório de Geoprocessamento da Embrapa Pantanal).

O manejo das pastagens naturais pantaneiras é complexo e dinâmico, em razão da grande variedade de habitats (fitofisionomias), que variam espacialmente e temporalmente, principalmente em função das condições climáticas (SANTOS et al., 2008). As áreas de campos com predominância de espécies forrageiras cespitosas como capim-carona (*Elionurus muticus* (Spreng.) Kuntze), capim-vermelho (*Andropogon hypoginus* Hack.) e capim-rabo-de-burro (*Andropogon bicornis*) são pouco preferidas para pastejo devido à baixa qualidade destas forrageiras (SANTOS et al., 2005). Em função do subpastejo, essas áreas acumulam biomassa denominada regionalmente de “macegas”, que ocasionalmente são submetidas a queimas

controladas, executadas sob critérios técnicos, visando a rebrota das forrageiras que, quando jovens são de melhor qualidade. Esta prática de manejo também é utilizada para limpeza de campos tomados por espécies invasoras (RODRIGUES et al., 2002) e, quando devidamente planejada pode auxiliar na redução de grandes incêndios, uma vez que diminui a quantidade de material combustível disponível e acumulado durante anos.

O elemento fogo, seja provocado por práticas de manejo inadequadas ou causas naturais é um fator de grande influência no Pantanal, afetando diretamente a dinâmica e estrutura dos distintos ambientes que o formam, podendo trazer consequências diversas em diferentes escalas, que vão desde o risco para as populações rurais à degradação ambiental, com contribuição para o aquecimento global (BATISTA e SOARES, 2002). A ocorrência e intensidade dos incêndios estão fortemente associadas às condições climáticas (umidade relativa, temperatura e velocidade do vento), com maiores possibilidades de propagação no período de estiagem. A utilização de dados meteorológicos de boa qualidade é, portanto, vital para o planejamento de prevenção e combate aos incêndios florestais (NUNES et al., 2006; ONIGEMO, 2006).

Embora haja alguns estudos sobre efeito do fogo sobre os ecossistemas (RODRIGUES, 1999; FEARNSIDE et al., 2002; PEREIRA et al., 2002; CARDOSO et al., 2003; CARDOSO et al., 2009) e sobre número de focos de calor, ainda há carência de informações sobre mapeamentos de risco de incêndio na região do Pantanal, haja vista que a previsão, prevenção e controle são as melhores formas de atenuar perdas (RIBEIRO, 2009).

Diante deste quadro de carência de informações, dados foram coletados durante anos consecutivos de seca, assim caracterizados como aqueles com precipitação abaixo da normal climatológica ou média histórica, na sub-região da Nhecolândia visando contribuir para o zoneamento das áreas de risco de incêndio na região.

Estes estudos foram apresentados na forma de capítulos que embora independentes apresentam uma relação entre si. O primeiro capítulo tem como foco a utilização das variáveis climáticas na elaboração de índices de risco de incêndio, bem como a avaliação da eficiência dos diferentes índices para o Pantanal. O segundo capítulo trata da variável vegetação, no qual validou-se o mapa de unidades de

vegetação da sub-região da Nhecolândia previamente elaborado a partir de dados de campo coletados nas diferentes unidades de paisagem (fitofisionomias). Finalmente, no terceiro capítulo, efetuou-se uma avaliação multicritério de variáveis associadas ao risco de incêndios conforme a sua influência sobre a ignição e a propagação do fogo, com vistas à elaboração dos mapas de riscos, processados em sistema de informação geográfica.

No Apêndice são apresentados scripts da linguagem LEGAL do software SPRING (INPE) para: geração da reflectância corrigida/correção atmosférica das imagens de satélites; cálculo do índice de vegetação; geração dos mapas ponderados de unidade de paisagem, precipitação, índice de vegetação e facilidade de acesso.

Assim, os objetivos deste trabalho foram: a) comparar os índices de risco de incêndios com base em dados meteorológicos e definir o mais eficiente para as condições do Pantanal Sul-mato-grossense, b) validar o mapeamento das unidades de paisagem da sub-região da Nhecolândia, Pantanal Sul-mato-grossense e c) elaborar zoneamento do risco de incêndio para as condições do Pantanal Sul-mato-grossense baseado em análise de multicritérios.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BATISTA, A.C.; SOARES, R.V. **Incêndios Florestais**. Recife: Imprensa Universitária UFRPE, 2002. 115p

BRASIL. Ministério do Interior. Departamento Nacional de Obras e Saneamento - DNOS. **Estudos hidrológicos da Bacia do Alto Paraguai. Fluvimetria**. Rio de Janeiro, 1974. v. 4. 664p.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente, dos Recursos Hídricos e da Amazônia Legal. Programa Nacional de Meio Ambiente. **Plano de conservação da Bacia do Alto Paraguai - PCBAP**. Brasília, DF: PNMA, 1997. 3v. 354p.

BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Secretaria Geral. **Folha SE.21 Corumbá e parte da Folha SE.20: geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra**. Rio de Janeiro, 1982. 452p. il. 5 mapas (Levantamento de Recursos Naturais, 27).

BRAVO, J.M.; COLLISCHONN, B.; ALLASIA, D. G.; VILLANUEVA, A.O. N.; COLLISCHONN, W.; TUCCI, C.E.M. Estimativa de ganhos e perda de volume lateral nos trechos dos rios do Pantanal. In: I Simpósio de Recursos Hídricos do Sul e Primeiro Simpósio de Águas da Associação de Universidades Grupo de Montevideo (AUGM), 2005, Santa Maria. **Anais...** do I Simpósio de Recursos Hídricos do Sul e Primeiro Simpósio de Águas da Associação de Univer.

CAMPELO JÚNIOR, J.H.; SANDANIELO, A.; CANEPPELE, C.; MUSIS, C.R.; PRIANTE FILHO, N.; SORIANO, B.M.A. Climatologia. In: **PLANO DE CONSERVAÇÃO DA BACIA DO ALTO PARAGUAI - PCBAP. Diagnóstico dos meios físico e biótico: meio biótico**. Brasília, DF: Ministério do Meio Ambiente, 1997, v.2, p.298-334.

CARDOSO, E.L; CRISPIM, S.M. A.; RODRIGUES, C.A.G., BARIONI JÚNIOR, W. Efeitos da queima na dinâmica da biomassa aérea de um campo nativo no Pantanal. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 38. n.6, p. 747- 752, 2003.

CARDOSO, M.F.; NOBRE, C.A.; SAMPAIO, G.; HIROTA, M.; VALERIANO, D.; CÂMARA, G. Long-term potential for tropical-forest degradation due to deforestation and fires in the Brazilian Amazon. *Biologia (Bratislava)*, v.64, p.433-437, 2009.

FEARNSIDE, P. M. **Fogo e emissão de gases de efeito estufa dos ecossistemas florestais da Amazônia brasileira**. Estudos Avançados [online]. 2002, v.16, n.44, pp. 99-123.

HORTON, B.K.; DeCELLES, P.G. The modern foreland basin system adjacent to the Central Andes. **Geology**, v. 25, p. 895-898, 1997.

NIMER, E. **Climatologia do Brasil**. Rio de Janeiro: IBGE, 2ª ed., 1989. 422p.

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. Curitiba: **Floresta**, v. 36, n. 1, p. 75-91, 2006.

ONIGEMO, A. E. **Avaliação de índices de risco de incêndio em áreas com predominância de Gramíneas Cespitosas na sub-região da Nhecolândia, Pantanal, MS**. 2006. 142f. Tese (Doutorado em Ecologia) – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campo Grande.

PEREIRA, A., FRANÇA, H., SETZER, A.W., SANTOS, J.E. Utilização de imagens AVHRR/NOAA para classificação da vegetação do Cerrado quanto à susceptibilidade ao fogo. **Anais...Simpósio Latino-Americano de Percepção Remota y Sistemas de Informacion Espaciales**, 10,- SELPER: Cochabamba, Bolívia, 2002, 12 p. Disponível em: <http://sigma.cptec.inpe.br/queimadas/documentos/2002_pereira_franca_setzer_santos_10selper_cerrado2002.pdf>. Acesso em out. 2011

RIBEIRO, L. A. **Pressão Antrópica e os Riscos de Incêndios Florestais no Município de Novo Mundo, Amazônia Mato-Grossense**. 2009. 132 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

RODRIGUES, C.A.G. **Efeitos do fogo e da presença animal sobre a biomassa aérea e radicular, nutrientes do solo, composição florística, fenologia e dinâmica de um campo de capim-carona (Elyonurus muticus (Spreng. O. Ktze.) no Pantanal (sub-região de Nhecolândia)**. 249p. (Tese Doutorado). Campinas: Universidade Estadual de Campinas. 1999.

RODRIGUES, C. A. G; CRISPIM, S. M. A. COMASTRI FILHO, J. A. **Queima controlada no Pantanal**, Corumbá: EMBRAPA CPAP, 2002, 24p. (EMBRAPACPAP. Documentos, 35).

SANTOS, S. A.; CRISPIM, S. M. A.; COMASTRI FILHO, J. A. Pastagens no ecossistema Pantanal: manejo, conservação e monitoramento. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 42., 2005, Goiânia. **Anais...** Goiânia: Sociedade Brasileira de Zootecnia, p. 23-35

SANTOS, S.A.; ABREU, U.G.P.; TOMICH, T.R.; COMASTRI FILHO, J.A.; CRISPIM, S.M.A. Pecuária no Pantanal: em busca da sustentabilidade. In: Albuquerque, A.C.S. e Silva, A.G. **Agricultura Tropical: quatro décadas de inovações tecnológicas**. 2008. V.II, cap.3, p.535-570.

SILVA, J. dos S. V. da; ABDON, M. de M. Delimitação do Pantanal brasileiro e suas sub-regiões. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 33, p. 1703-1711, 1998.

UNITED NATIONS EDUCATIONAL, SCIENTIFIC AND CULTURAL ORGANIZATION. Reserva da Biosfera. Disponível em: <http://portal.unesco.org/en/ev.php-URL_ID=10250&URL_DO=DO_PRINTPAGE&URL_SECTION=201.html>. Acesso em: 24 mai. 2010.

USSAMI, N.; SHIRAIWA, S.; DOMINGUEZ, J.M.L. Basement reactivation in a sub-Andean foreland flexural bulge: The Pantanal wetland, SW Brazil. **Tectonics**, v.18, n., p.25-39, 1999.

CAPÍTULO 1

EFICIÊNCIA DE ÍNDICES DE RISCO DE INCÊNDIOS PARA O PANTANAL SUL-MATO-GROSSENSE

RESUMO: O objetivo deste trabalho foi comparar os índices de risco de incêndios e definir o mais eficiente para as condições do Pantanal Sul-mato-grossense, com base em dados meteorológicos e número de focos de calor. O trabalho consistiu na análise de correlação entre variáveis meteorológicas e a ocorrência dos focos de calor, bem como a comparação entre os índices de risco de incêndios: Angström (B), Telicyn (I), Nesterov (G), Monte Alegre (FMA) e Monte Alegre Modificada (FMA⁺). Foram utilizados dados meteorológicos coletados às 14 horas na estação Climatológica Principal de Nhumirim e de focos de calor da passagem noturna do NOAA (12 e 15), no período de 1999 a 2008. A velocidade do vento e a umidade relativa do ar foram as variáveis meteorológicas que apresentaram maior correlação com a ocorrência de incêndios. Para detecção de qualquer grau de risco de incêndio, a FMA, o G e a FMA⁺ foram os índices mais eficientes. Para a detecção de graus de risco de incêndio nas classes Muito alto e Alto, o G foi o mais eficiente, seguido da FMA. Considerando a facilidade de aplicação, a alta probabilidade de acerto na detecção de riscos de incêndio em qualquer grau e também nas classes de Alto risco a mais, a FMA pode ser considerada a mais adequada para estimar o risco de ocorrência de incêndios para a sub-região da Nhecolândia.

Palavras-chave: fórmula de Monte Alegre, queimada, focos de calor, variáveis meteorológicas

ABSTRACT: The objective of this work was to compare the indices of fire risk and define the most efficient for the conditions of South Pantanal of Mato Grosso, based on meteorological data and number of hotspots. The work consisted of correlation analysis between some meteorological variables and the occurrence of hotspots as well as the comparison between the fire risk indices of Angstrom (B), Logarithmic index of Telicyn (I), Nesterov Index (G), Monte Alegre Index (FMA) and Modified Monte Alegre Index (FMA⁺). Meteorological data were collected at 14 hours in the Nhumirim climatological station and hotspots during night of the NOAA12 and NOAA15 from 1999 to 2008. The wind speed and relative humidity were the meteorological variables which best correlated with the occurrence of fire. To detect any degree of fire risk, the FMA, the G and FMA⁺ were the most efficient indices. For the detection of degrees of fire risk classes very high and high, the G was the most efficient, followed by the FMA. Considering the easy application, the high probability of success in detecting fire risks in any degree and also in the class of the highest risk, the FMA can be deemed more appropriate for estimating the fire risk for Nhecolândia sub-region.

Keywords: Monte Alegre index, forest fires, hotspots, meteorological variables

1 INTRODUÇÃO

A criação de bovinos de corte é a principal atividade econômica do Pantanal há mais de dois séculos, pois a região possui extensas áreas de pastagens naturais que são favoráveis a esta atividade. O manejo das pastagens naturais é complexo e dinâmico, em razão da grande variedade de unidades de paisagem (fitofisionomias), que variam espacialmente e temporalmente, principalmente em função das condições climáticas (SANTOS et al., 2008). Muitas dessas fitofisionomias são propensas a incêndios que podem ocorrer acidentalmente ou provocados por práticas de manejo inadequadas de queimas em pastagem.

A ocorrência e a propagação dos incêndios florestais estão fortemente associados às condições climáticas. A intensidade de um incêndio e a velocidade com que ele se propaga estão diretamente ligados à umidade relativa e a temperatura do ar e a velocidade do vento. A utilização de dados meteorológicos de boa qualidade é, portanto, vital para o planejamento de prevenção e combate aos incêndios florestais (NUNES et al., 2006).

Desde 2000, a Embrapa Pantanal tem um programa de monitoramento das variáveis meteorológicas e das ocorrências de incêndios no Pantanal Mato-Grossense (SORIANO et al., 2008), onde pode ser observado que dependendo da variação do clima entre anos, ocorre maior ou menor número de eventos, modificando a paisagem local.

Em 2005, ano considerado “seco” no Pantanal, em decorrência das chuvas que ficaram abaixo da média histórica, o número de incêndios foi 6.199, a maior ocorrência desde 2000 (PADOVANI, 2006). Além da influência do clima no aumento dos incêndios, outro fator importante foi a grande quantidade de material combustível em algumas fitofisionomias, que associado à longa estiagem e baixos índices de umidade relativa do ar favoreceu grandes incêndios, o que afetou drasticamente o ecossistema da região.

Dentre as medidas preventivas de combate aos incêndios florestais, a utilização de um índice de perigo que seja confiável é de fundamental importância dentro de um plano de prevenção e combate, por permitir a avaliação dos riscos,

possibilitando a adoção de medidas preventivas em bases mais eficientes e econômicas (SOARES, 1985; BATISTA, 2004; NUNES et al., 2007).

A estrutura dos índices de perigo de incêndio disponíveis na literatura é baseada fundamentalmente na relação entre os incêndios florestais e os elementos meteorológicos (temperatura e umidade do ar, velocidade do vento e precipitação). Seus resultados refletem, antecipadamente, a probabilidade de ocorrer um incêndio, assim como a facilidade de propagação, de acordo com as condições atmosféricas do dia ou da frequência de dias.

A importância desses índices está ligada à prevenção de incêndios, pois é mais vantajoso evitar um incêndio ou mesmo eliminá-lo imediatamente após o início do que combatê-lo depois de estabelecido e propagado (MARTINI et al., 2007). Assim podem ser minimizados os impactos causados pelas queimadas, que provocam aumento das concentrações de gases de efeito estufa e aerossóis, causando mudanças na atmosfera e provavelmente no clima do planeta, como também problemas na economia e na saúde da população local.

O objetivo deste trabalho foi avaliar e comparar os principais índices de risco de incêndios e definir o mais eficiente para as condições do Pantanal Sul-mato-grossense, tendo como base os dados meteorológicos e a ocorrência de incêndios da sub-região da Nhecolândia.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Caracterização da área de estudo

Com base em aspectos relacionados à inundação, relevo, solo e vegetação, Silva e Abdon (1998) delimitaram o Pantanal em onze sub-regiões. Dentre elas, destaca-se a sub-região da Nhecolândia (Figura 1), que é a segunda maior, compreendendo 19,5% da planície pantaneira, com área de aproximadamente 26.000 km², localizada no Pantanal Sul-mato-grossense, agregando áreas dos municípios de Rio Verde de Mato Grosso, Aquidauana e Corumbá.

A região enquadra-se no tipo climático Aw (Köppen), definido como clima tropical, megatérmico (temperatura média do mês mais frio é superior a 18 °C) (SORIANO e ALVES, 2005). A precipitação total média anual, obtida a partir de dados mensais de 19 estações pluviométricas distribuídas no interior e entorno da sub-região da Nhecolândia, no período de 1969 a 2007 foi de 1.187,1 mm.

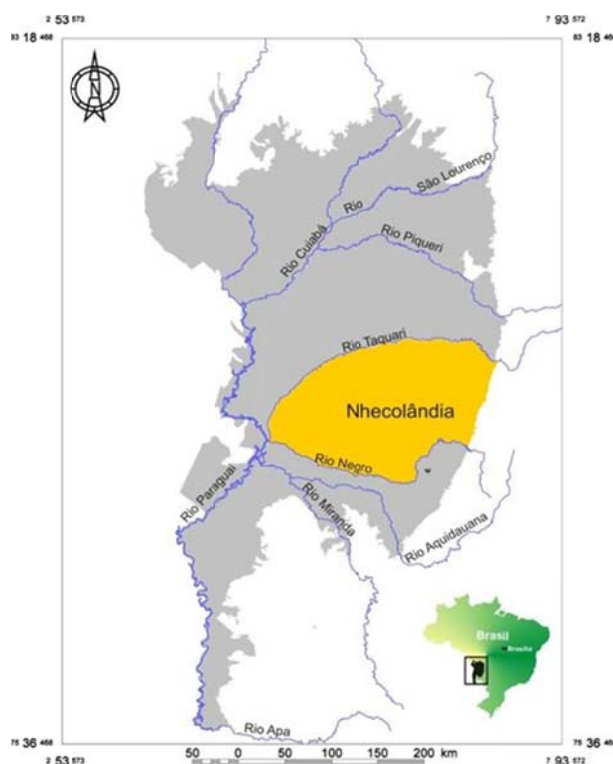


Figura 1. Localização da sub-região da Nhecolândia, no Pantanal Sul-mato-grossense (SILVA e ABDON, 1998). (Fonte: Laboratório de Geoprocessamento da Embrapa Pantanal).

No decorrer do ano (Figura 2) as chuvas na região apresentam dois períodos bem definidos: um chuvoso, de outubro a março, quando ocorre cerca de 80 % do total médio anual das chuvas e um período de estiagem, de abril a setembro.

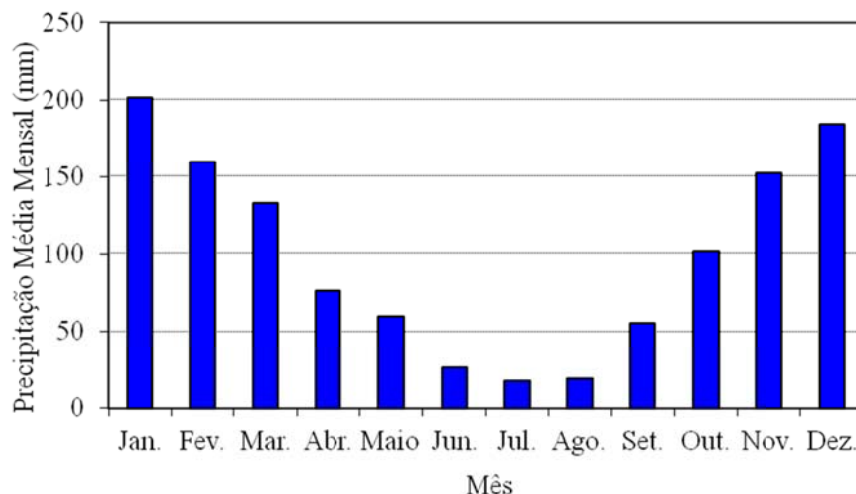


Figura 2. Distribuição média mensal da precipitação pluviométrica no interior e entorno da sub-região da Nhecolândia, no período de 1969 a 2007. (Fonte: dados disponibilizados na HIDROWEB, 2011).

Os meses de janeiro e dezembro são os mais chuvosos, com média histórica acima de 180 mm em cada um deles, contribuindo com mais de 32% da precipitação anual. A partir de abril ocorre uma redução sensível nos índices pluviométricos sendo que, no trimestre mais seco do ano (junho a agosto), as chuvas representam, em média, 5% do total anual.

Dados diários de temperatura e umidade relativa do ar coletados da estação climatológica de Nhumirim (única estação que registra essas variáveis na área de estudo), localizada na sub-região da Nhecolândia, no período de 1977 a 2007, registraram temperatura média anual de 25 °C, variando de 21 °C (julho) a 28 °C (janeiro). A média anual da temperatura máxima foi 32 °C e, nos meses de outubro a janeiro elas foram próximas de 34 °C. A média da temperatura mínima é 20,2 °C, sendo julho o mês mais frio com média de 14,6 °C.

A umidade relativa média anual foi 80%, oscilando entre 73% e 85%. As menores médias foram registradas entre os meses de julho e novembro, sendo setembro o mês mais seco da região.

A região possui densa rede hidrográfica, delimitada pelo rio Taquari ao Norte e Oeste-Sudoeste, e pelo rio Negro a Leste e Sul, alimentada no início da estação chuvosa pela cheia do Taquari. As águas escoam para Sudoeste, na direção do rio Negro que funciona como receptor (BRASIL, 1997).

O regime de inundação dessa sub-região é classificado como de baixa altura (30 a 40 cm) e de média duração (3 a 4 meses), sendo a superfície inundada estimada em 30% (BRASIL, 1979). É caracterizada pela presença de lagoas, às vezes salinas, relacionadas a uma topografia extremamente suave (RATTER et al., 1988).

Os solos são de textura arenosa com teores de argila variando de 2 a 5% e 0,5% de matéria orgânica (CUNHA, 1985), pertencentes predominantemente aos grandes grupos Neossolos Quartzarênicos e Espodossolos Hidromórficos. Os Espodossolos são solos minerais, de baixa fertilidade natural, baixa saturação em bases e de moderadamente a fortemente ácidos. Devido à pobreza de bases trocáveis e das condições de inundação são utilizados com pastagem natural, aproveitando os extensos campos nativos. Os Neossolos são solos pouco evoluídos, constituídos, na região, por material mineral com menos de 20 cm de espessura. Aparecem associados aos Espodossolos, ao sul e oeste da sub-região da Nhecolândia, onde a presença de lençol freático próximo à superfície lhes confere caráter hidromórfico. Sua textura muito arenosa e sua baixa fertilidade natural tornam inviável técnica e economicamente o seu uso além do aproveitamento das pastagens naturais (FERNANDES et al., 2007).

A área deste estudo foi definida em função da representatividade dos dados coletados nesta estação, que segundo a World Meteorological Organization-WMO (2008) deve abranger um raio de 100 km e apresentar horizontes amplos, ou seja, não podem ter barreiras que impeçam incidência da radiação solar ou que modifiquem o vento. Analisando-se as cotas topográficas da região, observa-se que a uma distância de 76,6 km, rumo 69° NO, existe um conjunto de elevações com cota máxima de 150 m e na direção W atinge a morraria de Urucum com cotas de aproximadamente 1.040 m nas proximidades. Assim, para definir a área representativa para os dados desta estação, foi traçada uma linha que cortou o círculo de raio 100 km de norte a sul, passando pelo ponto de cruzamento do rumo citado em um raio de 75 km (UTM X = 469.969,7646), procurando o distanciamento da influência dos morros da região (Figura 3).

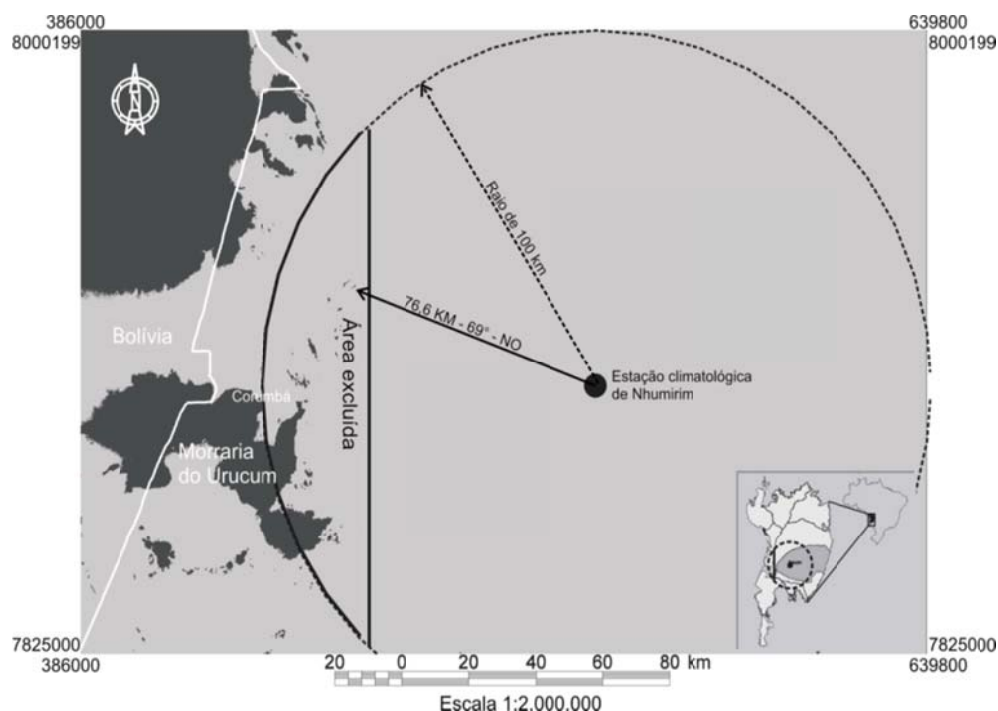


Figura 3. Localização da área de estudo (fazenda Nhumirim), situada na sub-região da Nhecolândia no Pantanal Sul-mato-grossense, definida segundo as recomendações da WMO (2008).

2.2 Dados meteorológicos e de focos de calor

Este estudo foi realizado utilizando-se uma série temporal de 10 anos (1999-2008) de dados de precipitação pluvial diária (mm); temperatura do ar ($^{\circ}\text{C}$), umidade relativa do ar (%) e a velocidade do vento (m s^{-1}), medidos às 14 horas (horário padrão das estações climatológicas principais brasileiras), coletados na estação Climatológica Principal de Nhumirim do tipo convencional (latitude $18^{\circ}59'21''\text{S}$, longitude $56^{\circ}37'25''\text{W}$, altitude 102 m), localizada na fazenda Nhumirim, situada na sub-região da Nhecolândia no Pantanal Sul-mato-grossense. A referida estação faz parte de um convênio da Embrapa Pantanal com o Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), que segue as normas de implantação e funcionamento designado por este instituto.

Foram também utilizados dados diários de focos de calor no período de 1999 a 2008, que são disponibilizados pela Divisão de Processamento de Imagens/INPE para toda a América Latina no formato de tabela, com coordenadas, que pode ser convertida em um mapa de pontos, georreferenciado, ou no formato de mapa shapefile (INPE, 2008). Os dados analisados foram aqueles gerados pelo

satélite NOAA12-noturno e o NOAA15-noturno, devido à desativação do NOAA12-noturno a partir de 10 de julho de 2007.

Os focos de calor são identificados a partir de elementos de resolução espacial (pixels) que apresentam altas temperaturas, os quais possuem os mais baixos valores de nível de cinza nas imagens da região infravermelho termal banda 3 ($3.7\mu\text{m}$) do AVHRR. Esta banda mede emissão de energia radiante da superfície terrestre, onde os pixels saturados correspondem à temperatura de pelo menos 47°C , normalmente associada a alvos em combustão (INPE, 2009).

Os dados das ocorrências diárias de focos de calor e suas respectivas coordenadas foram trabalhados em planilha eletrônica, com o objetivo de eliminar os focos que estivessem fora da área de abrangência (Figura 3), isto é, raio maior que 100 km e além da linha vertical próxima aos morros. Para executar esta rotina, foi usado o princípio do teorema de Pitágoras, calculando-se a distância do foco de calor à estação de Nhumirim, eliminando-se posteriormente os dados com raios além de 100 km. Simultaneamente, foram eliminados os pontos que ficaram além das coordenadas UTM sentido oeste cujos valores X tenham sido menores do que 469.969,7646 m. Uma nova tabela foi gerada somente com o número de focos de incêndio diários que ocorreram no interior da área de abrangência mostrada na Figura 3.

Para verificar a relação entre o total mensal de focos de incêndio (variável dependente) e valores médios mensais das variáveis meteorológicas, foram realizadas análises de correlação e regressão exponencial.

2.3 Índices de risco de incêndios

Para comparação entre índices de risco de incêndios foram utilizados os Índices de Angstron (B), Índice Logarítmico de Telicyn (I), Índice de Nesterov (G), Fórmula de Monte Alegre (FMA) (SOARES, 1972) e Fórmula de Monte Alegre Modificada (FMA^+) (NUNES, 2005). Os índices foram calculados diariamente, durante o período de 1999 a 2008, utilizando-se as seguintes fórmulas:

Índice de Angström (B):

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

Sendo H = umidade relativa do ar (%) e T = temperatura do ar (°C)

É um índice não acumulativo desenvolvido na Suécia e baseia-se fundamentalmente na temperatura e na umidade relativa do ar, ambos medidos diariamente às 13 horas, cuja interpretação é a seguinte: sempre que o valor de “B” for menor do que 2,5 haverá risco de incêndios, isto é, as condições atmosféricas do dia estarão favoráveis à ocorrência de incêndios.

Índice logarítmico de Telicyn (I):

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

Sendo t = temperatura do ar (°C), r = temperatura do ponto de orvalho (°C),

log = logaritmo na base 10 e n = número de dias sem chuva.

Este índice foi desenvolvido na ex-União das Repúblicas Socialistas Soviéticas e tem suas variáveis medidas diariamente 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.

O índice apresenta a restrição de que sempre que ocorrer uma precipitação igual ou superior a 2,5 mm deve-se abandonar a somatória e recomeçar o cálculo no dia seguinte, ou quando a chuva cessar. Nos dias de chuva o índice é igual a zero. Como o índice é acumulativo, a interpretação do grau de perigo é feita por meio de uma escala (Quadro 1).

Quadro 1. Escala de perigo de incêndio do índice logarítmico de Telicyn

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

Índice de Nesterov (G):

$$G = \sum_{i=1}^n (d_i \cdot t_i)$$

Sendo d = déficit de saturação do ar (milibares), t = temperatura do ar em (°C), n = número de dias sem chuva menor que 10,0 mm.

Este índice, também cumulativo, foi desenvolvido na ex-União das Repúblicas Socialistas Soviéticas e aperfeiçoado na Polônia e suas variáveis são medidas diariamente às 13 horas.

O déficit de saturação do ar, que é a diferença entre a pressão máxima de vapor d'água e a pressão real de vapor d'água, é calculado por meio da seguinte expressão:

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

Sendo d = déficit de saturação do ar (milibares), E = pressão máxima de vapor d'água (milibares) e H = umidade relativa do ar (%).

No índice de Nesterov, a continuidade do somatório é limitada pela ocorrência das restrições apresentadas no Quadro 2 e sua interpretação é dada pelo Quadro 3.

Quadro 2. Restrições do índice de Nesterov em função da quantidade de chuva do dia

Chuva do dia (mm)	Modificação no cálculo
≤ 2,0	Nenhuma
2,1 a 5,0	Abater 25% no valor de G calculado na véspera e somar (d.t) do dia.
5,1 a 8,0	Abater 50% no valor de G calculado na véspera e somar (d.t) do dia.
8,1 a 10,0	Abandonar a somatória anterior e recomençar novo cálculo, isto é, G = (d.t) do dia.
> 10,0	Interromper o cálculo (G=0), recomençando a somatória do dia seguinte ou quando a chuva cessar.

Quadro 3. Escala de perigo do índice 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	Altíssimo risco

Fórmula de Monte Alegre (FMA):

$$FMA = \sum_{i=1}^n (100/H_i)$$

Sendo H_i = umidade relativa do ar (%) e n = número de dias sem chuva maior ou igual a 13,0 mm.

Este foi o primeiro índice de perigo de incêndios do Brasil, sendo também acumulativo, cujas variáveis são medidas às 13 horas. Por ser acumulativo, o índice está sujeito a restrições de precipitação (Quadro 4) e sua interpretação é dada pelo Quadro 5.

Quadro 4. Restrições da Fórmula de Monte Alegre (FMA) em função da quantidade de chuva do dia

Chuva do dia (mm)	Modificação no cálculo
≤ 2,4	Nenhuma
2,5 a 4,9	Abater 30% na FMA calculada na véspera e somar (100/H) do dia.
5,0 a 9,9	Abater 60% na FMA calculada na véspera e somar (100/H) do dia.
10,0 a 12,9	Abater 80% na FMA calculada na véspera e somar (100/H) do dia.
> 12,9	Interromper o cálculo (FMA= 0) e recomeçar a somatória do dia seguinte.

Quadro 5. Escala de perigo de incêndio da Fórmula de Monte Alegre (FMA)

Valor de FMA	Grau de Perigo
$\leq 1,0$	Nulo
1,1 a 3,0	Pequeno
3,1 a 8,0	Médio
8,1 a 20,0	Alto
$> 20,0$	Muito Alto

Fórmula de Monte Alegre Modificada (FMA⁺):

$$FMA^+ = \sum_{i=1}^n (100/H_i) \cdot e^{0,04v}$$

Sendo H = umidade relativa do ar (%), n = número de dias sem chuva maior ou igual a 13,0 mm, v = velocidade do vento (m s⁻¹) e e = base dos logaritmos naturais (2,718282).

A fórmula inclui a velocidade do vento à FMA. É um índice também acumulativo e seus dados são obtidos às 13 horas. Está sujeito às restrições de precipitação, conforme o Quadro 6 e o grau de perigo de acordo com o Quadro 7.

Quadro 6. Restrições ao somatório da Fórmula de Monte Alegre Modificada (FMA⁺) em relação da quantidade de chuva do dia

Chuva do dia (mm)	Modificação no cálculo
$\leq 2,4$	Nenhuma
2,5 a 4,9	Abater 30% na FMA ⁺ calculada na véspera e somar (100/H) do dia.
5,0 a 9,9	Abater 60% na FMA ⁺ calculada na véspera e somar (100/H) do dia.
10,0 a 12,9	Abater 80% na FMA ⁺ calculada na véspera e somar (100/H) do dia.
$> 12,9$	Interromper o cálculo (FMA ⁺ = 0) e recomençar a somatória do dia seguinte.

Quadro 7. Escala de perigo de incêndio da FMA⁺

Valor de FMA ⁺	Grau de Perigo
$\leq 3,0$	Nulo
3,1 a 8,0	Pequeno
8,1 a 14,0	Médio
14,1 a 24,0	Alto
$> 24,0$	Muito Alto

Como os índices são divididos em não acumulativos (baseiam-se inteiramente nas condições correntes do dia) e acumulativos (empregam efeitos passados do tempo), cujos resultados são interpretados por meio de diferentes escalas, surgiu a dificuldade de comparação direta entre eles em igualdade de condições. Decidiu-se então fazer a comparação em duas etapas:

1ª - Foi verificada a probabilidade da detecção de incêndios registrados pelos cinco índices, em condições favoráveis e desfavoráveis. Para isto, utilizou-se dos valores diários estimados de cada índice e suas respectivas escalas nos dias que ocorreram os incêndios, isto é, se eles indicavam ou não a existência de perigo de incêndio.

2ª - Foi feita a comparação entre os quatro índices acumulativos, utilizando-se do artifício proposto por Soares e Paz (1973) e Soares (1987), onde os valores apresentados pelos índices nos dias de ocorrência de incêndio foram convertidos em porcentagens dos valores máximos obtidos durante o período de observação. Assim, se obteve a eficiência de cada índice em uma escala única, tendo sido então possível compará-los entre si. Os índices foram ordenados de acordo com suas eficiências em cada ocorrência de incêndio e submetidos ao teste de Bartlett para verificar a homogeneidade das variâncias ao nível de significância $p < 0,01$. As comparações foram feitas pelo teste não-paramétrico de Friedman, utilizando “software” ASSISTAT (SILVA, 1996). Este teste ordena os resultados para cada um dos casos e em seguida calcula a média das ordens para cada amostra. Se não existirem diferenças entre as amostras, as médias das ordens devem ser similares. A estatística deste teste tem uma distribuição χ^2 .

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os coeficientes de correlação (r) do total mensal do número de focos de incêndio (variável dependente) em função da velocidade do vento (VV), umidade relativa do ar (UR), temperatura do ar (TEMP) e precipitação pluvial (PP) constam no Quadro 8. Os resultados indicaram que a VV ($r = 0,79$) e UR ($r = -0,69$) são as variáveis que melhor se correlacionam com a ocorrência de focos de incêndios. A regressão com base em modelo exponencial demonstrou que as variáveis independentes VV e UR apresentaram melhor ajuste ($R^2 = 0,84$ e $R^2 = 0,69$, respectivamente) do que TEMP e PP ($R^2 = 0,23$ e $R^2 = 0,11$), respectivamente.

Quadro 8. Correlação linear de Pearson (r) e coeficiente de determinação (R^2) para regressão exponencial entre o total mensal do número de focos de incêndio (variável dependente) e a média mensal da precipitação pluvial (PP), umidade relativa do ar (UR), temperatura do ar (TEMP) e a velocidade do vento (VV)

Variáveis meteorológicas	r	R^2
VV (m s^{-1})	0,7941	0,8491
UR (%)	-0,6134	0,6941
TEMP ($^{\circ}\text{C}$)	0,4418	0,2361
PP (mm)	-0,2577	0,1124

Estes resultados das correlações entre as variáveis VV e UR com o número de focos de incêndios foram os esperados para a sub-região da Nhecolândia, já que a maior concentração de ocorrências de incêndios se dá entre os meses de agosto e novembro, principalmente em agosto e setembro, onde ocorrem os mais baixos índices de umidade relativa, concomitantemente com os maiores valores de velocidade do vento.

A baixa correlação entre a precipitação pluvial e o número de focos de incêndio não implica que a chuva não tenha influência na ocorrência de incêndios, pois segundo Soares e Paz (1973) e Soares (1985), a precipitação é de suma importância para a caracterização do clima, estando a ocorrência dos incêndios sempre associada a períodos sem chuva. Existe uma forte correlação entre ocorrência de grandes incêndios e prolongados períodos de seca. Nesse contexto, a precipitação é, sem dúvida, a variável meteorológica capaz de alterar com maior rapidez as condições de umidade dos combustíveis florestais mortos, sendo fundamental a atenção com esta variável.

Dentro da área de abrangência dos dados climáticos foram totalizados 7.157 focos de incêndios no período analisado. Os valores dos índices calculados nos dias que ocorreram esses incêndios constituíram os dados básicos para efetuar as comparações entre eles.

Na 1ª etapa da realização da metodologia proposta, calculou-se a probabilidade de acerto de incêndios registrados pelos cinco índices testados (Quadro 9). A ocorrência de focos de incêndios em condições desfavoráveis significa a existência de foco em dias nos quais os índices não acusaram riscos, ou seja, o grau de perigo foi nulo.

Quadro 9. Probabilidade (P) da detecção de incêndios registrados (In) pelos índices: Fórmula de Monte Alegre (FMA), Fórmula de Monte Alegre Modificada (FMA⁺), Telicyn (I), Nesterov (G) e Angstron (B), em condições favoráveis e desfavoráveis

Condições do dia segundo os índices	Focos de incêndio					Probabilidade				
	FMA	FMA ⁺	I	G	B	FMA	FMA ⁺	I	G	B
Há perigo [P(In/condições favoráveis)]	691	678	609	685	587	0,99	0,97	0,87	0,98	0,84
Há perigo [P(In/condições desfavoráveis)]	6	19	88	12	110	0,01	0,03	0,13	0,02	0,16
Nº total de Incêndios	697	697	697	697	697	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

Analisando-se o Quadro 9 observa-se que a FMA detectou a ocorrência de perigo de incêndio em 691 dos 697 dias em que ocorreram os incêndios no período estudado. FMA, portanto, mostrou-se mais eficiente para indicar a probabilidade de incêndios, já que apresentou 99% de acerto, seguido do índice de G (98%), da FMA⁺ (97%), do I (87%) e por último do B (84%).

O índice de Angstron (B) além de ter demonstrado a menor probabilidade de detecção a algum grau de perigo de incêndios nos dias nos quais estes realmente ocorreram, também foi o que apresentou a maior probabilidade de detecção em dias onde não houve nenhum incêndio, demonstrando ser o menos eficiente para a sub-região da Nhecolândia.

Devido a FMA, FMA⁺, I e G apresentarem uma escala com mais de quatro graus de perigo de incêndio, sendo um deles nulo, separou-se o resultado da

detecção de incêndios registrados sob condições favoráveis em quatro graus de perigo, permitindo assim uma comparação mais detalhada (Quadro 10).

Quadro 10. Probabilidade da detecção de incêndios registrados pelos índices: Fórmula de Monte Alegre (FMA), Fórmula de Monte Alegre Modificada (FMA⁺), Telicyn (I) e Nesterov (G), em condições favoráveis

Graus de perigo	Focos de incêndio				Probabilidade			
	(FMA)	(FMA ⁺)	(I)	(G)	(FMA)	(FMA ⁺)	(I)	(G)
Pequeno	21	48	65	5	0,03	0,07	0,09	0,01
Médio	68	46	60	23	0,10	0,07	0,09	0,03
Alto ou grande	156	51	479	122	0,22	0,07	0,69	0,18
Muito alto ou altíssimo	446	533	-	535	0,64	0,76	-	0,77
Total (há perigo)	691	678	604	685	0,99	0,97	0,87	0,98

No Quadro 10 verifica-se que o I teve boa probabilidade de detectar o maior número de incêndios no grau Alto de perigo (69%), sendo baixíssima a sua probabilidade para detecção nas classes Pequeno e Médio. A FMA⁺ teve tendência semelhante ao I, mas concentrou a probabilidade de detectar o maior número de incêndios no grau Muito alto (76%).

O G e FMA tiveram a probabilidade de detectar os maiores números de incêndios nos graus Alto e Muito alto (G: 18% e 77% e FMA: 22% e 64%, respectivamente), sendo que a FMA foi o índice que apresentou a probabilidade de detectar o maior número de incêndios no grau Médio (10%).

Se considerarmos apenas o somatório dos graus de perigo de incêndios Alto e Muito alto, as probabilidades de detecção foram maiores para o G = 95%, FMA = 86%, FMA⁺ = 83% e I = 69%.

Na 2ª etapa da metodologia proposta, os valores máximos dos quatro índices acumulativos em toda série de dados considerada foram FMA = 303,62, FMA⁺ = 9,04862E+15, I = 133,38 e G = 112.450,2. Dividiu-se o valor calculado nos dias que ocorreram incêndios pelos respectivos valores máximos de cada índice, obtendo-se assim a porcentagem de eficiência de cada um deles, sendo possível então compará-los diretamente. Os valores percentuais de eficiência diária foram ordenados do 1º ao 4º lugar, estabelecendo-se assim a posição ocupada para cada um.

Por meio da ordenação dos valores percentuais dos quatro índices se obteve a probabilidade de detectarem os incêndios em 1º, 2º, 3º e 4º lugar. Analisando-os separadamente, observou-se que FMA foi o mais eficiente na detecção dos incêndios, pois em 53,94% dos eventos esteve em 1º lugar, seguido de G e I que, no entanto, apresentaram suas maiores pontuações para a 3ª posição (42,18% e 39,46%, respectivamente) e FMA^+ 94,7% das ocorrências para a 4ª posição (Quadro 11).

Quadro 11. Probabilidade da detecção de incêndios registrados pelos índices: Fórmula de Monte Alegre (FMA), Fórmula de Monte Alegre Modificada (FMA^+), Telicyn (I) e Nesterov (G)

Índices	Probabilidade de detectar os incêndios - P(In)			
	1º lugar	2º lugar	3º lugar	4º lugar
FMA	53,94	31,71	14,35	0,00
FMA^+	1,43	0,43	3,44	94,7
I	27,40	29,12	39,46	4,02
G	20,09	37,73	42,18	0,00

A partir do resultado de ordenação dos dados, verificou-se pelo teste de homogeneidade de variâncias de Bartlett que a hipótese H_0 foi rejeitada ($p < 0,01$), indicando que as variâncias dos índices não são homogêneas (Quadro 12), o que determinou a necessidade da aplicação de um teste não paramétrico para as médias.

Quadro 12. Resultados do teste de Bartlett

Índices	Média	Variância
FMA	1,60402	0,52688
FMA^+	3,91392	0,17361
I	2,20086	0,79006
G	2,22095	0,57468

Estatística do teste (χ^2): 373,58897 Valor crítico ($\alpha = 1\%$): 11,34488 $\chi^2 > \chi^2 (1\%)$ H_0 foi rejeitada $p < 0,01$

Assim, o teste de Friedman foi aplicado para comparar a eficiência de cada índice de risco de incêndio, onde a hipótese nula foi rejeitada ($p < 0,0010$), indicando diferença significativa entre os índices. Com a Diferença Mínima Significativa (DMS), especificou-se onde estava efetivamente essa diferença, classificando em primeiro lugar FMA, seguido de G e I, os quais não diferem estatisticamente e por último FMA^+ (Quadro 13).

Quadro 13. Resultados do teste de Friedman, usando valores de ordenação para verificar a eficiência dos quatro índices

Índices de Risco de Incêndio	Média	Soma dos postos		
FMA	1,60402	1.128,0	a	
FMA ⁺	3,91392	2.737,0		c
I	2,20086	1.545,5	b	
G	2,22095	1.559,5	b	

Valores seguidos das mesmas letras não diferem estatisticamente pelo teste de Friedman ao nível de 5%. Estatística do teste $T^2 = 1.035,9389$ F-Krit ($\alpha = 1\%$): 3,791 $T_c^2 > T^2 (1\%)$ H_0 foi rejeitada $p < 0,001$ DMS = 59,644

Portanto, tanto pela probabilidade de detecção de incêndios (Quadro 12), quanto pelo teste de Friedman (Quadro 13), os resultados foram compatíveis.

4 CONCLUSÕES

A velocidade do vento e a umidade relativa do ar são as variáveis meteorológicas que apresentam maior correlação com a ocorrência de número de focos de incêndio.

Para detecção de qualquer grau de risco de incêndio no Pantanal da Nhecolândia, os índices mais eficientes em ordem decrescente são: a Fórmula de Monte Alegre (FMA), o Índice de Nesterov (G) e a Fórmula de Monte Alegre Modificada (FMA⁺).

Para a detecção de graus de risco de incêndio nas classes Muito alto e Alto, o Índice de Nesterov (G) é o mais eficiente, seguido da Fórmula de Monte Alegre (FMA).

Considerando a facilidade de aplicação, a alta probabilidade de acerto na detecção de riscos de incêndio em qualquer grau e também nas classes de Alto risco a mais, a Fórmula de Monte Alegre (FMA) pode ser considerada a mais adequada para estimar o risco de ocorrência de incêndio para a sub-região da Nhecolândia.

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BATISTA, A.C. Detecção de Incêndios Florestais por Satélites. Curitiba: **Floresta**, v.34, n.2, p. 237-241, 2004.

BRASIL. MINISTÉRIO DO INTERIOR. **Estudos de Desenvolvimento Integrado da Bacia do Alto Paraguai (EDIBAP)**: Relatório de 1ª. Fase: Descrição física e recursos naturais. Brasília, 1979. t.2. 254p.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente, dos Recursos Hídricos e da Amazônia Legal. Programa Nacional de Meio Ambiente. **Plano de conservação da Bacia do Alto Paraguai - PCBAP**. Brasília, DF: PNMA, 1997. 3v. 354p.

CUNHA, N.G. **Dinâmica de nutrientes em solos arenosos no Pantanal Matogrossense**. Corumbá, EMBRAPA, CPAP, 1985. 70p. (EMBRAPA, CPAP, Circular Técnica, 17).

FERNANDES, F.A.; FERNANDES, A.H.B.M.; SOARES, M.T.S.; PELLGRIN, L.A., LIMA, I.B.T. **Atualização do Mapa de Solos da Planície Pantaneira para o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Corumbá: Embrapa Pantanal, 2007. 6p. (Embrapa Pantanal. Comunicado Técnico, 61). Disponível em: <http://www.cpap.embrapa.br/publicacoes/online/CT61.pdf>.

HIDROWEB: Sistema de Informações Hidrológicas: [Brasília, DF]: Agência Nacional de Águas, 2011. Disponível em: <<http://hidroweb.ana.gov.br>>. Acesso em: 30 set. 2011.

INPE. INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. **Queimadas**: monitoramento de focos. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/proarco/bdqueimadas/bduc.html>>. Acesso em: 30 nov. 2008.

INPE. INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. O Monitoramento de Queimadas em Tempo Quase-Real do INPE. Disponível em <http://sigma.cptec.inpe.br/queimadas/perguntas.html>. Acesso em: 25 fev. 2009.

MARTINI, L.; DEPPE, F.; LOHMANN, M. Avaliação temporal de focos de calor no estado do Paraná (1999 a 2006). In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 8, 2007, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis, SC, INPE, 2007. p. 4477-4484.

NUNES, J.R.S. **FMA⁺ - Um novo índice de perigo de incêndios florestais para o Estado do Paraná – Brasil**. 2005. 150 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

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**. Curitiba: **Floresta**, v.36, n.1, p. 75-91, 2006.

NUNES, J.R.S.; SOARES, R.V. e BATISTA, A.C. Ajuste da Fórmula de Monte Alegre Alterada - FMA⁺ para o estado do Paraná. Curitiba: **Floresta**, v.37, n.1, p.1-14, 2007.

PADOVANI, C. Queimadas. Queimadas no Pantanal. Embrapa Brasileira de Pesquisa Agropecuária 2006. Disponível em: <<http://www.cpap.embrapa.br/fogo/fogo.htm>> Acesso em: 26 nov. 2007.

Disponível em: <http://sigma.cptec.inpe.br/queimadas/documentos/2002_pereira>

RATTER, J.A.; POTT, A.; POTT, V.J.; CUNHA, C.N.; HARIDASSAN, M. Observations on woody vegetation types in the Pantanal and around Corumbá. **Notes from the Royal Botanic Garden Edinburgh**, v.45, p.503-525, 1988.

SANTOS, S.A.; ABREU, U.G.P.; TOMICH, T.R.; COMASTRI FILHO, J.A.; CRISPIM, S.M.A. Pecuária no Pantanal: em busca da sustentabilidade. In: Albuquerque, A.C.S. e Silva, A.G. Agricultura **Tropical: quatro décadas de inovações tecnológicas**. 2008. V.II, cap.3, p.535-570.

SILVA, J. dos S.V.; ABDON, M.M. Delimitação do Pantanal Brasileiro e suas sub-regiões. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v. 33, p.1703-1711, 1998.

SILVA, F. de A.S. e. The ASSISTAT Software: statistical assistance. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON COMPUTERS IN AGRICULTURE, 6, Cancun, 1996. **Anais...** Cancun: American Society of Agricultural Engineers, 1996. P.294-298.

SOARES, R.V. **Determinação de um índice de perigo de incêndios para a região centro-paranaense, Brasil**. 1972. 72 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Instituto Interamericano de Ciências Agrícolas da OEA, Turrialba, Costa Rica: IICA,

SOARES, R.V.; PAZ, G. Uma nova fórmula para determinar o grau de perigo de incêndios florestais na região centro-paranaense. Curitiba: **Revista Floresta**, 4 (3), p. 15-25, 1973.

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

SOARES, R.V. Comparação entre quatro índices na determinação do grau de perigo de incêndios no município de Rio Branco do Sul – Pr. Curitiba: **Revista Floresta**, 17 (12), p. 31-35, 1987.

SORIANO, B.M.A.; ALVES, M.J.M. **Boletim Agrometeorológico ano 2002 para a sub-região da Nhecolândia, Pantanal, Mato Grosso do Sul, Brasil**. Corumbá: Embrapa Pantanal, 2005. 29 p. (Embrapa Pantanal. Documentos, 76).

SORIANO, B.M.A.; SANTOS, S.A.; DANIEL, O; CRISPIM, S.M; PELLEGRIN, L.A.; PADOVANI, C.R. **Monitoramento dos focos de calor e das variáveis meteorológicas para o Pantanal em 2008**. Corumbá: Embrapa Pantanal, 2008. 4 p. (Embrapa Pantanal. Comunicado Técnico, 73).

WMO. WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION. **Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observation: Weather, Climate, Water.** WMO n° 8, Seventh edition, Geneva, 2008.

CAPÍTULO 2

VALIDAÇÃO DO MAPEAMENTO DAS UNIDADES DE PAISAGEM DA SUB-REGIÃO DA NHECOLÂNDIA, PANTANAL SUL-MATO-GROSSENSE

RESUMO: Este trabalho teve como objetivo a validação do mapeamento das unidades de paisagem (UP) da sub-região da Nhecolândia, Pantanal Sul-mato-grossense realizado por meio do processamento digital das imagens de satélite TM/Landsat-5, referentes ao período de estiagem de 1999 (órbitas/pontos 226/73 e 225/73), bandas 3, 4 e 5. Após as etapas de pré-processamento, as imagens foram submetidas à técnica de classificação não supervisionada. O mapeamento das UP, resultante da classificação, foi organizado em 10 classes em função do grau de inundação e classe de vegetação (florestas, savanas e campos não inundáveis, florestas, savanas e campos sazonalmente inundáveis, florestas, savanas e campos /úmidos e corpos d'água). O mapeamento foi validado por meio de unidades de amostra *in loco*. Devido à grande dimensão da sub-região e às dificuldades de acesso, foi estabelecido um buffer de 30 km (11% da área total) com centro na Fazenda Nhumirim, onde foram coletados 99 pontos de referência, utilizados para calcular a acurácia da classificação por meio da matriz de confusão e índices gerados. Os valores da exatidão global e o Índice Kappa foram de 72,73% e 0,66, resultando num mapa temático classificado como sendo de boa qualidade.

Palavras-chave: mapa temático, uso da terra; sensoriamento remoto, índice Kappa.

ABSTRACT: This work aimed to validate landscape units (LU) mapping of the Nhecolândia sub-region, Southern Pantanal, Brazil classified by satellite digital images TM/Landsat-5. The analyzed period was the drought of 1999 (orbit/points 226/73 and 225/73), bands 3, 4 and 5. After pre-processing, the images were treated by non-supervised technique. The mapping of LU from this classification was organized into 10 classes (non-flooded forest, savanna and fields, seasonal flooded forests, savanna and fields, humid flooded forest, savanna and water bodies). The mapping was validated by *in loco* samples, from 10th to 17th of January, 2011. A buffer of 30 km (11%) was established to collect a total of 99 reference points used to calculate the accuracy of classification by confusion matrices and generated indices. Values found for Global accuracy and Kappa Index were 72.73% and 0.66 respectively, showing a good quality of thematic mapping of the Nhecolândia sub-region.

Keywords: Thematic maps, land use, remote sensing, Kappa index.

1 INTRODUÇÃO

O bioma Pantanal é uma extensa planície de áreas úmidas contínuas da América do Sul com 138.183 km² de área. Está inserido na bacia hidrográfica do Alto Paraguai (BAP), localizado na região Centro-Oeste do Brasil. O Pantanal é subdividido em onze sub-regiões (Cáceres, Poconé, Barão de Melgaço, Paraguai, Paiaguás, Nhicolândia, Abobral, Aquidauana, Miranda e Porto Murtinho), considerando-se aspectos relacionados à inundação, relevo, solo e vegetação. Estas sub-regiões possuem uma grande variabilidade de unidades de paisagem, diretamente associadas às diferentes condições ambientais a que estão sujeitas (SILVA e ABDON, 2000).

Diante dessa complexidade de ambientes, o uso de imagens orbitais tem possibilitado a realização de diversos mapeamentos regionais de vegetação, como é o caso dos mapeamentos para a sub-região de Poconé (ALMEIDA, 2000; NUNES DA CUNHA et al., 2007, SANTOS et al., 2009) e Nhicolândia (ABDON et al., 1998; BACANI et al., 2006; RODELA et al., 2007; RAVAGLIA et al., 2011), visando subsidiar pesquisas e estratégias de manejo, monitoramento e definição de políticas públicas.

Embora haja uma grande quantidade de mapas produzidos por meio do Processamento Digital de Imagens de Satélite (PDIS), são raros os trabalhos que avaliem a acurácia desses dados. A validação dos dados gerados por meio de PDIS é de fundamental importância para que se possa integrá-lo num Sistema de Informações Geográficas (SIG), evitando interpretações errôneas. A utilização de SIG, por si só, não garante tomadas de decisão e/ou soluções adequadas se não houver controle da qualidade dos dados obtidos (SILVA, 2003).

A estatística Kappa é um método muito utilizado para avaliar a concordância entre a verdade terrestre e os mapas temáticos gerados a partir da interpretação visual de dados de satélite ou processamento automático. A grande vantagem do uso desta estatística é que no cálculo do coeficiente são incluídos todos os elementos da matriz de erro e não somente os elementos da diagonal principal, como no caso da exatidão geral (CONGALTON, 1991).

O objetivo deste trabalho foi validar o mapeamento das unidades de paisagem da sub-região da Nhecolândia, Pantanal Sul-mato-grossense, publicado por Ravaglia et al. (2011) por meio dos valores da exatidão global, erros de omissão e comissão e índice Kappa, avaliando a concordância entre o mapa gerado por classificação não supervisionada e a referência de campo.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Caracterização da área de estudo

A sub-região da Nhecolândia localiza-se no Pantanal Sul-mato-grossense (Figura 1), compreendendo 19,5% da planície pantaneira, agregando áreas dos municípios de Rio Verde de Mato Grosso, Aquidauana e Corumbá (SILVA e ABDON, 1998).

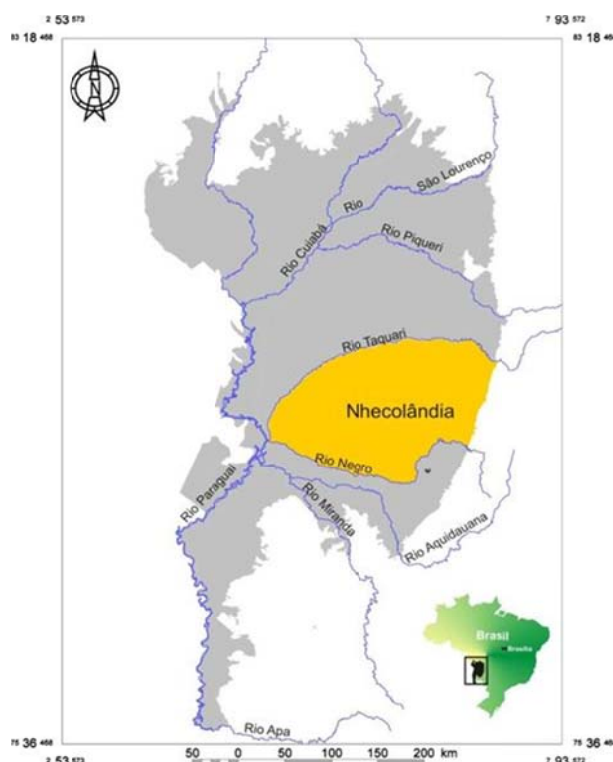


Figura 1. Localização da sub-região da Nhecolândia, no Pantanal Sul-mato-grossense (SILVA e ABDON, 1998). (Fonte: Laboratório de Geoprocessamento da Embrapa Pantanal).

A região enquadra-se no tipo climático Aw (Köppen), definido como clima tropical, megatérmico (temperatura média do mês mais frio é superior a 18 °C) (SORIANO e ALVES, 2005). A precipitação total média anual, obtida a partir de dados mensais de 19 estações pluviométricas distribuídas no interior e entorno da sub-região da Nhecolândia, no período de 1969 a 2007 foi de 1.187,1 mm.

No decorrer do ano (Figura 2) as chuvas na região apresentam dois períodos bem definidos: um chuvoso, de outubro a março, quando ocorre cerca de 80 % do total médio anual das chuvas e um período de estiagem, de abril a setembro.

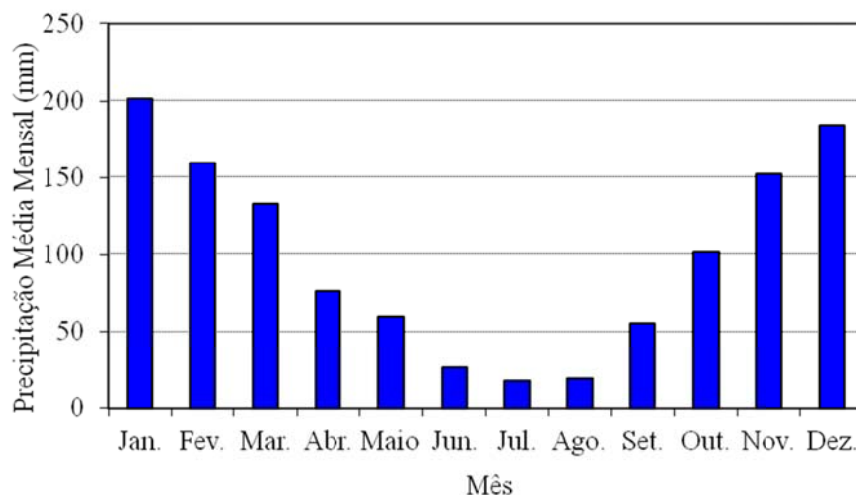


Figura 2. Distribuição média mensal da precipitação pluviométrica no interior e entorno da sub-região da Nhecolândia, no período de 1969 a 2007. (Fonte: dados disponibilizados na HIDROWEB, 2011).

Os meses de janeiro e dezembro são os mais chuvosos, com média histórica acima de 180 mm em cada um deles, contribuindo com mais de 32% da precipitação anual. A partir de abril ocorre uma redução sensível nos índices pluviométricos sendo que, no trimestre mais seco do ano (junho a agosto), as chuvas representam, em média, 5% do total anual.

Dados diários de temperatura e umidade relativa do ar coletados da estação climatológica de Nhumirim (única estação que registra essas variáveis na área de estudo), localizada na sub-região da Nhecolândia, no período de 1977 a 2007, registraram temperatura média anual de 25 °C, variando de 21 °C (julho) a 28 °C (janeiro). A média anual da temperatura máxima foi 32 °C e, nos meses de outubro a janeiro elas foram próximas de 34 °C. A média da temperatura mínima é 20,2 °C, sendo julho o mês mais frio com média de 14,6 °C.

A umidade relativa média anual foi 80%, oscilando entre 73% e 85%. As menores médias foram registradas entre os meses de julho e novembro, sendo setembro o mês mais seco da região.

A região possui densa rede hidrográfica, delimitada pelo rio Taquari ao Norte e Oeste-Sudoeste, e pelo rio Negro a Leste e Sul, alimentada no início da estação chuvosa pela cheia do Taquari. As águas escoam para Sudoeste, na direção do rio Negro que funciona como receptor (BRASIL, 1997).

O regime de inundação dessa sub-região é classificado como de baixa altura (30 a 40 cm) e de média duração (3 a 4 meses), sendo a superfície inundada estimada em 30% (BRASIL, 1979). É caracterizada pela presença de lagoas, às vezes salinas, relacionadas a uma topografia extremamente suave (RATTER et al., 1988).

Os solos são de textura arenosa com teores de argila variando de 2 a 5% e 0,5% de matéria orgânica (CUNHA, 1985), pertencentes predominantemente aos grandes grupos Neossolos Quartzarênicos e Espodossolos Hidromórficos. Os Espodossolos são solos minerais, de baixa fertilidade natural, baixa saturação em bases e de moderadamente a fortemente ácidos. Devido à pobreza de bases trocáveis e das condições de inundação são utilizados com pastagem natural, aproveitando os extensos campos nativos. Os Neossolos são solos pouco evoluídos, constituídos, na região, por material mineral com menos de 20 cm de espessura. Aparecem associados aos Espodossolos, ao sul e oeste da sub-região da Nhecolândia, onde a presença de lençol freático próximo à superfície lhes confere caráter hidromórfico. Sua textura muito arenosa e sua baixa fertilidade natural tornam inviável técnica e economicamente o seu uso além do aproveitamento das pastagens naturais (FERNANDES et al., 2007).

A sub-região da Nhecolândia é constituída por aproximadamente 60% de vegetação de savanas, as quais são formadas por estratos de vegetação arbustiva e herbácea. A maioria das savanas está localizada em áreas sazonalmente inundáveis, onde a dinâmica de inundação varia em função da intensidade e distribuição das chuvas (RAVAGLIA et al., 2011).

2.2 Classificação temática do mapeamento da sub-região da Nhecolândia

Procedeu-se a avaliação da acurácia do mapa gerado pela classificação temática não supervisionada das unidades de paisagem (UP) realizada para a sub-região da Nhecolândia por Ravaglia et al. (2011). Segundo os autores, para a classificação das UP foi utilizada a metodologia adotada por Rodela et al. (2007) adaptada por Santos et al. (2008, 2009). Esta metodologia baseia na classificação das UP conforme o regime de inundação a que são submetidas: UP habitualmente seca, UP habitualmente sazonal (até seis meses de inundação), UP habitualmente úmida (acima de oito meses de inundação) e UP corpos d'água, como também nas principais classes de vegetação que são: florestas, savanas e campos. Com base nessa

classificação, conforme Quadro 1, constam as principais classes de UP para o mapeamento da sub-região da Nhecolândia.

Quadro 1. Classificação das unidades de paisagem no Pantanal (RAVAGLIA et al., 2011)

Classes	Unidades de paisagem	Siglas
Unidade habitualmente seca	Áreas florestais não inundáveis	AFNIA
	Áreas savânicas não inundáveis	ASNIA
	Áreas de campos não inundáveis	ACNIA
Unidade habitualmente sazonal (até seis meses de inundação)	Áreas florestais inundáveis sazonais	AFIS
	Áreas savânicas inundáveis sazonais	ASIS
	Áreas de campos inundáveis sazonais	ACIS
Unidade habitualmente úmida (acima de seis meses de inundação)	Áreas florestais inundáveis úmidas	AFIU
	Áreas savânicas inundáveis úmidas	ASIU
	Áreas de campos inundáveis úmidas	ACIU
Unidade com água permanente	Corpos d'água	Perene

Para a classificação foram utilizadas imagens de satélite TM/Landsat-5 de setembro de 1999 (órbitas/pontos 226/73 e 225/73), baseadas na composição RGB das bandas 3 (0.63-0.69 μm , faixa espectral do vermelho), 4 (0.76-0.90 μm , infravermelho próximo) e 5 (1.55-1.75 μm , infravermelho médio), adquiridas do catálogo online gratuito do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). As imagens foram referentes ao período de estiagem por possibilitarem a identificação das marcas do alcance das inundações e melhor discriminação dos alvos em função da sua resposta espectral relacionada à ausência de nuvens (RODELA et al., 2007).

No processamento e interpretação das imagens foi utilizado o aplicativo SPRING 4.3.3 (CÂMARA et al., 1996). Após a aquisição das imagens, efetuou-se a sua correção geométrica, utilizando como referência as cenas Landsat-TM (Thematic Mapper) ortorretificadas, disponíveis gratuitamente no endereço eletrônico: <https://zulu.ssc.nasa.gov/mrsid>. O erro de posicionamento expresso pelo RMS (Root Mean Square) foi menor do que 0,5 pixel para todas as cenas.

Após o georreferenciamento, as imagens foram importadas para um banco de dados no sistema, onde a projeção cartográfica adotada foi UTM, sistema de referência Datum WGS84, Zona 21, gerando-se imagens sintéticas para cada cena. Para o tratamento radiométrico das imagens sintéticas foi aplicada a operação contraste, fazendo manipulações no histograma até obter um contraste que favorecesse a visualização dos alvos na imagem. Por fim, as imagens passaram por um processo de filtragem mediante operação de realce de imagem TM, com

aplicação de filtro linear, potencializando a qualidade visual, facilitando o processo de interpretação.

As imagens sintéticas foram então submetidas à técnica de classificação não supervisionada, a qual consiste em um algoritmo que avalia em que classe alocar cada região em função de seus atributos estatísticos, ocorrendo a definição automática da classe e o enquadramento, a partir de agrupamentos espectrais naturais predominantes na imagem. O classificador k-médias foi o tipo de algoritmo de agrupamento utilizado para a classificação. As imagens TM/Landsat-5 foram classificadas em 25 temas (RAVAGLIA et al., 2011).

Concluída a etapa de classificação, criou-se um modelo de dados temáticos utilizando-se as 10 classes propostas (Quadro 1). Com o auxílio de pontos georreferenciados adquiridos no campo, realizou-se o mapeamento associando os temas que foram gerados automaticamente às respectivas classes do modelo de dados, para cada imagem. Após o processamento das imagens foi feito um mosaico das imagens classificadas, resultando no mapeamento das UP da sub-região da Nhecolândia (Figura 3 e Quadro 2) (RAVAGLIA et al., 2011).

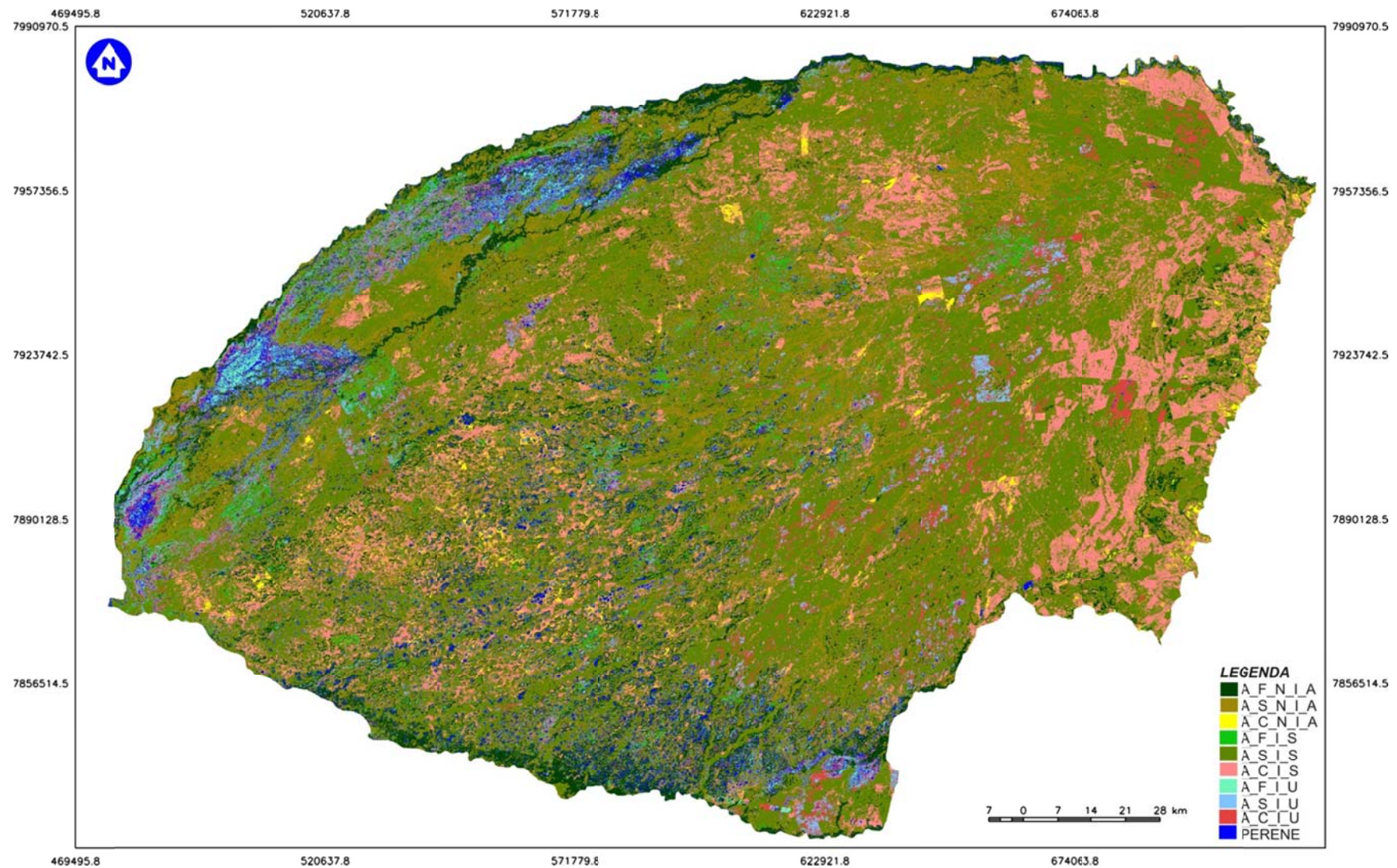


Figura 3. Mapa temático da sub-região da Nhecolândia, MS, base 1999, classificado em unidades de paisagem em função da classe da vegetação e grau de inundação (RAVAGLIA et al., 2011).

Quadro 2. Superfície das unidades de paisagem da sub-região da Nhecolândia, no Pantanal Sul-mato-grossense (RAVAGLIA et al., 2011)

Classe	Legenda	Sub-região da Nhecolândia	
		Área (ha)	Área (%)
AFNIA	Áreas florestais não inundáveis	280.350,25	10
ASNIA	Áreas savânicas não inundáveis	428.481,25	16
ACNIA	Áreas de campo não inundáveis	32.923,00	1
AFIS	Áreas florestais sazonalmente inundáveis	76.195,75	3
ASIS	Áreas savânicas sazonalmente inundáveis	1.101.155,50	41
ACIS	Áreas de campo sazonalmente inundáveis	389.878,50	15
AFIU	Áreas florestais inundáveis/úmida	38.705,50	1
ASIU	Áreas savânicas inundáveis/úmida	99.765,00	4
ACIU	Áreas de campo inundáveis/úmida	148.871,50	6
Perene	Corpos d'água	75.723,00	3
Total		2.672.049,25	100

2.3. Trabalho de campo

Com o objetivo de validar os resultados da distribuição espacial das classes acima mencionadas, foi realizada uma expedição para coleta de dados de campo (referência de campo ou verdade terrestre) no período de 10 a 17 de janeiro de 2011 na área de estudo, num total de 99 pontos. No entanto, em função da grande dimensão da sub-região e às dificuldades de acesso, foram estabelecidos alguns critérios para coleta dos pontos de referência:

- a) Um buffer de 30 km (11% da área de estudo) no entorno das coordenadas latitude 18°59'21''S, longitude 56°37'25''W que representa a localização da Estação Climatológica da fazenda Nhumirim.
- b) Dentro deste buffer as informações de referência foram obtidas através de incursões terrestres, realizadas para representar amostras das diversas unidades de paisagem (UP) da área. À medida que iam ocorrendo mudanças de UP, procurava-se tomar os pontos amostrais no centro da área que deveria ter no mínimo 50 x 50 m, evitando assim amostras pouco representativas, já que o mapeamento foi realizado com imagens de resolução 30 x 30 m (Landsat-5). Quando não foi possível chegar ao centro do ponto em questão, aproximou-se o máximo possível da sua borda, sendo registrada a coordenada nesta posição e estimando a distância em metros do

centro da UP, para a posterior correção da coordenada (offset). Em todos os pontos foram registrados as coordenadas geográficas com receptores de navegação GPS (Global Positioning System).

Após os procedimentos acima, com o objetivo de integrar as informações coletadas em campo com as classes pré-estabelecidas para a classificação das imagens, foi construído um plano de informação (PI) do tipo “cadastral” no SPRING 4.3.3. Um PI do tipo cadastral conecta uma informação de uma tabela descritiva a dado objeto geográfico. As informações obtidas por GPS dos pontos referentes a cada UP foram espacializados sobre a área de estudo e inseridas as respectivas informações descritivas, como número do ponto, data, nome da propriedade/fazenda, coordenadas, altitude e unidades de paisagem verificada. Por meio do PI cadastral, foi possível observar o tipo de UP de forma mais interativa.

2.4. Avaliação da acurácia do mapeamento

Para avaliar-se a acurácia da classificação das UP, os dados de campo foram plotados no mapa temático, permitindo a geração de uma matriz de confusão. A matriz de confusão ou de erros é uma boa base para avaliar a qualidade da classificação, pois fornece dados para o cálculo da exatidão de cada classe com seus erros de comissão e omissão, isto é, representa a distribuição de percentagens de pixel classificados de forma correta ou erroneamente (ROSENFELD; FITZPATRICK-LINS, 1986; CONGALTON, 1991), além dos índices de exatidão global e Kappa (IK).

Erros de omissão podem ser descritos como a omissão no mapa de uma determinada feição constatada em campo, e, erros de comissão são descritos como atribuição no mapa de determinada feição a uma classe a qual a mesma não pertence, segundo levantamento de campo (SILVA, 2003).

Congalton (1991) relata que o uso do índice Kappa é satisfatório na avaliação da precisão de uma classificação temática, pelo fato de levar em consideração toda a matriz de confusão no seu cálculo, inclusive os elementos de fora da diagonal principal, os quais representam as discordâncias na classificação, diferentemente da exatidão global, por exemplo, que utiliza somente os elementos diagonais (concordância real). Esse método de avaliação é amplamente utilizado em

dados de sensoriamento remoto, como se pode observar em Antunes e Lingnau (1997), Mangabeira et al. (2003), Valente e Vettorazzi (2003), Espírito-Santo e Shimabukuro (2005), Sano et al. (2008), Mello et al, 2009, Santiago e Pereira Junior (2010), Renó et al. (2011) entre outros.

O índice Kappa foi calculado utilizando o aplicativo SPRING 5.1.8, que por meio do procedimento de validação de classificação de imagens automáticas realiza o cruzamento entre o plano de informação de validação (mosaico do mapeamento das UP) e o plano de informação de referência (dados de campo). A saída deste procedimento é uma matriz de confusão, a partir da qual são calculados os valores da exatidão média global, indicada pela soma dos valores da diagonal dessa matriz dividida pelo número de verificações de campo, o IK e os erros de omissão e comissão de mapeamento (SILVA, 2003).

A interpretação desse índice foi baseada em Landis e Koch (1977) para análise de imagens orbitais, quando definiram intervalos do IK e os relacionaram com a qualidade da classificação, conforme apresentado no Quadro 3.

Quadro 3. Classes de qualidade do índice Kappa (LANDIS e KOCH, 1977).

Valor do Kappa (IK)	Qualidade
<0,0	Péssima
0,0 – 0,20	Ruim
0,21 – 0,40	Razoável
0,41 – 0,60	Boa
0,61 – 0,80	Muito boa
0,81 – 1,0	Excelente

Neste trabalho, portanto, a partir da matriz de confusão, foram calculados a exatidão global da classificação (indicada pela diagonal da matriz), o índice Kappa (IK) e os erros de omissão e comissão de mapeamento (SILVA, 2003).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A avaliação da acurácia do mapeamento foi discutida com base em três métodos, como apresentados a seguir.

3.1 Erros de omissão e comissão

A partir da matriz de confusão do mapeamento das UP (unidades de paisagem e classes temáticas) da sub-região da Nhecolândia foram gerados os erros de omissão e comissão.

Verificou-se que as UP ACNIA e ASNIA foram aquelas que apresentaram maiores erros de omissão (Quadro 4). Na primeira, ACNIA, o erro foi de 80%. Isso ocorreu em função da confusão gerada com as UP ASIS e ACIS, resultante da dinâmica da vegetação do Pantanal, pois estas duas unidades são campos não inundáveis que podem tornar-se sazonais em anos mais úmidos (ACIS), como também podem tornar-se dominadas por espécies arbustivas (ASIS) devido à sucessão vegetal causada por fatores climáticos ou antrópicos (SANTOS et al., 2009). Na segunda, ASNIA, o erro de omissão foi de 58,3%, promovido pela confusão com ASIS, AFNIA e ACIS.

Na sequência, a classe ACIS apresentou 39% de erro de omissão, sendo que as unidades responsáveis pela confusão gerada foram ASIS e ASNIA. Esta foi seguida pelas classes: PERENE com erro de 22% e confusão a partir de ACIS e ASIS; AFNIA com 14% e confusão na unidade ASIS e ASIS com 3,3% e confusão com ACIS. Para as UP ACIU, AFIS, AFIU e ASIU não houve erros de omissão.

Como a classificação das paisagens foi baseada em classes gerais de vegetação, esses erros já eram esperados devido a complexidades de tipos de vegetação (composição florística) associadas com as características ambientais e com dinâmica da inundação que é variável no tempo e no espaço no pantanal (SANTOS et al., 2009). Recentemente NOVACK et al. (2010) concluíram que a sazonalidade do regime de inundação foi responsável por erros de omissão e comissão também na classificação automática visando identificação de lagoas na região.

Quadro 4. Matriz de erro/confusão comparando os resultados do mapa temático das unidades de paisagem da sub-região da Nhecolândia (linhas) com os dados de referência de campo (colunas)

		(minhas) com os dados de Referência de campo (colunas)											
		Referência de campo											
*Classes temáticas		ACIS	ACIU	ACNIA	AFIS	AFIU	AFNIA	PERENE	ASIS	ASIU	ASNIA	Total	Erro de Comissão
Mapa Classificado	ACIS	11		4				1	1		2	19	42,0%
	ACIU		1									1	0,0%
	ACNIA			2								2	0,0%
	AFIS				2							2	0,0%
	AFIU					2						2	0,0%
	AFNIA						12				1	13	7,7%
	PERENE							7				7	0,0%
	ASIS	4		4			2	1	29		4	44	34,0%
	ASIU									1		1	0,0%
	ASNIA	3									5	8	37,5%
	Total	18	1	10	2	2	14	9	30	1	12	99	-
	Erro de Omissão	39,0%	0,0%	80%	0,0%	0,0%	14,0%	22,0%	3,3%	0,0%	58,3%	-	-

*Classes temáticas: ACIS (Áreas de campos inundáveis sazonais), ACIU (Áreas de campos inundáveis úmidas), ACNIA (Áreas de campos não inundáveis), AFIS (Áreas florestais inundáveis sazonais), AFIU (Áreas florestais inundáveis úmidas), AFNIA (Áreas florestais não inundáveis), PERENE (Corpos d água), ASIS (Áreas savânicas inundáveis sazonais), ASIU (Áreas savânicas inundáveis úmidas), ASNIA (Áreas savânicas não inundáveis).

Obteve-se menor percentual de erro de comissão em relação aos erros de omissão. O maior erro de comissão referiu-se à classe ACIS com (42%), seguido pela classe ASNIA (37,5%), ASIS (34%) e AFNIA (7%). O erro registrado para a classe ASNIA teve como responsável a incorreção de interpretação feita como se elas fossem pertencentes à UP ACIS. As demais classes interpretadas na imagem não apresentaram erros de classificação por comissão.

Semelhante ao que foi discutido com o erros de omissão, os erros de comissão tem suas maiores causas baseada na dinâmica espacial, sazonal e cíclica da sucessão vegetal no Pantanal.

Esses erros de omissão e comissão de classes temáticas são inerentes a qualquer tipo de mapeamento (SILVA, 2003; MOREIRA, 2005), variando como consequência da qualidade do trabalho. É importante, no entanto, que outros indicadores sejam avaliados e que representem a acuracidade dos dados, tais como a exatidão média global e o índice Kappa.

3.2 Índices de exatidão global e Kappa

Apesar das confusões de classificação, os índices de exatidão média global e IK obtidos no mapeamento das UP da sub-região da Nhecolândia foram de 72,73% e 0,66, respectivamente.

O valor de 0,66 obtido para o IK pode ser considerado como muito bom na escala de valores indicada por Landis e Koch (1977) (Quadro 3), demonstrando que o mapeamento feito para as UP presentes na sub-região da Nhecolândia foi satisfatório, já que pelo menos 61% dos pontos de referência coletados concordaram com a o mapeamento gerado, em um ambiente dinâmico como o do Pantanal.

A dificuldade em obter mapeamentos mais acurados também foi experimentada por Sano et al. (2008) que utilizando imagens TM/Landsat para executarem mapeamento da cobertura vegetal do Cerrado, obtiveram os índices de exatidão global média e IK de 74,19% e 68,31%.

Santiago e Pereira Junior (2010) utilizaram os mesmos índices para validar o mapeamento da cobertura da terra dos Parques Estaduais do Jalapão (PEJ), Cantão (PEC) e município de Itaguatins (Tocantins). Os valores obtidos para o índice de exatidão global média foram de 78,38%, 84,62% e 86,67%, respectivamente, enquanto que para o IK, foram de 0,72; 0,81 e 0,69.

4 CONCLUSÃO

O mapa de unidades de paisagem para a sub-região da Nhecolândia obtido por classificação automática não supervisionada foi validado e classificado como sendo de qualidade muito boa segundo a classificação de Landis e Koch (1977).

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABDON, M.M.; SILVA, J. dos S.V.; POTT, V. J.; POTT, A.; SILVA, M.P. Utilização de dados analógicos do LANDSAT-TM na discriminação da vegetação de parte da sub-região da Nhecolândia no Pantanal. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.33, p.1799-1813, 1998.

ALMEIDA, N.N.; SILVEIRA, E.A.; BARROS, L.T.L.P. de. Mapa de vegetação e uso do solo da região de Poconé, MT: I descrição das unidades de paisagem. In: SIMPÓSIO SOBRE RECURSOS NATURAIS E SÓCIO-ECOMÔMICOS DO PANTANAL. Os desafios do novo milênio, 3, 2000, Corumbá. **Anais...** Embrapa Pantanal, 2000. Disponível em: <<http://www.cpap.embrapa.br/agencia/congresso/ABIOTICOS/ALMEIDA-055.pdf>>. Acesso em 10 set 2011.

ANTUNES, A. F.B.; LINGNAU, C. Uso dos Índices de Acurácia para Avaliação de Mapas temáticos obtidos por meios de classificação digital. In: Congresso e Feira para Usuário de geoprocessamento, 3, 1997, Curitiba. GIS Brasil 97: anais. Curitiba: SAGRES, 1997. p. 359-370.

BACANI, V.M.; SAKAMOTO, A.Y.; QUENOL, H. Mapeamento da cobertura vegetal e uso do solo no Pantanal da baixa Nhecolândia: um estudo comparativo entre anos de 1987 e 2004. In: SIMPÓSIO DE GEOTECNOLOGIAS NO PANTANAL, 1, 2006, Campo Grande, MS. **Anais...** Campinas: Embrapa Informática Agropecuária; São José dos Campos, 2006. p. 302-311. CD-ROM. GeoPantanal.

BRASIL. Ministério do interior. **Estudos de Desenvolvimento Integrado da Bacia do Alto Paraguai (EDIBAP):** Relatório de 1ª. Fase: Descrição física e recursos naturais. Brasília, 1979. t.2. 254p.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente, dos Recursos Hídricos e da Amazônia Legal. Programa Nacional de Meio Ambiente. **Plano de conservação da Bacia do Alto Paraguai - PCBAP.** Brasília, DF: PNMA, 1997. 3v. 354p.

CÂMARA, G.; SOUZA, R.C.M.; FREITAS, U.M.; GARRIDO, J.; MITSUO, F. Spring: integrating remote sensing and GIS by object-oriented data modeling. **Computers & Graphics**, v. 20, n.3, p.395-403, 1996.

CONGALTON, R.G. A review of assessing the accuracy of classifications of remotely sensed data. **Remote Sensing Environment**, v.37, n.1, p.35-46, 1991.

CUNHA, N.G. **Dinâmica de nutrientes em solos arenosos no Pantanal Matogrossense.** Corumbá, EMBRAPA, CPAP, 1985. 70p. (EMBRAPA, CPAP, Circular Técnica, 17).

ESPÍRITO-SANTO, F.D.B.; SHIMABUKURO, Y.E. Validação do mapeamento de uma área de floresta tropical com o uso de imagens de videografia aérea e dados de levantamento de campo. **Revista Árvore**, v. 29, n. 2, p. 227-239, 2005.

FERNANDES, F.A.; FERNANDES, A.H.B.M.; SOARES, M.T.S.; PELLGRIN, L.A., LIMA, I.B.T. **Atualização do Mapa de Solos da Planície Pantaneira para o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Corumbá: Embrapa Pantanal, 2007. 6p. (Embrapa Pantanal. Comunicado Técnico, 61). Disponível em: <http://www.cpap.embrapa.br/publicacoes/online/CT61.pdf>.

HIDROWEB: Sistema de Informações Hidrológicas: [Brasília, DF]: Agência Nacional de Águas. Disponível em: <<http://hidroweb.ana.gov.br>>. Acesso em: 30 set. 2011.

LANDIS, J.R.; KOCH, G.G. The measurement of observer agreement for categorical data. **Biometrics**, v.33, n.1, p.159-174, 1977.

MANGABEIRA, J.A. de C.; AZEVEDO, E.C. de; LAMPARELLI, R. A.C. **Avaliação do levantamento do uso das terras por imagens de satélite de alta e média resolução espacial**. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2003. 16 p., il. (Comunicado Técnico, 11).

MELLO, J.M. de; BRITO A. de; CARVALHO, L.M.T. de; ACERBI JUNIOR, F.W.; SILVEIRA, E.M.O. Validação do Mapeamento da Flora Nativa e dos Reflorestamentos de Minas Gerais. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO. 15, 2009, Natal. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2009. p. 2831-2838.

MOREIRA, M.A. **Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação**. 3. ed. Viçosa: ed. UFV, 2005. 320 p.

NOVACK, T.; HAYAKAWA, E.H.; BERTANI, T.C.; ZANI, H. Classificação de lagoas no Pantanal da Nhecolândia utilizando um sistema livre de análise de imagens orientada a objeto. **Revista Geográfica Acadêmica**, v.4, n.1, p.32-45, 2010.

NUNES DA CUNHA, C.; JUNK, W. J.; LEITÃO FILHO, H.F. Woody vegetation in the Pantanal of Mato Grosso, Brazil: a preliminary typology. **Amazoniana**, v. 3-4, p.159-184, 2007.

RATTER, J.A.; POTT, A; POTT, V.J.; CUNHA, C.N.; HARIDASAN, M. Observations on woody vegetation types in the Pantanal and at Corumbá, Brazil. **Notes RBG Edingurgh**, v. 45, n. 3, p. 503-525, 1988.

RAVAGLIA, A.G.; SANTOS, S.A.; SORIANO, B.M.A.; DANIEL, O.; FREITAS, L.C. de; PELLEGRIN, L.A.; TOMAS, W.M.; RODELA, L.G.; BUENO SOBRINHO, A.A.; ARAUJO, M.T.B.D. **Mapeamento das unidades de paisagem das sub-regiões da Nhecolândia e Poconé, Pantanal Mato-Grossense**. Corumbá: Embrapa Pantanal, 2011. 15 p. (Embrapa Pantanal. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 105).

RENÓ, V.F.; NOVO, E. M. L.M.; ALMEIDA-FILHO, R.; SUEMITSU, C. Mapeamento da Antiga Cobertura Vegetal de Várzea do Baixo Amazonas a Partir de Imagens Históricas (1975-1981) do Sensor MSS-Landsat. **Amazônica**; v.41,n.1, p.47-56, 2011.

RODELA, L.G.; QUEIROZ NETO, J.P.; SANTOS, S.A Classificação das pastagens nativas do Pantanal da Nhecolândia, Mato Grosso do Sul, por meio de imagens de satélite. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO. Florianópolis, 13, 2007, Florianópolis. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2007. p. 4187-4184.

ROSENFELD, G.H.; FITZPATRICK-LINS, K.A. A coefficient of agreement as a measure of thematic classification accuracy. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, Bethesda, v. 52, n. 2, p.233-227. 1986.

SANTIAGO, A.R.; PEREIRA JÚNIOR, A.C. Mapeamento da cobertura da terra dos Parques Estaduais do Jalapão (PEJ), Cantão (PEC) e município de Itaguatins (Tocantins). Land cover mapping in state parks Jalapão, Cantão and municipality Itaguatins (Tocantins). **Ambiência**, Guarapuava, v.6, n.1, p. 109-124, 2010.

SANO, E. E.; ROSA, R.; BRITO, J. L. S.; FERREIRA, L. G. **Mapeamento de Cobertura Vegetal do Bioma Cerrado**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2008. 60 p. (Embrapa Cerrados. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 205).

SANTOS, S.A.; RODELA, L.G.; TOMAS W.M.; CUNHA, C.N. da; RAVAGLIA, A. G.; ARAUJO, M.T.B.D.; BUENO SOBRINHO, A.A. A method to define and classify native pastures of the Northern Pantanal wetlands using satellite images. In: INTERNATIONAL WETLANDS CONFERENCE, 8., Cuiabá, 2008. **Big wetlands, big concerns: abstracts**. [Sl.: s.n.], 2008. p.196. INTECOL.

SANTOS, S.A.; RODELA, L.G.; TOMAS W.M.; CUNHA, C.N. DA.; RAVAGLIA, A.; PELLEGRIN, L.A. Mapeamento das unidades de paisagens, fitofisionomias e forrageiras chaves da sub-região de Poconé, Pantanal, MT. In. SIMPÓSIO DE GEOTECNOLOGIAS NO PANTANAL, 2., 2009, Corumbá. **Anais...** Campinas: Embrapa Informática Agropecuária; São José dos Campos: INPE, 2009. CD ROM.

SILVA, A. de B. **Sistemas de Informações Geo-referenciadas: conceitos e fundamentos**. Campinas, SP: Editora da Unicamp, 2003. 236p.

SILVA, J. dos S.V.; ABDON, M.M. Delimitação do Pantanal Brasileiro e suas sub-regiões. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 33, p.1703-1711, 1998.

SILVA, J. dos S.V.; ABDON, M.M. Vegetação do Pantanal em escala regional associada ao sistema fitogeográfico brasileiro. In. SIMPOSIO SOBRE RECURSOS NATURAIS E SOCIO-ECONOMICOS DO PANTANAL, 3., 2000, Corumbá, MS. **Os desafios do novo milênio: resumos**. Corumbá: Embrapa Pantanal, 2000. Disponível em: <<http://www.macroprograma1.cnptia.embrapa.br/projeto/probiopantanal/downloads-1/Probio3-Vegetacao.pdf>>. Acesso em: 15 ago. 2011.

SORIANO, B.M.A.; ALVES, M.J.M. **Boletim Agrometeorológico ano 2002 para a sub-região da Nhecolândia, Pantanal, Mato Grosso do Sul, Brasil**. Corumbá: Embrapa Pantanal, 2005. 29 p. (Embrapa Pantanal. Documentos, 76).

VALENTE, R.O.A.; VETTORAZZI, C.A. **Mapeamento do uso e cobertura do solo na Bacia do Rio Corumbataí, SP.** Circular Técnica (IPEF), Piracicaba, v. 196, p. 1-11, 2003.

CAPÍTULO 3

ZONEAMENTO DO RISCO DE INCÊNDIO PARA O PANTANAL SUL-MATO-GROSSENSE

RESUMO: Este trabalho teve como objetivo elaborar zoneamento do risco de incêndio para as condições do Pantanal Sul-mato-grossense, tendo como base o período de 2008 a 2010, utilizando a avaliação multicritério processada em sistema de informação geográfica (SIG). A área de estudo, sub-região da Nhecolândia apresenta uma extensão de 26.000 km² compreendendo 19,5% do Pantanal. Para o mapeamento do risco de incêndio foram definidos quatro fatores: unidades de paisagem (UP), facilidade de acesso (FA), precipitação pluviométrica (PP) e índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI). O geoprocessamento foi realizado por meio do SIG SPRING, tendo como base a classificação temática das unidades de paisagem de Ravaglia et al (2011), arquivo de pontos e linhas das sedes de fazenda e estradas, dados diários de precipitação pluviométrica e dados de NDVI obtidos a partir de imagens de satélite Landsat 5/TM de agosto/2008, setembro/2009 e setembro/2010, meses considerados de pouca chuva e com grande ocorrência de incêndio na região. Foram gerados os mapas temáticos dos fatores definidos, os quais foram submetidos ao processo de padronização por meio da rotina de ponderação, onde foram convertidos em dados numéricos e então divididos em classes conceituais pré-estabelecidas de acordo com a importância de cada fator em relação ao risco de incêndio: nulo (0), baixo (2), regular (4), médio (6), alto (8) e muito alto (10). O zoneamento foi elaborado por meio da soma ponderada dos mapas de riscos parciais, representado pelo modelo de integração do risco de incêndio $RI = (0,35 \times UP) + (0,30 \times NDVI) + (0,20 \times PP) + (0,15 \times FA)$. A partir do modelo calculou-se o risco de incêndio para quatro períodos: agosto/2008, setembro/2009, setembro/2010, além de um mapa conjugado considerando a média de precipitação histórica e NDVI médio para os três anos. Os dados de focos de calor obtidos pelo satélite NOAA foram considerados como verdade de campo em relação à incidência de queimadas na região e foram utilizados para validar o mapa. Os mapas de risco foram quantificados, observando-se no mapa conjugado uma participação de 89,4% das classes de risco médio, alto e muito alto quando comparados com a superfície na qual o risco foi previsto, onde também foram detectados 86,1% dos focos de calor ($r = 0,996$, $p < 0,05$). A mesma tendência se confirmou na análise dos dados individuais (2008 a 2010). Verificou-se também maior incidência dos focos de calor entre 2008 e 2010 nas unidades de paisagem ACIS (áreas de campo sazonalmente inundáveis), ASNIA (áreas savânicas não inundáveis) e ASIS (áreas savânicas sazonalmente inundáveis), as quais representam 72% da paisagem da Nhecolândia e também onde ocorrem naturalmente os capins vermelho (*Andropogon hypoginus* Hack.) e carona (*Elionurus muticus* Spreng. Kuntze), totalizando 1012 focos do montante das ocorrências nas classes de risco médio a muito alto. Diante do exposto, conclui-se: que os mapas de risco obtidos pela metodologia utilizada são de alta confiabilidade para a sub-região da Nhecolândia, Pantanal Sul-mato-grossense.

Palavras-chave: análise multicritério, NDVI; SIG; focos de calor, prevenção de incêndio; Nhecolândia.

ABSTRACT: This study aims to map the fire risk of the South Pantanal of Mato Grosso, from 2008 to 2010, using the multi criteria assessment tool of Geographic Information System (GIS). The study area has 26,000 km² (Nhecolândia region) comprising 19.5% of Pantanal. Four factors were defined to determine fire risk: Landscape Unit (UP), Easy of Access (FA), Rain Precipitation (PP) and Normal Difference Vegetation Index (NDVI). Geo-processing was done with SIG SPRING, using the landscape unit thematic classification by Ravaglia et al (2011). Landsat 5/TM satellite images of August/2008, September/2009 and September/2010, which are dry months (less rain) and with great occurrence of fires, were used to map points and lines of farm infrastructure and roads, daily rain data and NDVI. Thematic maps of defined factors were created and submitted to a standardization process by a weighted sum routine. In this procedure numerical data were divided into pre-established conceptual classes with the following weight per factor: null (0), low (2), regular (4), medium (6), high (8) and very high (10). The mapping was elaborated by a weighted sum of the partial risk maps, represented by the integration fire risk model $RI = (0.35 \times UP) + (0.30 \times NDVI) + (0.20 \times PP) + (0.15 \times FA)$. Fire risk was calculated using this model for four periods: August/2008, September/2009, September/2010, plus another conjugated map considering the historical mean precipitation and mean NDVI for 3 years. The hotspots data were obtained by NOAA satellite images and considered to be equivalent to the real fire incidence for this region. These images were used to validate the map. Fire risk maps were quantified by observing the conjugated map: when there was a participation of 89.4% of medium, high and very high risk classes when compared to a surface where the risk had been expected because of 86.1% of heat sources ($r = 0.996$, $p < 0.05$). The same result was confirmed in the analysis of individual data (2008 to 2010). A greater incidence of heat sources between 2008 and 2010 were observed in the landscape units: ACIS (Field Areas Flooded Seasonally), ASNIA (Non Flooded Savannas Areas) and ASIS (Savannas Areas Flooded Seasonally), which represents 72% of the Nhecolândia's landscape and also where naturally occur "vermelho" grasses (*Andropogon hypoginus* Hack.) and "carona" grasses (*Elionurus muticus* (Spreng.) Kuntze). Thus, a total of 1012 hotspots in the medium to high risk classes. In conclusion, the risk maps obtained by this methodology are of high quality for the Nhecolândia region, South Pantanal of Mato Grosso.

Key words: multi criteria assessment; NDVI, GIS; hotspots; fire prevention Nhecolândia.

1 INTRODUÇÃO

A pecuária de corte é hoje a principal atividade econômica do Pantanal, iniciada há pouco mais de dois séculos, cujo desenvolvimento se deu, sobretudo, em função da existência de extensas áreas de pastagens naturais. Todavia, apesar desta grande disponibilidade de áreas para pastejo, é notável a grande complexidade e diversidade dos ambientes explorados. O bioma Pantanal é formado por um grande mosaico de fitofisionomias, com grandes variações espaço-temporais decorrentes principalmente do efeito das condições climáticas. (SANTOS et al., 2008).

Uma das alternativas para interpretar esta grande diversidade de ambientes é fazer uso do conceito de unidades de paisagem (RODELA et al. 2007). Nesta metodologia os ambientes similares são agrupados e diferenciados segundo fatores importantes deste bioma, principalmente a classe de vegetação predominante e condição de inundação.

As unidades de paisagem dominada por campos são mais utilizadas para pastejo e sofrem grande influência de efeitos advindos do manejo dos animais, especialmente a queima controlada. Exemplos disso são as unidades de paisagem formadas por áreas de campos com predominância de capim-carona (*Elionurus muticus* (Spreng.) Kuntze), capim-vermelho (*Andropogon hypogynus* Hack.) e capim-rabo-de-burro (*Andropogon bicornis*).

A queima controlada geralmente é utilizada pelos pecuaristas da região com a justificativa de limpeza e renovação de pastos. Muitos proprietários utilizam esta estratégia, sobretudo visando aumentar a oferta de forragens no período seco, de agosto a setembro. Realizada de forma seletiva e localizada, a queimada possibilita eliminar ou conter a expansão de espécies indesejáveis, além de promover o rebrote das forrageiras que, por origem, são de baixa aceitabilidade pelos animais. A queimada pode ser uma ferramenta de manejo útil quando realizada corretamente (RODRIGUES et al, 2002).

Devidamente planejado, o emprego da queimada como prática de manejo pode até mesmo auxiliar na redução de grandes incêndios, uma vez que diminui a quantidade de material combustível disponível e acumulado durante anos, minimizando, ao mesmo tempo, o potencial de dano e propagação do fogo (POTT, 1997).

Contudo, deve-se ressaltar que nem todo fogo de ocorrência no Pantanal tem origem em práticas racionais de manejo, tais como os incêndios acidentais e aqueles iniciados por causas naturais. O elemento fogo, no entanto, seja provocado por causas naturais ou não, é um fator de grande influência no Pantanal, afetando diretamente a dinâmica e estrutura dos distintos ambientes que o formam.

Queimadas não controladas, também denominadas incêndios, comprometem não só a fauna e flora nativas, como também são geradoras de implicações econômicas diretas. Quando a queima ocorre sem critérios, sobretudo em época inadequada, pode trazer conseqüências diversas em diferentes escalas, que vão desde o risco para as populações rurais à degradação ambiental, com contribuição para o aquecimento global (BATISTA e SOARES, 2002).

A ocorrência e intensidade dos incêndios estão fortemente associados às condições climáticas, com maiores possibilidades de propagação no período de estiagem. A intensidade de um incêndio e a velocidade com que ele se propaga estão diretamente ligados à umidade relativa, temperatura e velocidade do vento (NUNES et al, 2006). O risco de incêndio é determinado pela correlação entre diversas variáveis ambientais, as quais influenciam no processo de ignição e propagação do fogo e que, quando associadas, criam dificuldades para o seu controle.

Uma vez que grande parte dos estudos sobre fogo em áreas de vegetação realizados no Brasil relacionam-se às áreas de floresta ou reflorestamento, um termo comumente empregado na literatura é incêndio florestal. Este evento pode ser definido como sendo a ocorrência de fogo sem controle, incidente sobre qualquer forma de vegetação, podendo ser provocado pelo homem (intencional ou por negligência) ou de causa natural, como é o caso dos raios (IBAMA, 2000). Embora este termo não seja, de início, o mais apropriado para o Pantanal, sua definição é válida também para muitas situações neste ambiente.

Dado o dano potencial dos incêndios e as proporções que um evento desta natureza pode assumir, a melhor estratégia a ser adotada é a de prevenção. A literatura é plena de técnicas e recomendações preventivas e muitas têm sido as iniciativas relatadas. Ribeiro (2009) postula que a melhor forma de atenuar as perdas causadas pelo fogo é gerar um conhecimento do grau de risco e elaboração de metodologias específicas de previsão, prevenção e controle para cada região.

Neste sentido, o zoneamento e a elaboração de mapas de risco são instrumentos amplamente utilizados, proporcionando uma visualização da distribuição espacial do risco de incêndio na área analisada, identificando as regiões com maior e menor probabilidade de ocorrência de incêndio (VETTORAZZI e FERRAZ, 1998). Estas informações são fundamentais para o processo de tomada de decisão, permitindo elaborar medidas preventivas, reduzindo assim, a ocorrência de incêndios e a extensão das áreas atingidas.

O zoneamento de risco revela-se de grande valia para a adequação e distribuição de recursos e equipamentos destinados à prevenção e ao combate, conforme o nível de risco de incêndio (OLIVEIRA et al., 2002). Exemplos de estratégias apoiadas no zoneamento são: maior vigilância nas áreas de maior risco, restrição de acesso aos locais de risco elevado, construção de aceiros preventivos e aplicação de técnicas de redução de material combustível nas zonas de maior risco.

Um problema enfrentado na elaboração de zoneamento refere-se à extensão e dificuldade de acesso às áreas de interesse. Trabalhos dessa natureza podem requerer muito tempo e recursos para sua produção. Por este motivo, é condição primordial o emprego de técnicas modernas de mapeamento que reduzem os custos associados, todavia assegurando precisão e confiabilidade. Sendo assim, a maioria dos estudos recentes, a exemplo de Vetorazzi e Ferraz (1998), tem recorrido ao geoprocessamento, mais particularmente no que se refere ao emprego de Sistemas de Informações Geográficas (SIG).

Como já referido anteriormente, é fato já existirem uma série de trabalhos tratando da produção de zoneamentos de riscos. No entanto, estudos voltados à ambientes distintos daqueles de florestas ou reflorestamentos são raros ou inexistentes, como é o caso do Pantanal.

Embora não se disponham de zoneamentos de riscos propriamente ditos, deve-se evidenciar que vários estudos acerca do efeito das queimadas já foram produzidos, dentre eles algumas iniciativas referentes a programas de monitoramento como fizeram Padovani (2006) e Soriano et al. (2008), utilizando basicamente observações das variáveis meteorológicas e das ocorrências anteriores de incêndios no Pantanal. Neste estudo conclui-se que dependendo da variação do clima entre anos, ocorre maior ou menor número de eventos, modificando a paisagem local.

Com base neste contexto, é possível prever que um zoneamento de riscos para a região do Pantanal incrementaria sobremaneira os trabalhos preventivos e de monitoramento. Todavia, há de se avaliar a aplicabilidade da técnica ao bioma Pantanal, procedendo aos ajustes necessários.

Independente do ambiente considerado, entretanto, está clara a necessidade de produzir mapeamentos baseados em critérios múltiplos. Alguns autores, a exemplo de Silveira et al (2008) fazem uma explanação detalhada do uso da avaliação multicriterial, como sendo uma técnica empregada para tomada de decisão que foram incorporadas aos SIGs. Malczewski (2004) coloca que a avaliação multicriterial é considerada um processo que combina e transforma dados espaciais (planos de informação de entrada) em mapas finais para a tomada de decisão, ressaltando-se que as regras de decisão definem as relações entre os dados de entrada e os mapas finais.

Roy et al (1995) definem a avaliação de multicritérios como uma ferramenta matemática que permite comparar diferentes alternativas (ou cenários), fundamentada em vários critérios, com o objetivo de direcionar os tomadores de decisão para uma escolha mais ponderada.

A determinação de risco potencial de incêndio é uma técnica já consolidada, como se observa em diversos trabalhos publicados recentemente, a exemplo de Chuvieco e Congalton (1989), Ferraz e Vettorazzi (1998), Freire et al.(2002), Oliveira et al. (2004), Dalcumune et al. (2005), Ribeiro et al. (2008), Silveira et al. (2008), Valente e Vettorazzi (2008), Sowmya e Somashekar (2010), Cipriani et al., (2011) e Koproski et al. (2011). Contudo, a maioria das publicações é voltada às áreas de florestas ou reflorestamento, indicando a necessidade de adaptar o método a outros ambientes, como por exemplo, o Pantanal.

Uma característica comum observada na literatura é a abordagem multicriterial, o que se justifica pelo fato de que a determinação do risco de incêndio é dependente de fatores que não devem ser considerados isoladamente. Além da dependência direta de múltiplas variáveis, relações antagônicas ou sinérgicas devem também ser avaliadas.

Os fatores mais comumente considerados na determinação do risco de incêndio, segundo a literatura consultada são: facilidade de acesso, declividade, exposição solar, índices pluviométricos e algum fator relacionado à combustibilidade

do material presente na área, geralmente vegetação. Neste último quesito, poucos estudos fazem uso de índices de vegetação obtidos por processamento de imagens de satélite, embora seja reconhecida sua aplicabilidade.

A avaliação criteriosa de cada variável associada ao risco de incêndios possibilita a determinação de graus de risco conforme a sua influência sobre a ignição e a propagação do fogo. A definição dos níveis de risco para cada variável é a parte mais importante e de maior dificuldade na elaboração dos mapas. A etapa final do zoneamento é a superposição dos diversos mapas elaborados para a delimitação de áreas de acordo com o nível de risco em função da somatória ponderada dos riscos parciais de cada variável previamente analisada (BATISTA, 2000).

Deste modo, propõe-se neste trabalho, elaborar um zoneamento do risco de incêndio para as condições do Pantanal Sul-mato-grossense, com base em avaliação de multicritério, processada em sistema de informação geográfica.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Caracterização da área de estudo

Com base em aspectos relacionados à inundação, relevo, solo e vegetação, Silva e Abdon (1998) delimitaram o Pantanal em onze sub-regiões. Dentre elas, destaca-se a sub-região da Nhecolândia (Figura 1) onde este trabalho foi realizado. Esta sub-região é a segunda maior, compreendendo 19,5% da planície pantaneira, com área de aproximadamente 26.000 km², localizada no Pantanal Sul-mato-grossense, agregando áreas dos municípios de Rio Verde de Mato Grosso, Aquidauana e Corumbá.

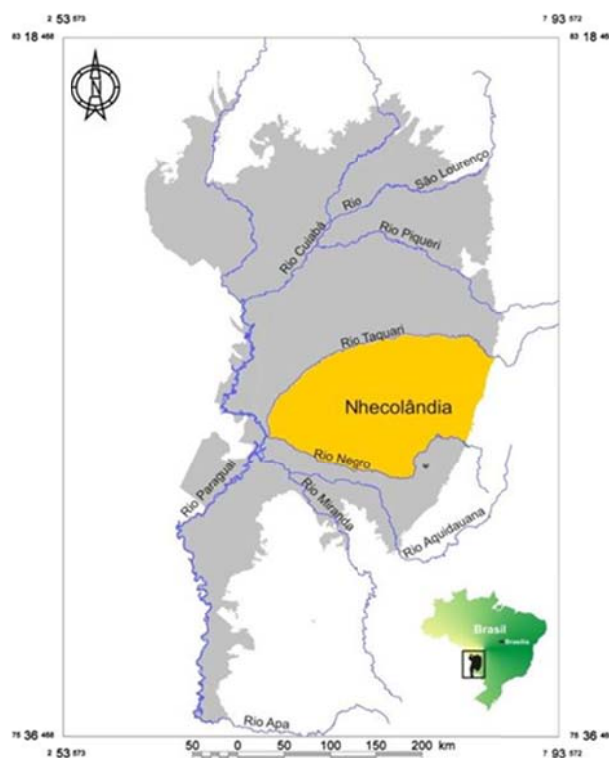


Figura 1. Localização da sub-região da Nhecolândia, no Pantanal Sul-mato-grossense (SILVA e ABDON, 1998). (Fonte: Laboratório de Geoprocessamento da Embrapa Pantanal).

A região enquadra-se no tipo climático Aw (Köppen), definido como clima tropical, megatérmico (temperatura média do mês mais frio é superior a 18 °C) (SORIANO e ALVES, 2005). A precipitação total média anual, obtida a partir de

dados mensais de 19 estações pluviométricas distribuídas no interior e entorno da sub-região da Nhecolândia, no período de 1969 a 2007 foi de 1.187,1 mm.

No decorrer do ano (Figura 2) as chuvas na região apresentam dois períodos bem definidos: um chuvoso, de outubro a março, quando ocorre cerca de 80 % do total médio anual das chuvas e um período de estiagem, de abril a setembro.

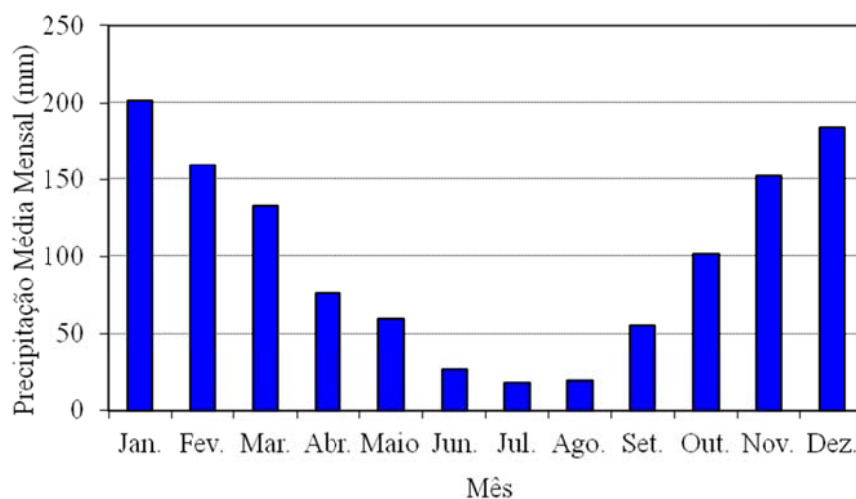


Figura 2. Distribuição média mensal da precipitação pluviométrica no interior e entorno da sub-região da Nhecolândia, no período de 1969 a 2007 (Fonte: dados disponibilizados na HIDROWEB, 2011).

Os meses de janeiro e dezembro são os mais chuvosos, com média histórica acima de 180 mm em cada um deles, contribuindo com mais de 32% da precipitação anual. A partir de abril ocorre uma redução sensível nos índices pluviométricos sendo que, no trimestre mais seco do ano (junho a agosto), as chuvas representam, em média, 5% do total anual.

Dados diários de temperatura e umidade relativa do ar coletados da estação climatológica de Nhumirim (única estação que registra essas variáveis na área de estudo), localizada na sub-região da Nhecolândia, no período de 1977 a 2007, registraram temperatura média anual de 25 °C, variando de 21 °C (julho) a 28 °C (janeiro). A média anual da temperatura máxima foi 32 °C e, nos meses de outubro a janeiro elas foram próximas de 34 °C. A média da temperatura mínima é 20,2 °C, sendo julho o mês mais frio com média de 14,6 °C.

A umidade relativa média anual foi 80%, oscilando entre 73% e 85%. As menores médias foram registradas entre os meses de julho e outubro, sendo setembro o mês mais seco da região.

A região possui densa rede hidrográfica, delimitada pelo rio Taquari ao Norte e Oeste-Sudoeste, e pelo rio Negro a Leste e Sul, alimentada no início da estação chuvosa pela cheia do Taquari. As águas escoam para Sudoeste, na direção do rio Negro que funciona como receptor (BRASIL, 1997).

O regime de inundação dessa sub-região é classificado como de baixa altura (30 a 40 cm) e de média duração (3 a 4 meses), sendo a superfície inundada estimada em 30% (BRASIL, 1979). É caracterizada pela presença de lagoas, às vezes salinas, relacionadas a uma topografia extremamente suave (RATTER et al., 1988).

Os solos são de textura arenosa com teores de argila variando de 2 a 5% e 0,5% de matéria orgânica (CUNHA, 1985), pertencentes predominantemente aos grandes grupos Neossolos Quartzarênicos e Espodossolos Hidromórficos. Os Espodossolos são solos minerais, de baixa fertilidade natural, baixa saturação em bases e de moderadamente a fortemente ácidos. Devido à pobreza de bases trocáveis e das condições de inundação são utilizados com pastagem natural, aproveitando os extensos campos nativos. Os Neossolos são solos pouco evoluídos, constituídos, na região, por material mineral com menos de 20 cm de espessura. Aparecem associados aos Espodossolos, ao sul e oeste da sub-região da Nhecolândia, onde a presença de lençol freático próximo à superfície lhes confere caráter hidromórfico. Sua textura muito arenosa e sua baixa fertilidade natural tornam inviável técnica e economicamente o seu uso além do aproveitamento das pastagens naturais (FERNANDES et al., 2007).

A sub-região da Nhecolândia é constituída por aproximadamente 60% de vegetação de savanas, as quais são formadas por estratos de vegetação arbustiva e herbácea. A maioria das savanas está localizada em áreas sazonalmente inundáveis, onde a dinâmica de inundação varia em função da intensidade e distribuição das chuvas (RAVAGLIA et al., 2011).

A vegetação arbustiva é constituída por espécies de cerrado como a canjiqueira (*Byrsonima orbignyana* A. Juss.), ariticum (*Annona dioica* A.St.-Hil.), assa-peixe (*Vernonanthura* spp.) e lixeira (*Curatella americana* L.). Nas áreas de

savanas não inundáveis predominam as mesmas espécies arbustivas das áreas inundáveis, porém com maior riqueza de espécies de porte arbóreo (RAVAGLIA et al., 2011).

Na vegetação herbácea são encontradas tanto forrageiras preferidas pelo gado como o capim-mimoso (*Axonopus purpusii* Chase), quanto às de baixo valor nutritivo, pouco consumidas, como o capim-vermelho (*Andropogon hypoginus* Hack.), capim-carona (*Elionurus muticus* (Spreng.) Kuntze) e *Aristida* spp (RAVAGLIA et al., 2011). As gramíneas pouco consumidas pelos animais tendem a acumular biomassa aérea propícia a focos de incêndios (SANTOS et al., 2005).

2.2 Avaliação multicriterial

Procedeu-se a uma avaliação preliminar dos fatores considerados pela literatura em análises multicriteriais para mapeamento de riscos de incêndios, quando se pôde verificar a ineficiência de alguns deles, como é o caso da exposição do terreno e classes de declividade, uma vez que o Pantanal é essencialmente plano, com variações sutis de relevo, resultando em pequena contribuição à determinação do risco de incêndios.

Esta avaliação preliminar constituiu-se de trabalhos a campo e consulta a técnicos e especialistas de diversas áreas que atuam no bioma Pantanal, visando o reconhecimento e levantamento de subsídios para a definição dos fatores de maior influência na ocorrência e no potencial de queima ou de incêndio.

Uma vez definidos os fatores de maior influência como sendo a facilidade de acesso, índice pluviométrico, índice de vegetação e unidades de paisagem, seguiu-se a etapa de laboratório, com a busca por fontes de informações para composição de um banco de dados a ser empregado na determinação do risco de incêndio da área de estudo e produção dos mapas. O processamento de tais informações foi realizado no Sistema de Informações Geográficas (SIG) SPRING 4.3.3 (CÂMARA et al., 1996).

Por meio da interface do SIG, criou-se e estruturou-se um banco de dados, definindo-se a sub-região da Nhecolândia e arredores como alvo, correspondendo à área delimitada pelas coordenadas UTM (fuso 21) 470.000 S, 7.816.000 O e 730.000 S, 7.990.000 O, datum WGS84.

Com base nos fatores de influência previamente avaliados decidiu-se por utilizar quatro grupos de dados: a) unidades de paisagem; b) facilidade de acesso; c) precipitação pluvial e d) índices de vegetação. Estes grupos foram inseridos e processados no SIG em planos de informações temáticos. Fontes e tratamento utilizados são apresentados na sequência.

2.2.1 Bases de dados utilizados

a) Unidades de paisagem

Este fator refere-se à classificação temática das unidades de paisagem (UP) realizada para a sub-região da Nhecolândia. É fonte indireta de informações acerca da combustibilidade, do efeito sazonal de inundação e do uso antrópico.

Os dados, com autorização dos autores, foram importados do banco de dados em escala 1:250.000, produzido por RAVAGLIA et al. (2011), onde foi efetuado o processamento digital das imagens de satélite Landsat 5, sensor TM, de setembro de 1999 (órbitas/pontos 226/73 e 225/73), utilizando o aplicativo SPRING 4.3.3 (CÂMARA et al., 1996). Utilizaram-se imagens relativas ao período de estiagem por possibilitarem a identificação das marcas do alcance das inundações e melhor discriminação dos alvos em função da sua resposta espectral relacionada à ausência de nuvens (RODELA et al., 2007).

b) Facilidade de acesso

Para a base referente à facilidade de acesso (FA) foram consideradas a proximidade de estradas e moradias, indicando maior probabilidade do emprego da prática de queima, controlada ou não. Para sua obtenção, considerou-se dois conjuntos de dados: mapa de sedes de fazendas, produzido em meados dos anos 90 e, mapa de estradas, datado de 2004. Os dados foram obtidos junto ao Laboratório de Geoprocessamento da Embrapa Pantanal, na forma de coordenadas e em arquivo vetorial do SPRING, escala 1:100.000.

Os dados foram mosaicados de forma a compor um único plano de informação (PI) denominado “acessos”, sobre o qual executou-se o procedimento Mapa de distâncias, tomando os elementos moradias e estradas como pontos de partida. Considerando que o acesso de pessoas e veículos à área de estudo, e consequentemente o risco de incêndios é facilitado, sobretudo pela distância, estabeleceu-se que áreas próximas aos elementos se traduzem em maior risco. Sendo

assim, o mapa numérico de distâncias foi fatiado (rotina para segmentação em classes do menu MNT/Fatiamento), de modo a originar o PI temático “facilidade de acesso”, com três classes: a) 0 a 2 km; b) 2 a 6 km e c) mais de 6 km.

c) Precipitação pluvial

Outro fator que exerce grande influência na ocorrência de incêndios florestais é o clima. Assim, o conhecimento de algumas variáveis climáticas é de grande importância na prevenção de incêndios, pois, por meio delas, podem ser identificados os meses e épocas de maior probabilidade de ocorrência de incêndios.

A variável precipitação pluvial (PP) é uma das mais importantes e é fundamental para análise do risco de incêndio, uma vez que aumenta a umidade nos combustíveis, dificultando ou tornando impossível o início e a propagação do fogo.

Na sub-região em estudo, a ocorrência de incêndios coincide com o período de poucas chuvas, que se inicia em abril e estende-se até setembro, tendo sua maior concentração em agosto/setembro. Sendo assim, foram consideradas as médias mensais de chuva para os seis meses mais secos do ano, nos quais o maior risco de incêndios é função do estresse hídrico da vegetação.

Os dados de PP referentes à área em estudo foram obtidos de 19 estações pluviométricas localizadas no interior e entorno da sub-região da Nhicolândia, disponibilizados pelo Sistema de Informações Hidrológicas da Agência Nacional de Águas (HIDROWEB, 2011) e consideraram o período de 1969 a 2010 para produção da média histórica e os anos de 2008, 2009 e 2010 para análises anuais.

Os dados originais foram interpolados mediante emprego do software Surfer for Windows, versão 8.0, utilizando o algoritmo função de base radial (KECKLER, 1999). A grade originada foi importada para o banco de dados no SPRING, seguindo-se com o fatiamento nos intervalos: a) 0 a 25 mm; b) 25 a 35 mm; c) 35 a 45 mm e d) 45 mm ou mais. Os dados fatiados deram origem ao PI temático precipitação pluvial.

d) Índice de vegetação da diferença normalizada (NDVI)

Este dado permite derivar informações de cunho quali-quantitativo acerca da biomassa disponível no ambiente (ROUSE et al., 1973; PONZONI e SHIMABUKURO, 2010). Uma vez que o caráter qualitativo é atendido pelos dados referentes às Unidades de Paisagem, a contribuição principal deste dado refere-se à estimativa do volume disponível para combustão.

Para obtenção deste fator, foram utilizadas imagens do satélite Landsat 5 sensor TM, cena 226/73 (19/08/2008, 07/09/2009 e 10/09/2010) e cena 225/76 (28/08/2008, 16/09/2009 e 15/09/2010). Os meses considerados foram relativos a períodos de pouca chuva e com grande ocorrência de incêndios na sub-região da Nhecolândia.

Para o processamento e a interpretação das imagens foi utilizado o aplicativo SPRING 4.3.3 (CÂMARA et al., 1996). Após a aquisição das imagens, efetuou-se a sua correção geométrica, utilizando como referência as cenas Landsat 5 ortorretificadas, disponíveis gratuitamente no endereço eletrônico: <https://zulu.ssc.nasa.gov/mrsid>. Após o georreferenciamento as imagens foram importadas para o banco de dados no sistema (projeção UTM/WGS84).

O NDVI é afetado por efeitos atmosféricos, como espalhamento por poeiras, aerossóis, gases atmosféricos e nuvens; por estes motivos, foi necessário a realização da correção atmosférica das imagens antes de calcular o índice (NOVO, 2008).

Para o cálculo da correção atmosférica utilizou-se o método DOS (Dark Object Subtraction) - CHAVEZ, 1988) juntamente com a conversão de ND (número digital) para reflectância. A determinação das fórmulas de correção foi efetuada computacionalmente, empregando a planilha eletrônica de Gurtler et al. (2005) e considerando dados referentes às radiâncias mínima (L_{min}), máxima (L_{max}) e irradiância (E) do sensor TM, tal como proposto por Chander e Markham (2003). Para o cálculo do espalhamento atmosférico (CHAVEZ, 1988 e 1989) a banda 3 foi utilizada como banda referência. Além do histograma da banda 3, utilizaram-se dados relativos ao sensor, a data de passagem e ângulo de elevação solar.

Foram obtidas fórmulas para correção das bandas 3 (0,63 - 0,69 μm) e 4 (0,76 - 0,90 μm) e sua aplicação deu-se através de rotinas escritas na linguagem

LEGAL (Linguagem Espacial para Geoprocessamento Algébrico) (CÂMARA et al., 1996). Os scripts são apresentados no Apêndice (A).

Com as reflectâncias calculadas, seguiu-se a determinação do índice NDVI para cada imagem (2008, 2009 e 2010), fazendo uso da equação (1) (ROUSE et al., 1973).

$$NDVI = (\rho_{IV} - \rho_V) / (\rho_{IV} + \rho_V) \dots \dots \dots (1)$$

Onde ρ_{IV} é a reflectância no infravermelho próximo e ρ_V é a reflectância no vermelho.

O cálculo do NDVI também foi realizado utilizando a linguagem Legal, sendo os scripts também apresentados no Apêndice (B).

A grade originada foi então importada para o banco de dados no SPRING, seguindo-se ao seu fatiamento nos intervalos: a) 0,0 a 0,25; b) 0,25 a 0,35; c) 0,35 a 0,45; d) 0,45 a 0,55 e e) 0,55 ou mais. Os dados fatiados deram origem ao PI temático NDVI.

O NDVI é um fator importante por ser um indicador sensível da quantidade e das condições da vegetação, variando entre -1 e +1, onde os valores negativos representam corpos d'água e os positivos, superfícies vegetadas (ROUSE et al., 1973).

2.3 Elaboração dos mapas de risco de incêndio

Os mapas de risco de incêndio foram elaborados na seguinte sequência.

2.3.1 Padronização e ponderações

Após o processamento dos dados de interesse, foram obtidos quatro PI básicos contendo os temas necessários ao cálculo do risco de incêndio. A integração destes fatores não é uma tarefa simples, uma vez que cada tema traz informações de natureza distinta. Sendo assim, fez-se necessário relativizar cada tema, buscando permitir sua comparação. Este processo foi denominado padronização e permitiu uniformizar as informações presentes em cada camada de informação (DE PAULA e SOUZA, 2007).

Para padronização dos temas partiu-se de dados temáticos, ou seja, representações espaciais vetoriais ou matriciais associadas a uma determinada classe.

Os dados foram convertidos para o formato numérico, atribuindo um valor quantitativo para o efeito de cada classe observada.

A padronização efetivou-se pelo emprego de uma escala variando entre zero e dez para todos os fatores. O valor zero expressou a ausência de efeito do fator e 10, a condição plena de influência. O Quadro 1 associa classes conceituais de risco com os valores de coeficiente relativos a cada classe. Buscando exemplificar a interpretação do quadro proposto, temos que uma condição média de risco equivale ao coeficiente 6, ou seja, naquele determinado local, observa-se 60% do efeito total potencial de um determinado fator.

Convém informar que, no processo de padronização, cada fator foi avaliado individualmente, buscando definir o grau de contribuição de cada fator em particular. Dependendo das características próprias da área de estudo, poderão haver situações onde valores obtidos irão variar entre os extremos (efeito ausente a pleno). Todavia, poderão ocorrer também situações onde somente uma ou poucas classes conceituais de risco sejam observadas. Nestas situações a diferenciação de unidades será menor, prejudicando a diferenciação dos ambientes e mostrando certa homogeneidade de condições. Isto pode ocorrer de forma totalmente diferente em outras áreas de estudo, permitindo então a comparação entre ambientes distintos, relevando aqueles de maior susceptibilidade ao risco.

Quadro 1. Classes conceituais de risco e coeficientes empregados

Classes de risco	Coeficientes
muito alto	10
alto	8
médio	6
regular	4
baixo	2
nulo	0

O processo de padronização foi implementado no SPRING por meio de rotinas da linguagem LEGAL, utilizando-se o operador Pondere (função de ponderação). Este instrumento converte dados temáticos em numéricos, obedecendo a uma tabela previamente definida, que associa um determinado valor (peso) a cada classe temática. Os scripts são apresentados nos Apêndices C a F.

a) Unidades de paisagem (UP)

Para ponderação das UP foram considerados três aspectos: a) a combustibilidade, onde a estrutura da cobertura vegetal é responsável pelo fornecimento do material combustível para queima, cujas propriedades variam de acordo com as fitofisionomias, cabendo destacar que o volume, a disposição e as características dos combustíveis, juntamente com as condições climáticas são determinantes nos processos de início de combustão (DENNISON et al., 2010); b) o manejo da cobertura vegetal, caracterizado no Pantanal como queima controlada, estratégica na renovação de pastagens; c) ambiente em que estão localizadas as unidades de paisagem, identificando influência de inundação associada à sazonalidade.

Utilizando os coeficientes adotados no Quadro 1, as UP receberam um valor de acordo com os aspectos considerados na ponderação. Por exemplo, a UP AFNIA recebeu nos aspectos combustibilidade, manejo e ambiente, respectivamente os valores 6, 2 e 8. Após esse procedimento foi calculado a média dos três aspectos da referida UP que apresentou um coeficiente de 5,5 (Quadro 2). Os coeficientes das demais UP seguiram a mesma lógica.

Quadro 2. Ponderação do risco de incêndio de acordo com as Unidades de Paisagem

Classes	Combustibilidade	Manejo	Ambiente	Coeficientes
AFNIA	6	2	8	5,5
ASNIA	10	10	10	10,0
ACNIA	10	10	8	9,5
AFIS	6	2	6	5,0
ASIS	8	10	8	8,5
ACIS	8	10	8	8,5
AFIU	0	0	2	0,5
ASIU	2	4	2	2,5
ACIU	2	4	2	2,5
Perene	0	0	0	0,0

* AFNIA (Áreas florestais não inundáveis), ASNIA (Áreas savânicas não inundáveis), ACNIA (Áreas de campo não inundáveis), AFIS (Áreas florestais sazonalmente inundáveis), ASIS (Áreas savânicas sazonalmente inundáveis), ACIS (Áreas de campo sazonalmente inundáveis), AFIU (Áreas florestais inundáveis/úmida), ASIU (Áreas savânicas inundáveis/úmida), ACIU (Áreas de campo inundáveis/úmida), Perene (Corpos d'Água).

As áreas mais elevadas, livres de inundações (ASNIA e ACNIA) e as áreas sujeitas a inundações periódicas (ASIS e ACIS), onde predomina estratos de vegetação arbustiva e herbácea (RAVAGLIA et al., 2011), receberam coeficientes de risco que variaram de alto a muito alto. Justificam-se estes valores em função destas áreas serem formadas por fitofisionomias de campo-cerrado, campo sujo/campo-

cerrado e campo de “macegas” (presença de gramíneas como o capim-vermelho (*Andropogon hypoginus* Hack.) e capim-carona (*Elionurus muticus* (Spreng.) Kuntze), sendo estes combustíveis finos, considerados de grande risco de incêndios (ONIGEMO, 2006).

As áreas de florestas (AFNIA, AFIS e AFIU), assim como as savânicas e de campo inundáveis (ASIU e ACIU) receberam valores de médio para baixo por apresentam alto teor de umidade, o que torna o material combustível disponível menos inflamável do que nas outras UP. Porém, como em geral nas áreas circunvizinhas às UP florestais predominam “macegas” e campo-cerrado que, quando incendiadas formam calor suficiente para secar e tornar inflamável material combustível localizado nas proximidades, as fitofisionomias de florestas receberam coeficientes maiores. Estas apresentam maior volume de material combustível do que as outras UP e, conseqüentemente, maior potencial de devastação quando incendiadas.

b) Facilidade de acesso (FA)

A ponderação referente à FA foi composta considerando o risco iminente da ocorrência de queimadas em função do acesso de pessoas. Para a definição das classes conceituais valeu-se, sobretudo da experiência profissional dos especialistas consultados, uma vez que não foi possível localizar estudos que já tivessem testado estes indicadores para a região. Considerou-se que áreas dentro de um raio de 2 km a partir de sedes de fazenda e estradas têm condição plena de risco em função deste critério. Estimou-se que a partir da origem, o risco decresça em função da maior distância a ser percorrida. Sendo assim, estabeleceram-se os coeficientes constantes do Quadro 3.

Quadro 3. Classes de facilidade de acesso, níveis de suscetibilidade e seus respectivos coeficientes

Facilidade de Acesso (km)	Suscetibilidade ao Fogo	Coeficientes
0 a 2	muito alto	10
2 a 6	alto	8
>6	médio	6

c) Precipitação pluvial (PP)

Para a definição das classes de precipitação pluviométrica constantes no Quadro 4, considerou-se que no período de maior risco de incêndios, quanto ocorrem os menores índices pluviométricos, os valores registrados são relativamente baixos. Nesta condição, devem-se reconhecer as situações de maior risco como sendo aquelas onde as precipitações tenham sido menores do que 25 mm ao mês, para as quais propôs-se o coeficiente 10. Para o restante da tabela tais coeficientes foram decrescendo com o incremento da precipitação (Quadro 4).

Quadro 4. Classes de precipitação pluviométrica, níveis de suscetibilidade e seus respectivos coeficientes

Precipitação (mm)	Suscetibilidade ao Fogo	Coeficiente
0 a 25	muito alto	10
25 a 35	muito alto/alto	9
35 a 45	alto	8
> 45	alto/médio	7

Apesar de existir variações de chuva dentro da área de estudo, essas variações são sutis, não havendo grande diferenciação entre áreas, com os coeficientes variando de 7 a 10.

d) Índice de vegetação da diferença normalizada (NDVI)

Os valores mais comuns em estudo de vegetação estão na faixa entre -0,1 e +0,6 (JUSTICE et al., 1985), sendo que Holben (1986) estabeleceu que valores altos de NDVI ao redor de +0,5 indicam vegetação com alto teor de água, cobrindo densamente o solo, com baixo risco de incêndio. Valores baixos, por volta de +0,1, indicariam vegetação cobrindo esparsamente o solo, ou vegetação senescente ou seca e, portanto de maior risco. Valores de NDVI menores que 0,5 podem representar perigo de incêndios em pastagens, com 80% de probabilidade de acerto (VOLPATO, 2002).

Para a sub-região da Nhecolândia, o trabalho de Onigemo (2006) estabeleceu a faixa de valores NDVI entre 0,34 a 0,42 como indicativos de alto perigo de incêndio em áreas de pastagens com gramíneas cespitosas (capins carona e vermelho).

Com base nas informações obtidas na literatura, opiniões de especialistas e a partir dos intervalos obtidos dos mosaicos de NDVI gerados neste estudo para

agosto de 2008, setembro de 2009 e setembro de 2010, estabeleceram-se os coeficientes discriminados no Quadro 5.

Quadro 5. Classes de NDVI, níveis de suscetibilidade e seus respectivos coeficientes

NDVI	Suscetibilidade ao Fogo	Coeficiente
0 a 0,1	nulo	0
0,1 a 0,2	baixo/regular	4
0,2 a 0,3	regular/médio	6
0,3 a 0,4	alto/muito alto	9
0,4 a 0,5	regular/médio	6
> 0,5	baixo	3

2.3.2 Cálculo do risco de incêndio

Feita a padronização dos dados por meio da rotina de ponderação, a etapa seguinte compreendeu a integração dos dados de modo a determinar o risco potencial de incêndio.

Uma vantagem que se evidencia com o emprego do método de ponderação é a possibilidade de empregar a técnica de classificação contínua, que ao combinar fatores quantitativos, têm-se valores variando com a intensidade de cada fator envolvido, sem a necessidade de predefini-los. O que se procede neste caso é a observação apenas dos valores finais, definindo-se os níveis/faixas a serem associados aos conceitos de risco (BONISCH, 1998).

Dada a possibilidade de emprego de diferentes técnicas de classificação contínua, optou-se pelo método da Média Ponderada, dada sua relativa simplicidade e eficiência. Realizada a ponderação individual dos fatores de interesse, procedeu-se à soma de cada fator, multiplicando-se por um valor que representa a importância relativa do fator para o cálculo do índice de interesse (EASTMAN et al., 1995).

O conhecimento empírico sobre o assunto estudado é fundamental no processo de definição da importância relativa de cada índice. Eastman et al. (1995) propõe o termo Técnica Participatória para esta operação e recomenda a realização de reuniões e consulta à especialistas das diferentes áreas de interesse do trabalho, além de uma revisão bibliográfica.

Tomando-se os quatro fatores de interesse: a) Unidades de paisagem (UP), b) Facilidade de acesso (FA), c) Precipitação pluvial (PP) e d) Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI), a equação utilizada para expressar o Risco de Incêndio (RI) foi:

$$RI = (0,35 \times UP) + (0,30 \times NDVI) + (0,20 \times PP) + (0,15 \times FA)$$

A partir do modelo de integração calculou-se o risco potencial para quatro períodos: agosto de 2008, setembro de 2009, setembro de 2010, além de um mapa conjugado considerando a média de precipitação histórica e NDVI médio para os três anos. Destas operações originaram-se quatro grades numéricas que por fim foram fatiadas, dando origem aos mapas finais e assim possibilitando o zoneamento do risco.

A Figura 3 apresenta o fluxograma com a síntese das etapas seguidas para elaboração cartográfica deste trabalho.

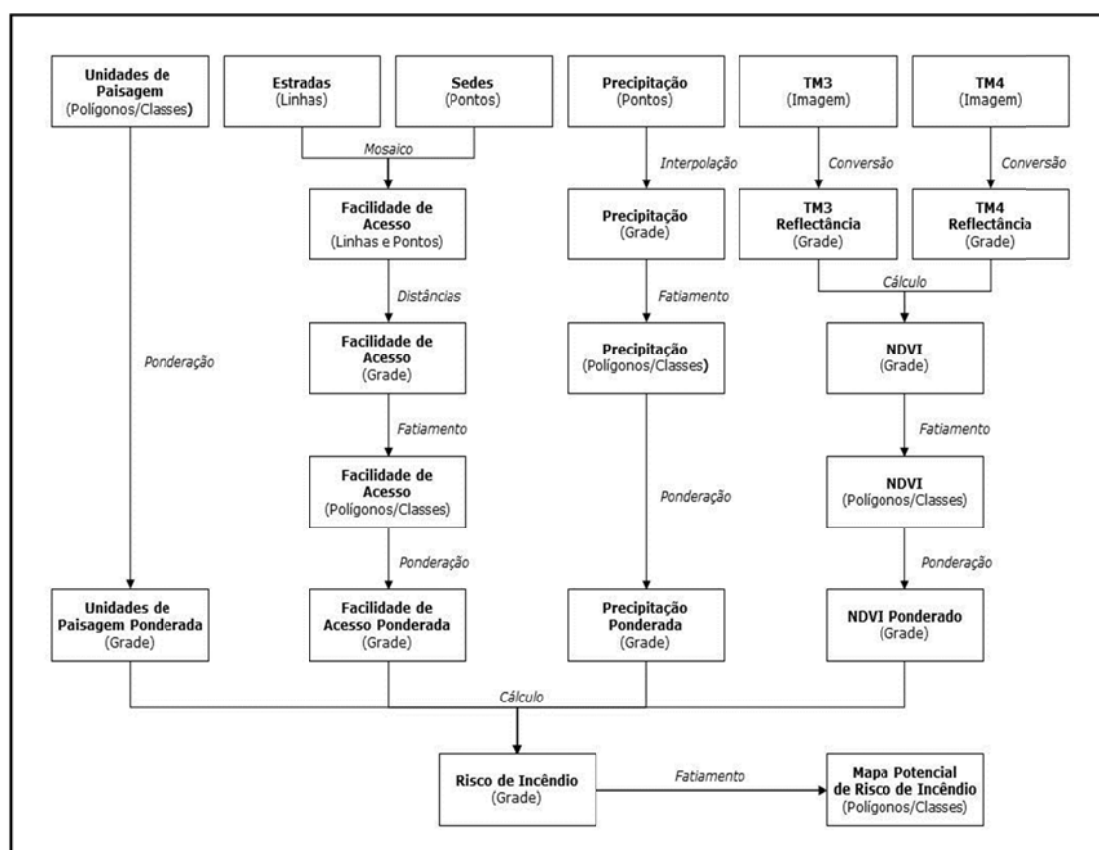


Figura 3. Fluxograma das atividades intermediárias e produtos gerados para elaboração do mapa de risco potencial de incêndio.

2.4 Validação dos mapas de risco potencial de incêndio com os focos de calor

Para a validação foram utilizadas a base de dados composta por focos de calor diários de 2008 a 2010, detectados pelo sensor Advanced Very High Resolution Radiometer (AVHRR) a bordo do satélite National Oceanic and Atmospheric Administration – 15 Noturno (NOAA-15), para a sub-região da Nhecolândia, disponibilizados pelo INPE (<http://www.dpi.inpe.br/proarco/bdqueimadas>), Imagens/INPE no formato de tabela, com coordenadas, que pode ser convertida em um mapa de pontos, georreferenciado, ou no formato de mapa shapefile (INPE, 2011).

Os focos de calor foram considerados como verdade de campo em relação à incidência de queimadas na vegetação.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A ocorrência e a propagação dos incêndios florestais estão fortemente associadas às condições climáticas (NUNES et al, 2006). O conhecimento sobre a sazonalidade de algumas variáveis climáticas como precipitação pluvial, umidade e temperatura do ar é, portanto, vital para o planejamento de prevenção e combate aos incêndios florestais. Todavia, há outras variáveis de importância, principalmente aquelas relacionadas à combustibilidade e quantidade de material presente na área.

Embora o PI precipitação pluvial seja o único diretamente relacionado às variáveis meteorológicas, a sua influência se dá também sobre outras fontes de dados, a exemplo do índice de vegetação. A biomassa total de um ambiente é produto diretamente dependente das condições meteorológicas encontradas durante o período de crescimento vegetativo.

Deste modo, pode-se observar que as variáveis meteorológicas permeiam a discussão dos resultados, influenciando em aspectos distintos. Sendo assim, para o correto entendimento dos fatores que influenciaram o risco de incêndios deste ambiente faz-se necessária a apresentação de resultados e discussão referente às variáveis meteorológicas.

3.1 Variáveis meteorológicas

Comparando os totais anuais de precipitação pluvial de 2008 (1.174 mm), 2009 (1.061 mm) e 2010 (910 mm) com a média histórica (1.187 mm), verifica-se que os valores obtidos ficaram levemente abaixo da média histórica. Isto não representa um problema para o estudo, uma vez que se busca avaliar o risco mediante condições propícias para a ocorrência de queimadas, evidenciadas nos anos estudados.

Embora o total pluviométrico anual tenha sido pouco variável entre os anos avaliados, houve uma grande variação no total pluviométrico mensal (Figura 4). A distribuição das precipitações é de maior importância do que o total propriamente dito, pois estas podem ser insuficientes no período de crescimento vegetativo, diminuindo significativamente a oferta de biomassa para o período de seca. Por outro lado, a ocorrência de chuvas no período de estiagem pode reduzir drasticamente o risco de incêndio nesta época.

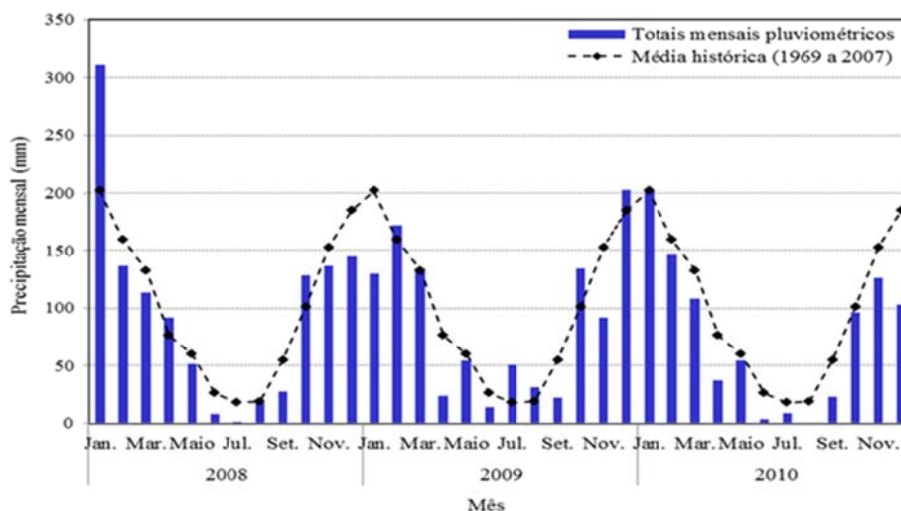


Figura 4. Distribuição média mensal da precipitação pluvial no interior e entorno da sub-região da Nhecolândia no período de 2008 a 2010 e sua relação com a média histórica de 1969-2007. (Fonte: dados disponibilizados na HIDROWEB, 2011).

A variável precipitação é um fator importante para análise do risco de incêndio, uma vez que a sua ocorrência aumenta a umidade nos combustíveis, dificultando ou tornando impossível o início e a propagação do fogo. Portanto, é necessário levar em consideração não apenas a quantidade de chuva, mas também a sua distribuição estacional, fator fundamental na definição do início, término e duração das estações de alto potencial de incêndio (SCHROEDER e BUCK, 1970; SOARES e BATISTA, 2007; NUNES et al., 2009).

Com relação à umidade relativa, observou-se que as médias anuais de 2008 (78,6%), 2009 (76,3%) e 2010 (76,1%) foram inferiores à média histórica. Praticamente em todos os meses a umidade relativa média mensal foi inferior ao esperado (Figura 5), reflexo de anos de baixa pluviosidade, já que a umidade relativa segue a mesma tendência da distribuição das chuvas (Figura 4).

As menores médias de umidade relativa foram registradas entre julho e outubro, sendo agosto e setembro os meses mais secos da região. Analisando-se a variação diária, verificaram-se índices de umidade relativa mínima absoluta de 41,3% (setembro de 2008), 54% (setembro de 2009) e 50,5% (agosto de 2010). Dados sobre ocorrências de incêndios florestais demonstram que quando a umidade relativa do ar desce ao nível de 30% ou menos, torna-se extremamente difícil combater um incêndio (BATISTA e SOARES, 1997).

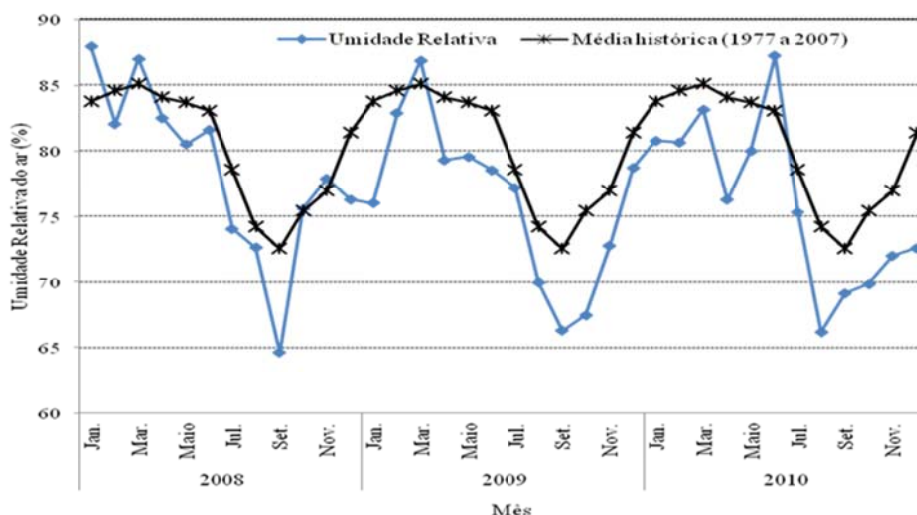


Figura 5. Valores médios mensais da umidade relativa do ar, no período de 2008 a 2010 e sua relação com a média histórica de 1977-2007, sub-região da Nhecolândia, Pantanal Sul-mato-grossense (Fonte: Estação Climatológica de Nhumirim).

Quanto à temperatura média do ar, os valores de 2008 (25,1 °C), 2009 (25,3 °C) e 2010 (25 °C) acompanharam a média histórica (25,3 °C) (Figura 6). Em abril há uma queda das temperaturas na região, com elevação a partir de agosto. Analisando-se a variação diária, verificaram-se valores de temperatura máxima de 39 °C (agosto/setembro de 2008), 40,8 °C (Setembro de 2009) e 41 °C (setembro de 2010).

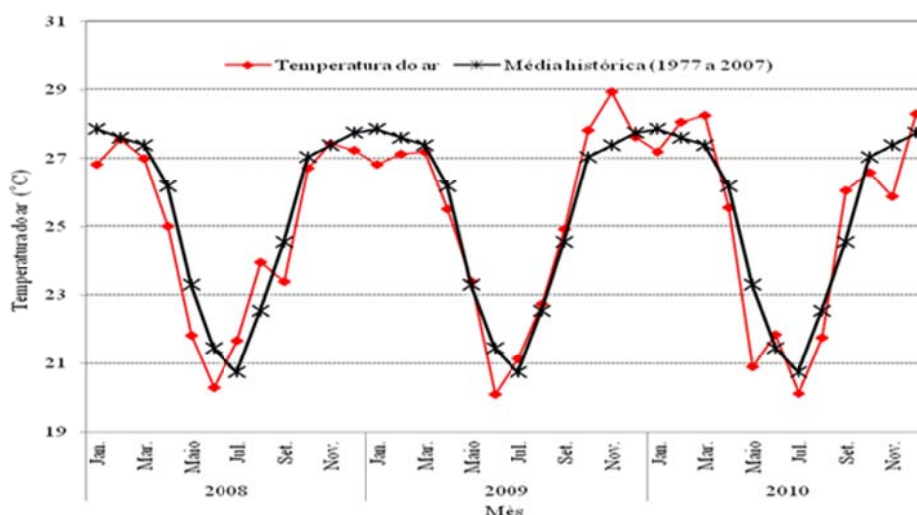


Figura 6. Valores médios mensais da temperatura do ar, no período de 2008 a 2010 e sua relação com a média histórica de 1977-2007, sub-região da Nhecolândia, Pantanal Sul-mato-grossense (Fonte: Estação Climatológica de Nhumirim).

O período mais vulnerável a incêndios corresponde aos meses em que a umidade do ar está baixa. Com a ocorrência de ventos mais aquecidos, têm-se altas temperaturas durante o período diurno que, associadas à baixa umidade relativa do ar tornam os combustíveis mais secos e suscetíveis de entrarem em combustão. Além disso, os ventos alimentam a combustão e direcionam os incêndios, facilitando, portanto, sua propagação (FREEDMAN, 1989; TORRES, 2006). Portanto, o risco de incêndio depende de diferentes variáveis climáticas que estão inter-relacionadas.

No entanto, a despeito da grande importância das variáveis climáticas, estas podem ser insuficientes para explicar e determinar o risco de incêndios. Há que se considerar também a qualidade e quantidade de material combustível presente no ambiente em estudo, que pode sofrer a influência de ocorrências passadas, principalmente incêndios.

Mesmo com condições climáticas favoráveis à produção de biomassa no decorrer de um ano, a ocorrência de queimadas no ano anterior pode resultar em uma quantidade menor de material susceptível à queima no presente. Isto se deve não só a menores quantitativos de biomassa, como também à qualidade do material (mais ou menos verde). Por outro lado, condições climáticas onde seria esperado um risco maior podem não resultar em maior número de eventos em função do material combustível acumulado.

Em função da disponibilidade de dados referentes aos focos de incêndios em todo o País, estes foram também incluídos como referência para o mapeamento da região em estudo.

3.2 Focos de calor

Analisando o número de focos de calor que ocorreram nos anos de 2008 a 2010 e sua relação com os totais anuais de precipitação, verificou-se que em 2009 ocorreu o maior número de focos de calor (431), reduzindo em 2010 (361) e 2008 (256), apresentando relação com o total anual de precipitação (Figura 7).

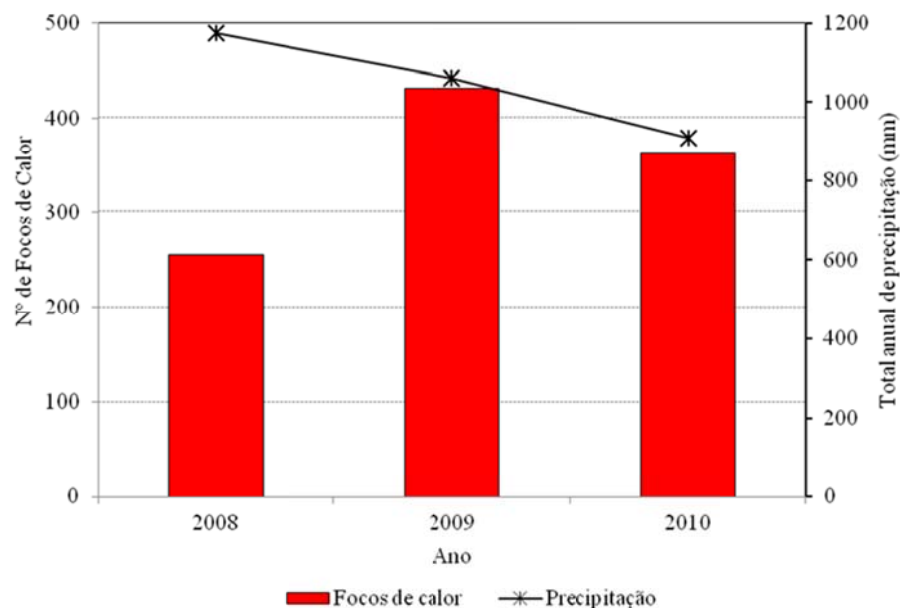


Figura 7. Número de focos de calor (INPE, 2011) e total anual de precipitação (HIDROWEB, 2011), registrados na sub-região da Nhecolândia, Pantanal Sul-mato-grossense, entre 2008 e 2010.

Apesar de terem sido registrados durante os três anos do estudo, índices pluviométricos abaixo da média histórica (Figura 4), em 2008 as chuvas foram melhores distribuídas durante o ano, reduzindo o número de focos de incêndios. Como na região a época de queima controlada com vistas à limpeza e renovação de pastos autorizada pelo IBAMA (IBAMA, 2000) tem início no mês de outubro e este tenha sido mais chuvoso do que a média histórica, é possível que estes fatos tenham tido relação direta com a quantidade de focos de calor detectados pelos satélites (Figura 8). Em 2009 e 2010, entretanto, a distribuição das chuvas foi irregular com períodos de estiagem mais frequentes, refletindo em aumento dos focos de calor, já que há uma relação estreita entre estes e a intensidade e distribuição das chuvas.

Analisando-se os dados apresentados na Figura 8, observa-se que a maioria dos focos de calor concentra-se nos meses de agosto a novembro, com picos em agosto e setembro. Embora no período avaliado as chuvas tivessem começado como era esperado a partir do mês de outubro (Figura 4), os índices de umidade relativa (Figura 5) ainda permaneceram baixos e os de temperatura do ar (Figura 6), elevados. Com a chegada das chuvas a vegetação lentamente se recupera, produzindo nova biomassa com baixa capacidade de ignição, resultando no término do período de incêndios no Pantanal, ao final do mês de novembro.

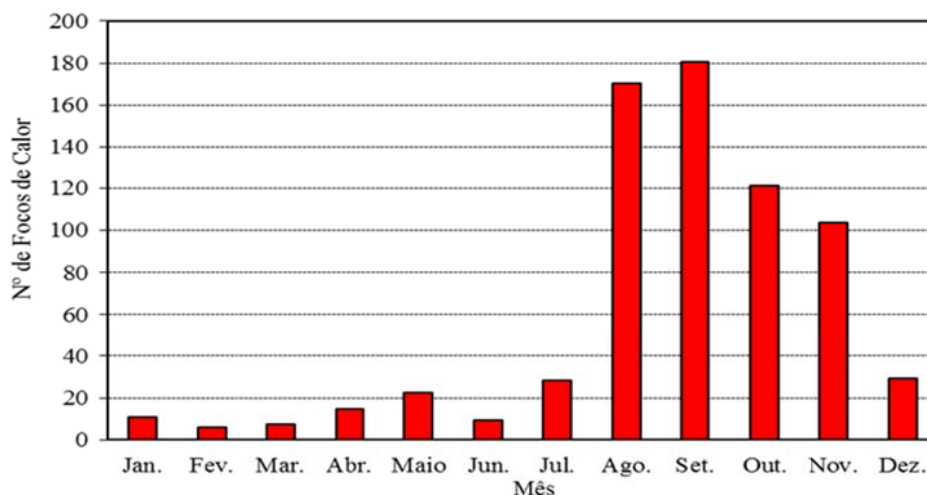


Figura 8. Média mensal do número de focos de calor registrados na sub-região da Nhecolândia, Pantanal Sul-mato-grossense, entre 2008 a 2010 (INPE, 2011).

Além das variáveis climáticas e dos focos de calor, foi fundamental considerar variáveis que permitissem inferir sobre a qualidade e quantidade do material combustível presente no ambiente em estudo. Foram também empregados os temas unidades de paisagem e índices de vegetação. O primeiro permitindo inferir acerca da quantidade de biomassa disponível e o segundo, além de ser aplicado também para este fim, possibilita também inferir acerca da qualidade da biomassa. Em conjunto, todos levaram à geração dos mapas de risco de incêndio para a região.

3.3 Risco de incêndio

Como já exposto, o risco de incêndio decorre da interação de uma série de fatores, dentre os quais foram selecionados quatro como sendo aqueles de maior importância e, principalmente com disponibilidade de fontes de dados para a região da Nhecolândia. Cada fator selecionado foi armazenado e manipulado em um Sistema de Informações Geográficas (SIG) resultando em quatro planos de informação (PI).

Um primeiro PI reuniu dados acerca das classes de Unidades de Paisagem (UP) presentes na área de estudo. As UP representam a vulnerabilidade ao fogo onde a cobertura vegetal é responsável pelo fornecimento do material combustível para queima, cujas propriedades variam de acordo com as fitofisionomias. A definição das classes conceituais de susceptibilidade baseou-se nos critérios combustibilidade, práticas de manejo e características próprias do

Verifica-se no Quadro 6 que 83% da área de estudo refere-se a classes de suscetibilidade média a muito alta, sugerindo grande vulnerabilidade a incêndios para a região estudada. Contudo tratando-se de uma avaliação de multicritério outros fatores devem ser considerados, como é discutido abaixo.

No fator facilidade de acesso (FA) foi considerada a proximidade de estradas e moradias, indicando nessas regiões, maior probabilidade do emprego da prática de queima, controlada ou não. Para a definição das classes conceituais de susceptibilidade assumiu-se que, em áreas mais próximas, o risco de incêndios é maior (Quadro 3).

Assim, a Figura 10 ilustra o mapa de FA e o Quadro 7 enumera a superfície ocupada por classe.

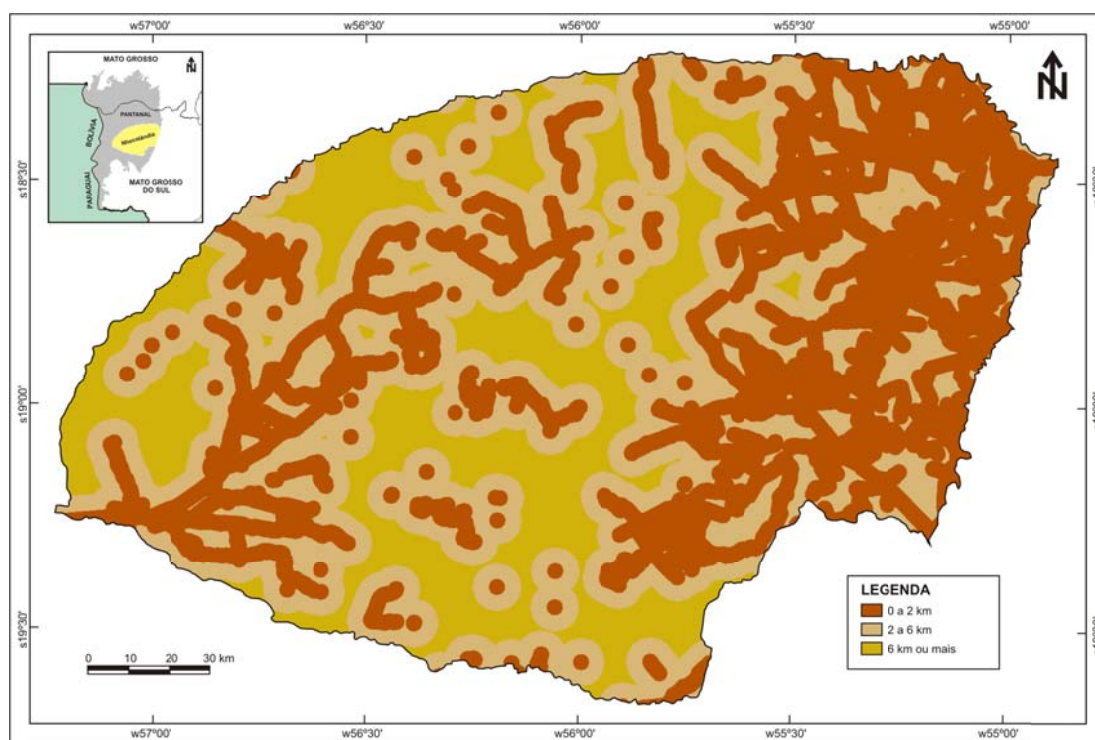


Figura 10. Mapa de facilidade de acesso (estradas e sedes de fazendas) da sub-região da Nhecolândia, Pantanal Sul-mato-grossense. (Fonte: dados obtidos junto ao Laboratório de Geoprocessamento da Embrapa Pantanal, na forma de coordenadas e arquivo vetorial).

Quadro 7. Percentual da área total (2.672.049,25 ha) ocupada pelas classes de facilidade de acesso (estradas e sedes de fazendas) da sub-região da Nhecolândia, Pantanal Sul-mato-grossense, base 2004

Facilidade de acesso (km)	%	Suscetibilidade ao fogo
0 a 2	39,7	muito alto
2 a 6	39,1	alto
>6	21,2	médio

Embora os acessos sejam deficitários na região do Pantanal, ainda assim eles são suficientes para influenciar no aumento do risco de incêndios, de tal forma que 79,8% da área recebe o conceito de suscetibilidade alto ou muito alto. Pode-se notar que a maior concentração de suscetibilidade nos dois graus mais altos se deu na porção leste da área (Figura 10), em função do estabelecimento de maior número de estradas e propriedades nesta área da sub-região.

A precipitação pluvial (PP) é também fundamental para análise do risco de incêndio, uma vez que aumenta a umidade nos combustíveis, dificultando ou até mesmo tornando impossível a ignição e a propagação do fogo.

As variações de classes apresentadas nas Figuras de 11 a 13 foram sutis na precipitação dos anos 2008 a 2010, resultando em pouca influência deste fator, apresentando quase em sua totalidade nas classificações de risco alto a muito alto, de acordo com o estabelecido no Quadro 8. Por outro lado, quando a precipitação pluvial foi considerada em conjunto com dados de índice de vegetação (NDVI) essas diferenças tornaram-se evidentes. Sendo assim, nas análises em que se considerou a precipitação anual do período estudado e a média de 1969 a 2007 (Figuras 11 a 14), utilizou-se o NDVI referente ao ano respectivo ou à média (Figuras 15 a 18).

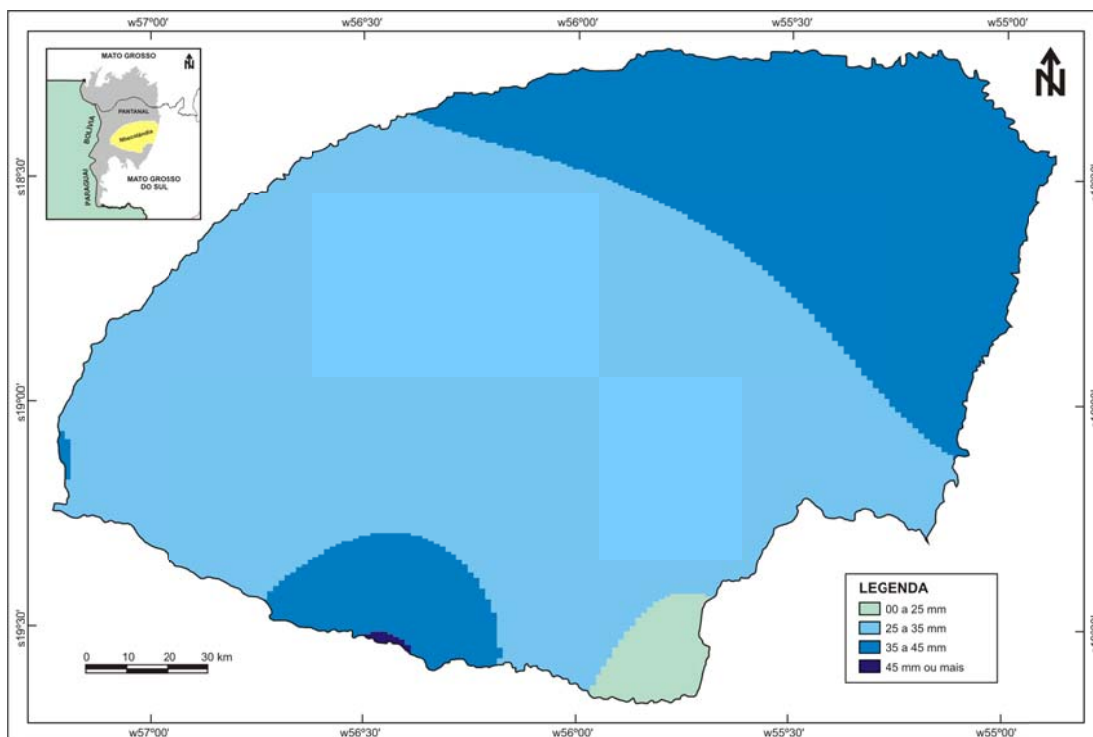


Figura 11. Mapa da distribuição média mensal da precipitação pluviométrica no interior e entorno da sub-região da Nhecolândia, em 2008 (abril a setembro).

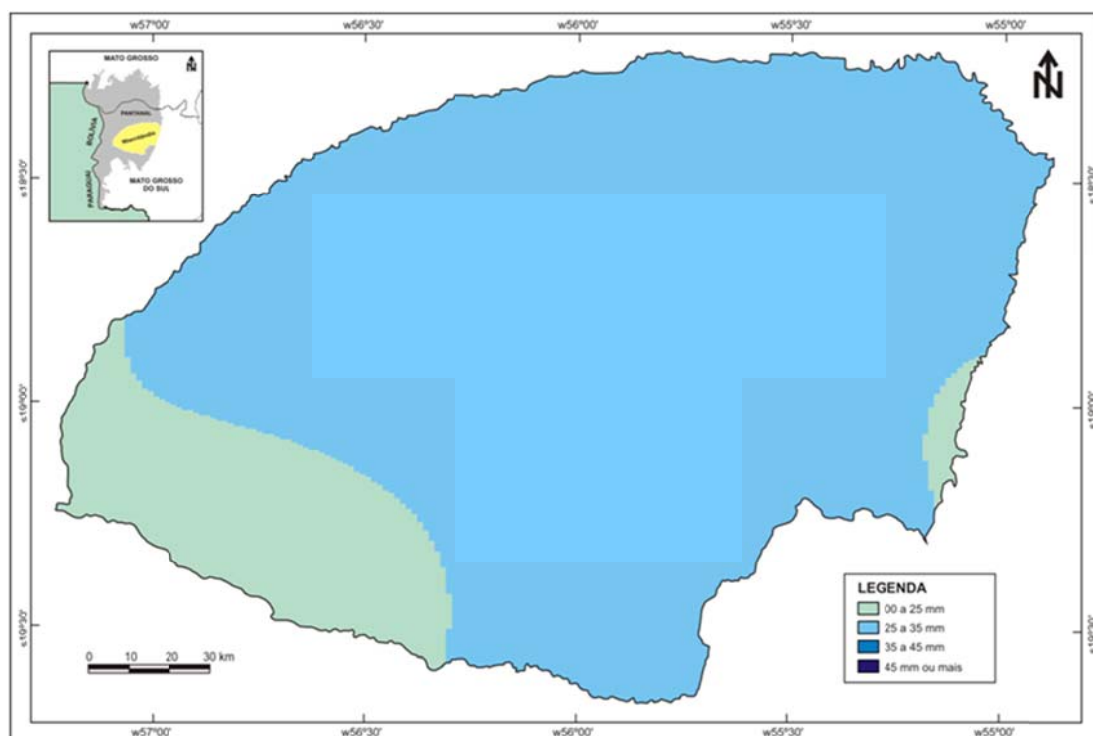


Figura 12. Mapa da distribuição média mensal da precipitação pluviométrica no interior e entorno da sub-região da Nhecolândia, em 2009 (abril a setembro).

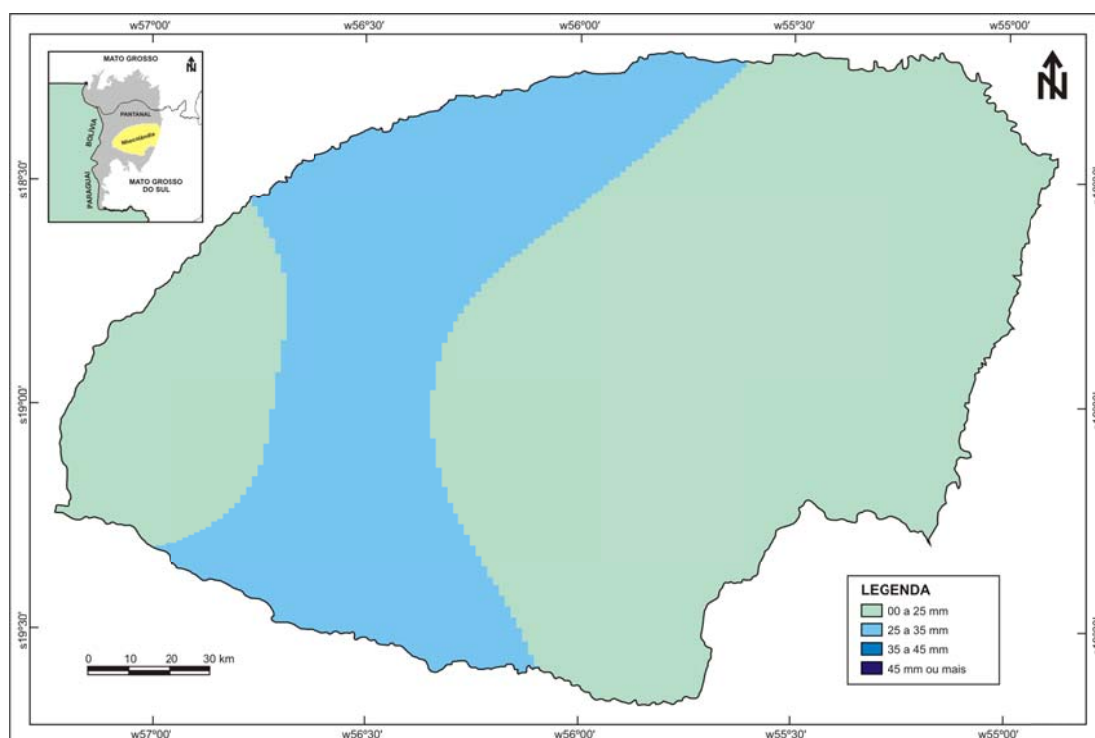


Figura 13. Mapa da distribuição média mensal da precipitação pluviométrica no interior e entorno da sub-região da Nhecolândia, em 2010 (abril a setembro).

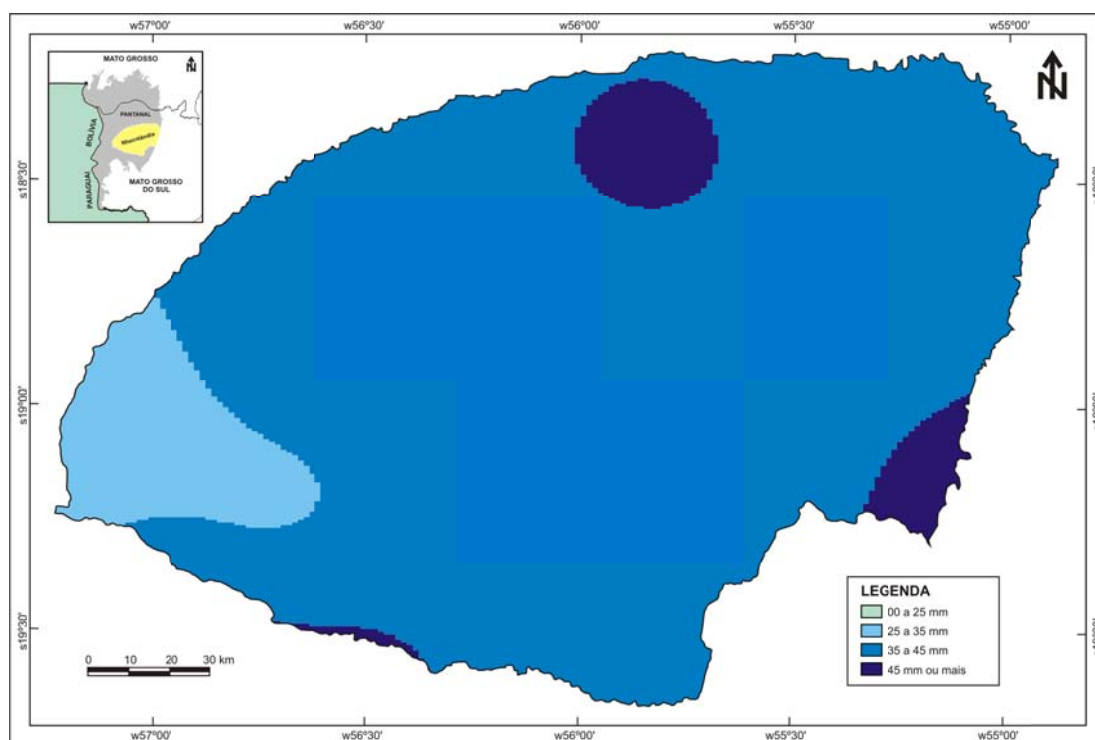


Figura 14. Mapa da distribuição média mensal da precipitação pluviométrica no interior e entorno da sub-região da Nhecolândia, no período de 1969 a 2007 (abril a setembro).

Quadro 8. Percentual da área total (2.672.049,25 ha) ocupada pelas classes de precipitação pluvial para os anos de 2008 a 2010 e média histórica (1969-2007), para a sub-região da Nhecolândia, Pantanal Sul-mato-grossense

Precipitação (mm)	2008	2009	2010	Média histórica (1969-2007)	Suscetibilidade ao fogo
	% da área total				
0 a 25	2,0	68,9	85,1	0,0	muito alto
25 a 35	67,1	31,1	14,9	8,0	muito alto/alto
35 a 45	30,8	0,0	0,0	86,7	alto
> 45	0,1	0,0	0,0	5,4	alto/médio

Fonte: cálculos baseados em dados de 19 estações localizadas no interior e entorno da área de estudo.

Embora o índice de vegetação normalizado (NDVI) gere informações de cunho quali-quantitativo acerca da biomassa disponível no ambiente (ROUSE et al., 1973; PONZONI e SHIMABUKURO, 2010), optou-se por utilizar apenas seu aspecto de qualidade, enquanto as informações quantitativas foram suportadas pelos dados oriundos do tema unidades de paisagem. Assim, as Figura de 15 a 18 ilustram os mapas de NDVI no período de abril a setembro de 2008 a 2010 e o Quadro 9 enumera a superfície ocupada por classe.

Em geral espera-se uma forte relação entre o NDVI e precipitação pluvial. Todavia a influência das chuvas se dá preponderantemente em função da sua distribuição, antes do que pelo seu montante. Sendo assim, embora os valores de precipitação totais entre os três anos avaliados sejam similares (Figura 4), o NDVI calculado mostrou-se bastante distinto, variando do conceito de risco regular/médio a alto/muito alto (Quadro 9).

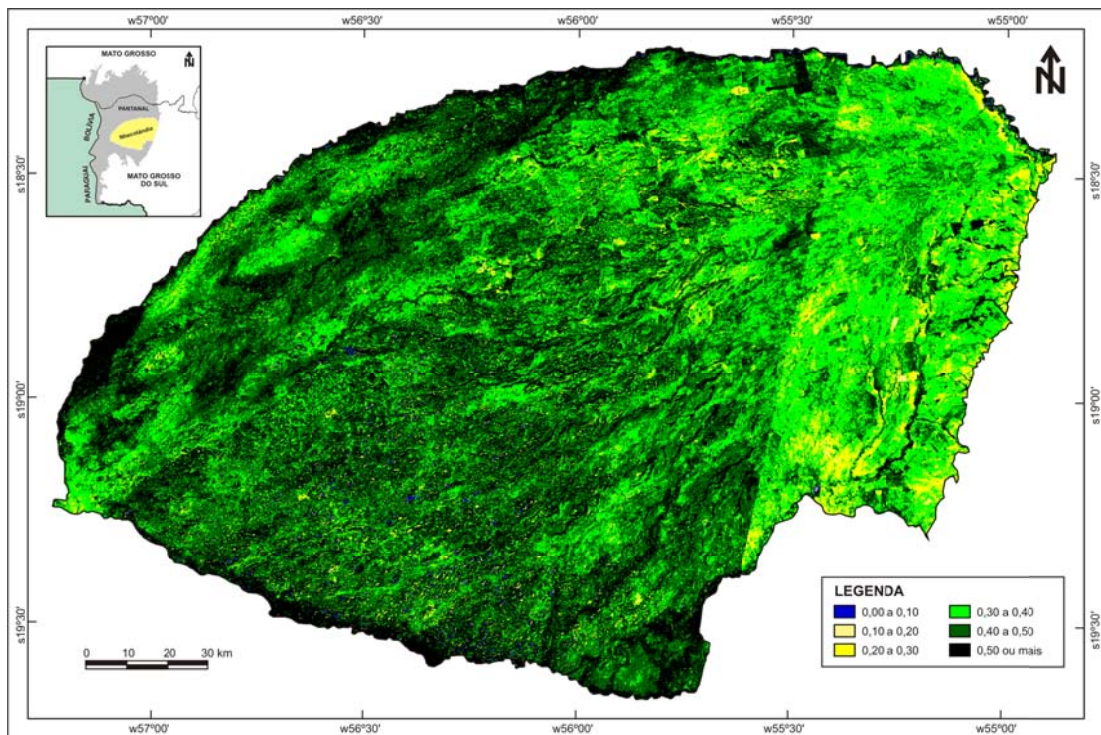


Figura 15. Mapa de índice de vegetação da diferença normalizada (NDVI) de 2008, da sub-região da Nhecolândia, Pantanal Sul-mato-grossense.

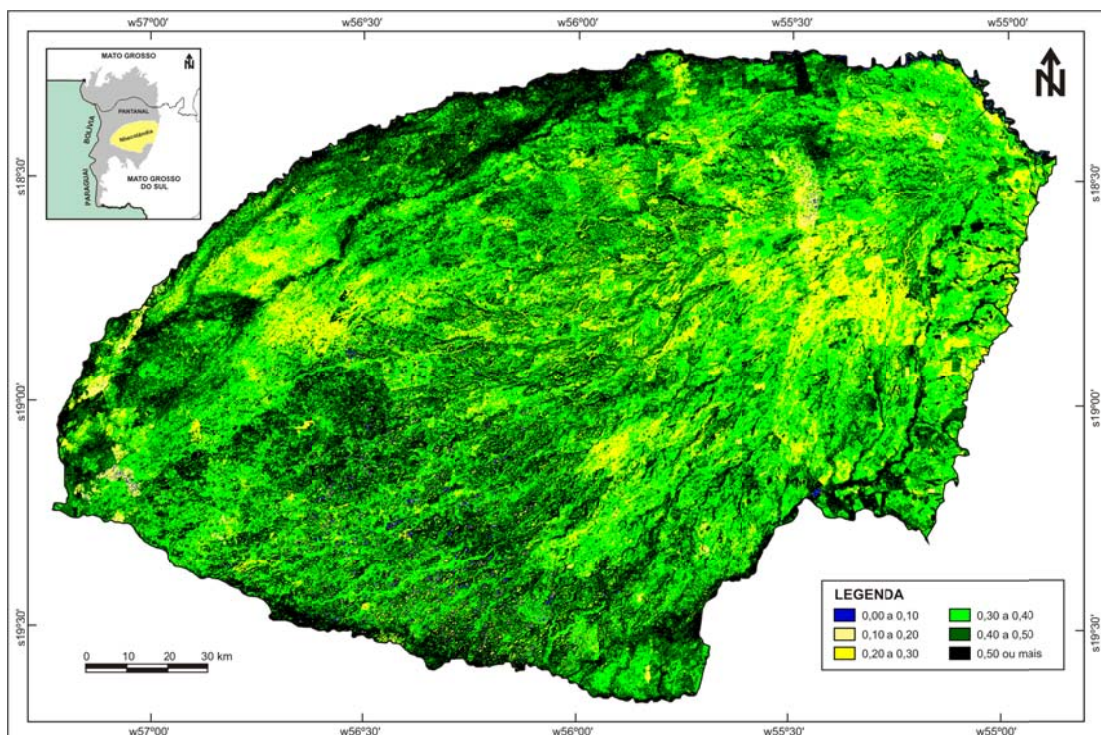


Figura 16. Mapa de índice de vegetação da diferença normalizada (NDVI) de 2009, da sub-região da Nhecolândia, Pantanal Sul-mato-grossense.

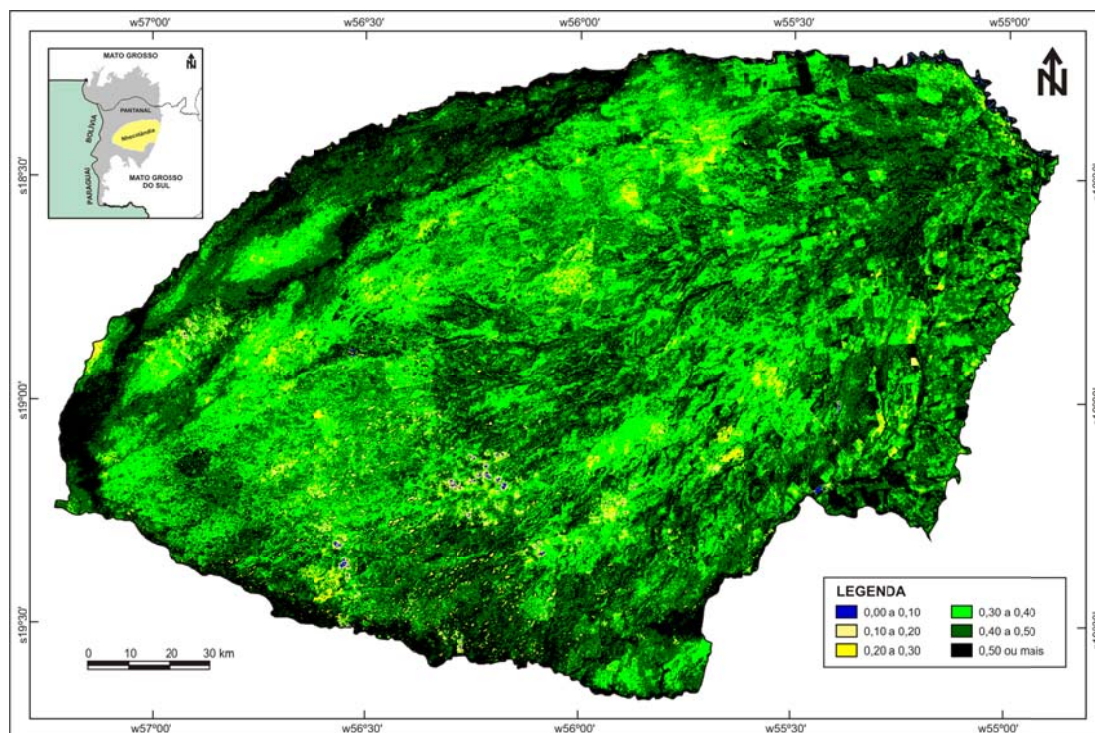


Figura 17. Mapa de índice de vegetação da diferença normalizada (NDVI) de 2010, da sub-região da Nhecolândia, Pantanal Sul-mato-grossense.

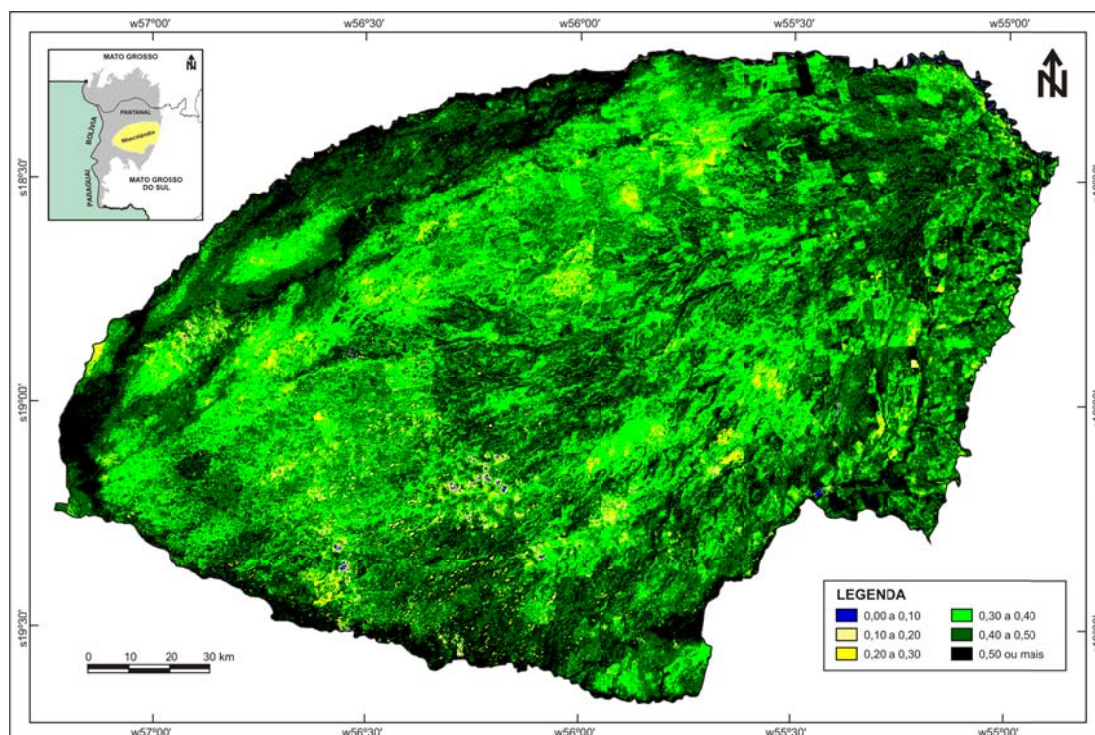


Figura 18. Mapa da média dos índices de vegetação da diferença normalizada (NDVI) da sub-região da Nhecolândia, Pantanal Sul-mato-grossense, considerando os anos de 2008 a 2010.

Quadro 9. Percentual da área total (2.672.049,25 ha) ocupada pelas classes de índice de vegetação da diferença normalizada (NDVI) para os anos de 2008 a 2010 e média dos três anos, para a sub-região da Nhecolândia, Pantanal Sul-mato-grossense

NDVI	2008	2009	2010	Média	Suscetibilidade ao fogo
% da área total					
0 a 0,1	0,4	0,4	0,1	0,2	nulo
0,1 a 0,2	0,3	0,7	0,5	0,2	baixo/regular
0,2 a 0,3	4,9	12,8	2,7	2,1	baixo/médio
0,3 a 0,4	33,0	42,2	34,0	42,2	alto/muito alto
0,4 a 0,5	37,0	26,2	41,1	37,5	regular/médio
>0,5	24,4	17,7	21,6	17,7	baixo

A integração dos quatro planos de informações (unidades de paisagem, facilidade de acesso, precipitação pluviométrica e NDVI) resultou em mapas de risco no qual cada pixel sintetiza a influência conjunta e ponderada dos diferentes fatores avaliados. Calculou-se o risco para os meses de estiagem de agosto/2008, setembro/2009 e setembro/2010 e também produziu um mapa geral conjugando os três anos (Figuras 19 a 22). A visão integrada dos diferentes fatores é fundamental para a determinação do risco, ainda mais em áreas com tamanha diversidade e extensão.

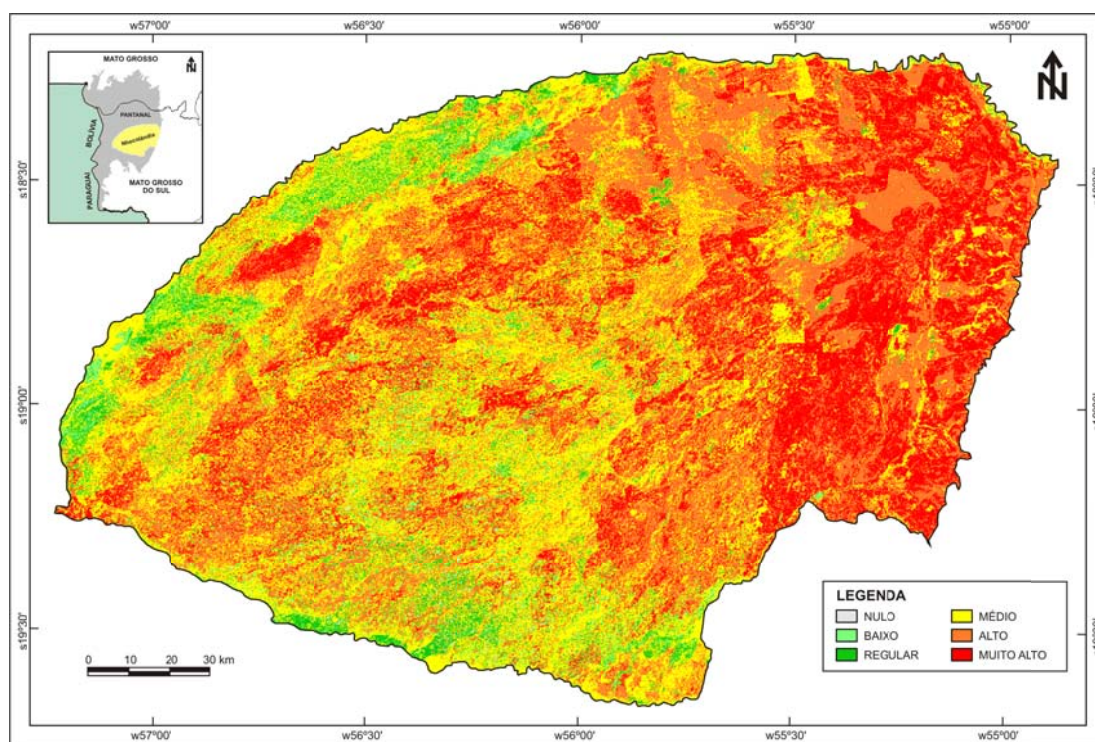


Figura 19. Mapa de risco de incêndio de 2008, da sub-região da Nhecolândia, Pantanal Sul-mato-grossense.

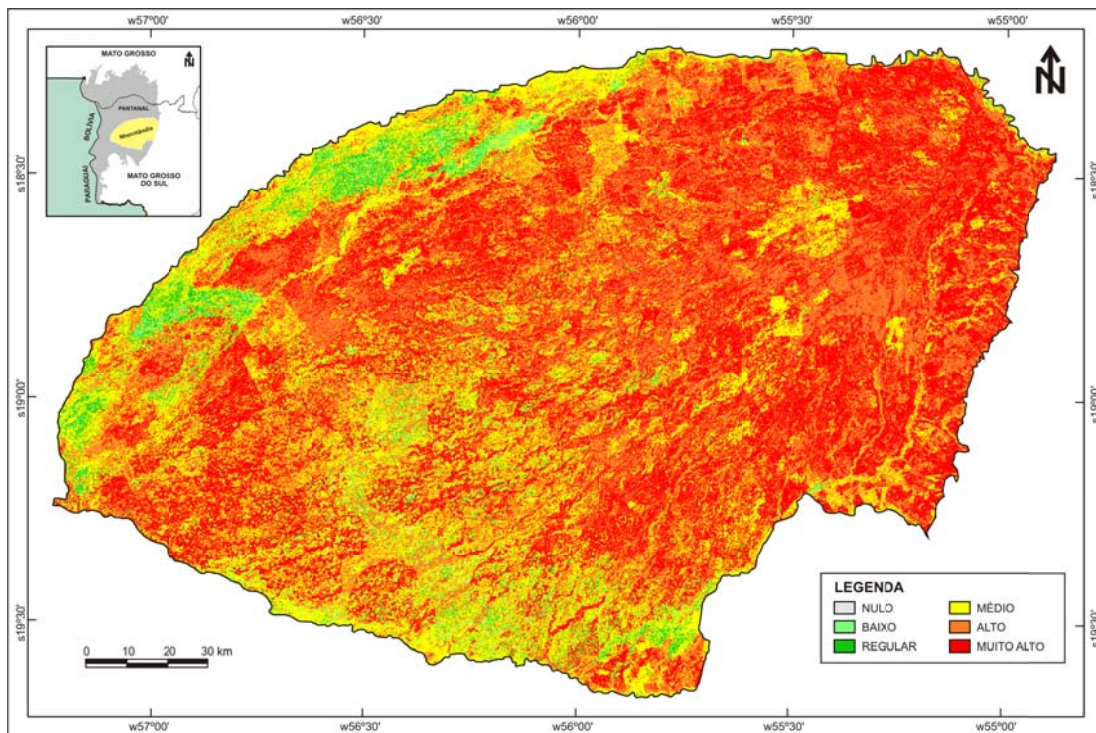


Figura 20. Mapa de risco de incêndio de 2009, da sub-região da Nhecolândia, Pantanal Sul-mato-grossense.

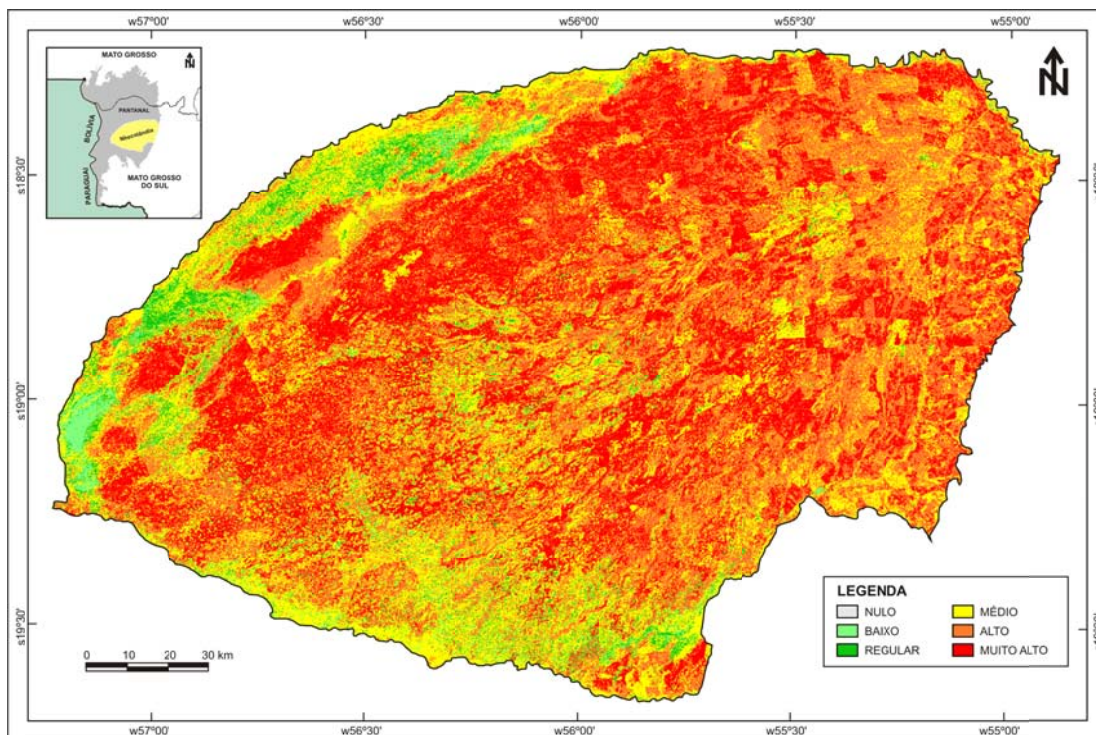


Figura 21. Mapa de risco de incêndio de 2010, da sub-região da Nhecolândia, Pantanal Sul-mato-grossense.

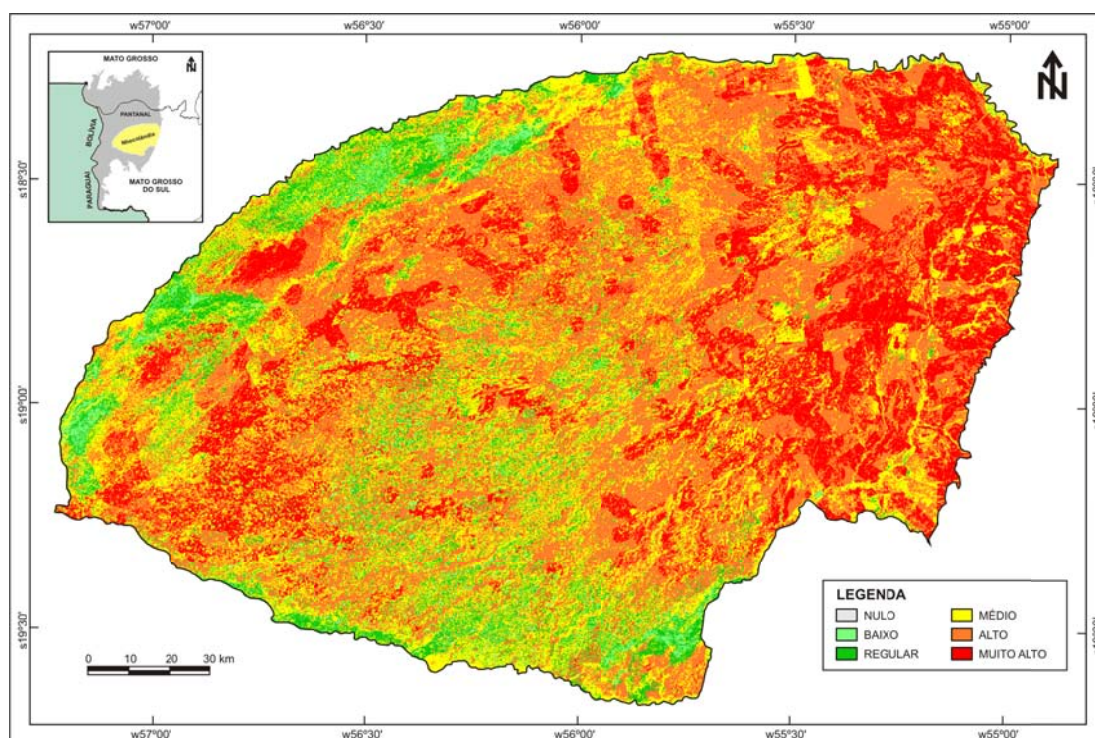


Figura 22. Mapa de risco de incêndios da sub-região da Nhecolândia, Pantanal Sul-mato-grossense, considerando a conjugação dos anos de 2008 a 2010.

Cada mapeamento de risco referente aos diferentes períodos estudados (três anos e conjugado) foi quantificado em ambiente SIG permitindo uma análise multitemporal. As classes de risco de incêndio de 2008 a 2010 apresentam tendência semelhante à representação Geral, exceto por pequena diferença para o ano de 2009, no qual as classes de risco alto e muito alto não acompanham os outros anos (Figura 23). Apesar da diferença, pode-se considerar o mapa conjugado como sendo representativo das condições encontradas nos anos mais propícios à ocorrência de incêndios, o que poderia ser usado para anos de seca.

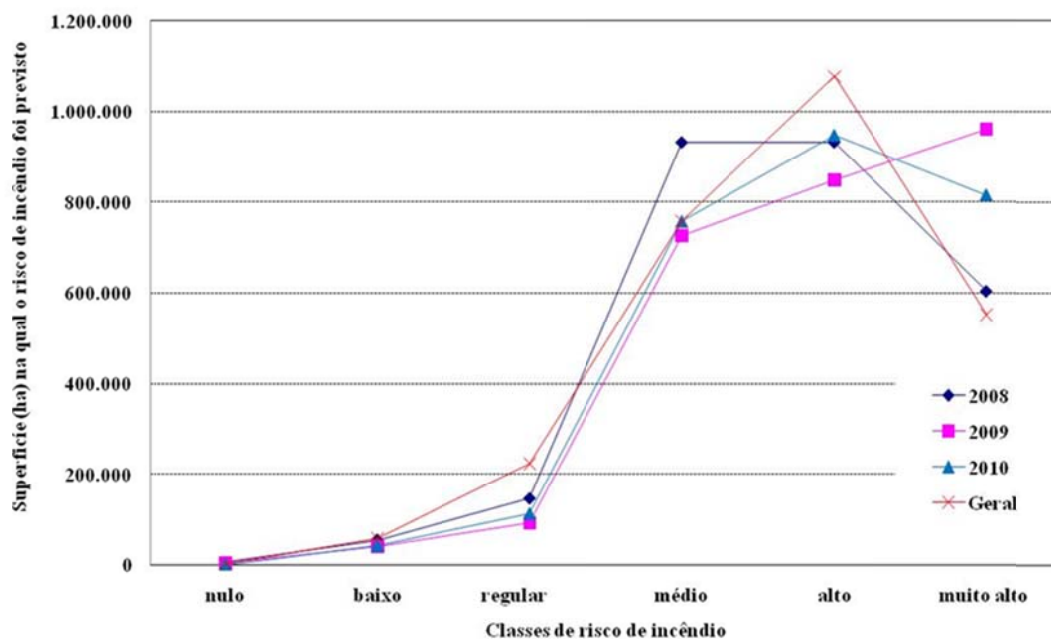


Figura 23. Classes de risco de incêndio para os anos de 2008 a 2010 e sua conjugação (Geral) em função da superfície (ha) na qual o risco foi previsto, para a sub-região da Nhecolândia, Pantanal Sul-mato-grossense.

Buscando validar os mapas de risco, avaliou-se em ambiente SIG a relação entre risco e ocorrência de incêndios, cruzando-se os dados referentes ao risco e os focos de calor detectados pelos sensores a bordo do satélite NOAA.

Observa-se que a maior participação percentual foi dada pelas classes de risco médio, alto e muito alto (Quadro 10). Considerando o mapa de risco conjugado (Figura 22), estas classes ocorreram em 89,4% da região, onde foram detectados 86,1% dos focos ($r = 0,996$, $p < 0,05$). A mesma tendência se confirmou na análise dos dados individuais (2008 a 2010). Calculando-se a correlação entre os anos de 2008 a 2010 e o percentual de focos de incêndio para cada classe de risco, foram obtidos os seguintes valores: 2008, $r = 0,965$; 2009, $r = 0,814$; 2010, $r = 0,913$ ($p < 0,05$), demonstrando que mesmo individualmente, os mapas de risco (Figura 19 a 21) obtidos pela metodologia utilizada guardam estreita relação com a realidade dos incêndios na região. Conclui-se, portanto pela alta confiabilidade desses mapas.

Quadro 10. Percentual da área total (2.672.049,25 ha) por classes de risco de incêndio para os anos de 2008 a 2010 e sua conjugação (Geral), para a sub-região da Nhecolândia, Pantanal Sul-mato-grossense

Classes de risco de incêndio	2008	2009	2010	Geral	Média anual de focos (2008-2010)	% anual de focos
	% da área total					
nulo	0,2	0,1	0,0	0,1	-	-
baixo	2,0	1,5	1,6	2,2	11	3,2
regular	5,4	3,5	4,2	8,3	41	11,7
médio	34,9	27,2	28,3	28,4	105	30,1
alto	34,9	31,8	35,4	40,3	130	37,2
muito alto	22,6	35,9	30,5	20,7	62	17,8
-	100,0	100,0	100,0	100,0	349	100,0

A partir do Quadro 11 é possível verificar que, das quatro UP [ACNIA (1%), ACIS (15%), ASNIA (16%) e ASIS (41%)] de ocorrência natural do capim-vermelho (*Andropogon hypoginus* Hack.) e capim-carona (*Elionurus muticus* (Spreng.) Kuntze), as três últimas apresentaram os maiores registros de focos de incêndio. Juntas, ACIS, ASNIA e ASIS que representam 72% da paisagem da Nhecolândia (Quadro 6), totalizaram 1012 focos, ou seja, 76,4% do total das ocorrências nas classes de risco médio a muito alto (Quadro 11). Além disso, a correlação entre a soma dos focos para os riscos médios a muito alto e as áreas correspondentes às unidades de paisagem, foi de $r = 0,991$ ($p < 0,05$), implicando em que, quanto maiores forem as superfícies de um determinado tipo de vegetação, maior a probabilidade de ocorrerem incêndios.

Verifica-se que a unidade de paisagem ACNIA (Quadro 11), em tese, por ser campo não inundável, teria melhores condições para a ocorrência de incêndios. No entanto, corresponde a apenas 1% da superfície da Nhecolândia, com média de apenas 12 focos anuais. Por outro lado, as outras três unidades (ACIS, ASNIA e ASIS), além da presença de gramíneas como o capim-vermelho e capim-carona, considerados de grande risco de incêndios, ainda recobrem grandes áreas individuais.

Estas constatações permitem concluir que a presença do capim-vermelho e do capim-carona, aliada à dimensão territorial coberta pelas UP onde eles ocorrem é fundamental para definição dos riscos de incêndios nas classes mais elevadas.

Quadro 11. Focos de calor detectados de 2008 a 2010, por classes de risco e unidades de paisagem na sub-região da Nhecolândia, Pantanal Sul-mato-grossense

Unidades de paisagem	Classes de risco de incêndio						Total	Soma dos focos para os riscos médio a muito alto
	nulo	baixo	regular	médio	alto	muito alto		
AFIU	-	15	20	6	-	-	41	6
ACNIA	-	-	-	3	1	8	12	12
ASIU	-	15	46	25	-	-	86	25
AFIS	-	-	13	52	4	2	71	58
ACIU	-	15	36	65	1	-	117	66
AFNIA	-	-	47	127	16	2	192	145
ACIS	-	-	-	19	94	85	198	198
ASNIA	-	-	1	73	139	58	271	270
ASIS	-	-	1	82	318	144	545	544
Total	-	45	164	452	573	299	1533	1324
AFIU	Áreas florestais inundáveis/úmida							38.705,50 ha (1%)
ACNIA	Áreas de campo não inundáveis							32.923,00 ha (1%)
ASIU	Áreas savânicas inundáveis/úmida							99.765,00 ha (4%)
AFIS	Áreas florestais sazonalmente inundáveis							76.195,75 ha (3%)
ACIU	Áreas de campo inundáveis/úmida							148.871,50 ha (6%)
AFNIA	Áreas florestais não inundáveis							280.350,25 ha (10%)
ACIS	Áreas de campo sazonalmente inundáveis							389.878,50 ha (15%)
ASNIA	Áreas savânicas não inundáveis							428.481,25 ha (16%)
ASIS	Áreas savânicas sazonalmente inundáveis							1.101.155,50 ha (41%)

4. CONCLUSÕES

O elevado grau de coincidência entre os focos de calor e os mapas de risco permite concluir pela confiabilidade do zoneamento para a sub-região da Nhecolândia, Pantanal Sul-mato-grossense

A presença do capim-vermelho (*Andropogon hypoginus* Hack.) e do capim-carona (*Elionurus muticus* (Spreng.) Kuntze), aliada à dimensão territorial coberta pelas unidades de paisagem onde eles ocorrem é fundamental para definição dos riscos de incêndios nas classes mais elevadas, para a sub-região da Nhecolândia.

A avaliação multicriterial, fazendo uso de SIG, por meio da técnica de classificação contínua é um procedimento eficiente para o mapeamento de risco de incêndios na sub-região da Nhecolândia.

A aplicação do método da avaliação multicriterial com base em SIG é fortemente dependente da seleção de variáveis de interesse e ponderação de valores, o que requer profundo conhecimento do ambiente a ser estudado e o apoio de especialistas interdisciplinares.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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

BATISTA, A.C.; SOARES, R.V. **Manual de prevenção e combate a incêndios florestais**. Curitiba. FUPEF, 1997. 50p.

BATISTA, A.C.; SOARES, R.V. **Incêndios Florestais**. Recife: Imprensa Universitária UFRPE, 2002. 115p

BRASIL. Ministério do Interior. **Estudos de Desenvolvimento Integrado da Bacia do Alto Paraguai (EDIBAP)**: Relatório de 1ª. Fase: Descrição física e recursos naturais. Brasília, 1979. t.2. 254p.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente, dos Recursos Hídricos e da Amazônia Legal. Programa Nacional de Meio Ambiente. **Plano de conservação da Bacia do Alto Paraguai - PCBAP**. Brasília, DF: PNMA, 1997. 3v. 354p.

BONISCH, S. **Avaliação dos métodos booleano e classificação contínua para a integração e dados de fenômenos naturais**. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, INPE, São José dos Campos, 1998. Disponível em: <http://www.inpe.br>. Acesso em: 15 out. 2011.

CÂMARA, G.; SOUZA, R.C.M.; FREITAS, U.M.; GARRIDO, J.; MITSUO, F. Spring: integrating remote sensing and GIS by object-oriented data modeling. **Computers & Graphics**, v. 20, n.3, p.395-403, 1996.

CIPRIANI, H.N.; PEREIRA, J.A.A.; SILVA, R.S.; FREITAS, S.G. de; OLIVEIRA, L.T. de. Zoneamento de Risco de Incêndios para o Parque Municipal da Serra de São Domingos, Poços de Caldas, MG. **Cerne**, Lavras, v. 17, n. 1, p. 77-83, 2011.

CHANDER, G.; MARKHAM, B. Revised Landsat-5 TM radiometric calibration procedures and postcalibration dynamic ranges. **IEEE Transactions On Geoscience and Remote Sensing**. v. 41. n. 11. 2003.

CHAVEZ JR., P.S. An improved dark-object subtraction technique for atmospheric scattering correction of multispectral data. **Remote Sensing of Environment**, v. 24, p. 459-479, 1988.

CHAVEZ JR., P.S. Radiometric calibration of Landsat thematic mapper multispectral images. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v. 55, p. 1285-1294, 1989.

CHUVIECO, E.; CONGALTON, R.G. Application of remote sensing and geographic information systems to forest fire hazard mapping. **Remote Sensing of Environment**, New York, v. 29, p. 147-159, 1989.

CUNHA, N.G. **Dinâmica de nutrientes em solos arenosos no Pantanal Matogrossense**. Corumbá, EMBRAPA, CPAP, 1985. 70p. (EMBRAPA, CPAP, Circular Técnica, 17).

DALCUMUNE, M. A. B.; SANTOS, A. R. Mapeamento de índice de risco de incêndio para a Região da Grande Vitória/ES, utilizando imagens do satélite LANDSAT para o ano de 2002. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 12., 2005, Goiânia. **Anais...** Goiânia: INPE, 2005. p. 1485-1492.

DENNISON, P.E.; ROBERTS, D.A.; REGGELBRUGGE, J.C. **Characterizing chaparral fuels using combined hyperspectral and synthetic aperture radar data**. 6 p. Disponível em: <ftp://popo.jpl.nasa.gov/pub/docs/workshops/00_docs/Dennison_web.pdf> Acesso em: 20 fev. 2010.

DE PAULA, E.M.S.; SOUZA, M.J.N. Lógica Fuzzy como técnica de apoio ao zoneamento ambiental. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13, 2007, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: INPE, 2007. p. 2979-2984.

EASTMAN, J.R.; JIN, W.; KYEM, P.A.K.; TOLEDANO, J. Raster procedures for multi-criteria/multi-objective decisions. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**, v. 61, n. 5, p. 539-547, 1995.

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

FERNANDES, F.A.; FERNANDES, A.H.B.M.; SOARES, M.T.S.; PELLGRIN, L.A.; LIMA, I.B.T. **Atualização do Mapa de Solos da Planície Pantaneira para o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Corumbá: Embrapa Pantanal, 2007. 6p. (Embrapa Pantanal. Comunicado Técnico, 61). Disponível em: <http://www.cpap.embrapa.br/publicacoes/online/CT61.pdf>.

FREEDMAN, B. *Environmental Ecology (The Impacts of Pollution and Other Stresses on Ecosystem structure and Function)*. Academy Press, Inc. Harcourt Brace Jovanovich, Publishers. San Diego. California. 1989. 300p.

FREIRE, S.; CARRÃO, H.; CAETANO, M. R. **Produção de cartografia de risco de incêndio florestal com recurso a imagens de satélite e dados auxiliares**. 2002. Disponível em: <<http://www.igeo.pt/gdr/pdf/Freire2002.pdf>>. Acesso em: 8 Jul. 2010

JUSTICE, C.O.; TOWNSHEND, J.R.G.; HOLBEN, B.N.; TUCKER, C.J. Analysis of the Phenology of Global Vegetation using Meteorological Satellite Data. **International Journal of Remote Sensing**, v.8, p.1271-1318, 1985.

HIDROWEB: Sistema de Informações Hidrológicas: [Brasília, DF]: Agência Nacional de Águas. Disponível em: <<http://hidroweb.ana.gov.br>>. Acesso em: 30 set. 2011.

HOLBEN, B.N. Characteristics of maximum-value composite images from temporal AVHRR data, **International Journal of Remote Sensing**, v. 7, n. 11, p. 1417-1434. 1986.

GÜRTLER, S.; EPIPHANIO, J.C.N.; LUIZ, A. J.B.; FORMAGGIO, A.R., Planilha eletrônica para o cálculo da reflectância em imagens TM e ETM+ Landsat. **Revista Brasileira de Cartografia**, v.57 n.2, p.162-167, 2005.

IBAMA. Gestão dos Recursos Naturais - subsídios à elaboração da Agenda 21 brasileira. Brasília, 2000.

INPE. INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. **Queimadas:** monitoramento de focos. Disponível em:<<http://www.dpi.inpe.br/proarco/bdqueimadas/bduc.html>>. Acesso em: 30 mar. 2011.

KECKLER, D. Surfer 8.0: user's guide. Golden: Golden Software, 1999. 619 p.

KOPROSKI L.; FERREIRA, M.P.; GOLDAMMER, J.G.; BATISTA, A.C. Modelo de Zoneamento de Risco de Incêndios para Unidades de Conservação Brasileiras: O Caso do Parque Estadual do Cerrado (PR). **Floresta**, Curitiba, v. 41, n.3. p. 551-562, 2011.

MALCZEWSKI, J. GIS-based land-use suitability analysis: a critical overview. *Progress in Planning*, New York, n. 62, p. 3-65, 2004.

MARKHAM, B.L.; BARKER, L.L. Thematic mapper bandpass solar exoatmospherical irradiances. **International Journal of Remote Sensing**, v.8, n.3, p.517-523, 1987.

NOVO, E.M.L.M. Sensoriamento Remoto: princípios e aplicações. 3. ed. São Paulo: Edgard Blucher, 2008. v. 1. 363 p.

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, v. 36, n.1, p. 75-91, 2006.

NUNES, J.R.S.; BATISTA, A.C.; SOARES, R.V.; FIER, I.S.N.; SANTOS, C.C. Climatologia do comportamento da precipitação no distrito florestal de monte alegre, PR, Brasil. **Floresta**, Curitiba, v.39, n.4, p.783-792, 2009.

OLIVEIRA, D.S.; BATISTA, A.C.; SOARES, R.V.; SLUTTER, C.R. Firerisk mapping for pine and eucalyptus stands in Três Barras, State of Santa Catarina, Brazil. In: **FOREST FIRE RESEARCH & WILDLAND FIRE SAFETY**, 4, 2002, Coimbra. **Proceedings**...Coimbra: ADAI. University of Coimbra, 2002. P. 1-10.

OLIVEIRA, D.S.; BATISTA, A.C.; SOARES, R.V.; GRODZKI, L.; VOSGERAU, J. Zoneamento de Risco de Incêndios Florestais para o Estado do Paraná. **Floresta**, Curitiba, v.34, n.2, p.217-221, 2004.

ONIGEMO, A.E. **Avaliação de índices de risco de incêndio em áreas com predominância de Gramíneas Cespitosas na sub-região da Nhecolândia,**

Pantanal, MS. 2006. 142f. Tese (Doutorado em Ecologia) – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campo Grande.

PADOVANI, C. Queimadas. Queimadas no Pantanal. Embrapa Brasileira de Pesquisa Agropecuária 2006. Disponível em: <<http://www.cpap.embrapa.br/fogo/fogo.htm>> Acesso em: 26 nov. 2007.

Disponível em: <http://sigma.cptec.inpe.br/queimadas/documentos/2002_pereira>

POTT, A. Pastagens nativas. In: EMBRAPA. Centro de Pesquisa Agropecuária do Pantanal (Corumbá, MS). **Tecnologias e informações para a pecuária de corte no Pantanal**. Corumbá, 1997. p.7-19

PONZONI, F.J., SHIMABUKURO, Y.E. Sensoriamento remoto no estudo da vegetação. São José dos Campos: Parêntese, 2010, 127p.

RATTER, J.A.; POTT, A.; POTT, V.J.; CUNHA, C.N.; HARIDASSAN, M. Observations on woody vegetation types in the Pantanal and around Corumbá. **Notes from the Royal Botanic Garden Edinburgh**, v.45, p.503-525, 1988.

RAVAGLIA, A.G.; SANTOS, S.A.; SORIANO, B.M.A.; DANIEL, O.; FREITAS, L.C. de; PELLEGRIN, L.A.; TOMAS, W.M.; RODELA, L.G.; BUENO SOBRINHO, A.A.; ARAUJO, M.T.B.D. **Mapeamento das unidades de paisagem das sub-regiões da Nhecolândia e Poconé, Pantanal Mato-Grossense**. Corumbá: Embrapa Pantanal, 2011. 15 p. (Embrapa Pantanal. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 105).

RIBEIRO, L.A. **Pressão Antrópica e os Riscos de Incêndios Florestais no Município de Novo Mundo, Amazônia Mato-Grossense**. 2009. 132 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

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

RODELA, L.G.; QUEIROZ NETO, J.P.; SANTOS, S.A. Classificação das pastagens nativas do Pantanal da Nhecolândia, Mato Grosso do Sul, por meio de imagens de satélite. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO. Florianópolis, 13, 2007, Florianópolis. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2007. p. 4187-4184

RODRIGUES, C.A.G; CRISPIM, S.M.A. COMASTRI FILHO, J.A. **Queima controlada no Pantanal**, Corumbá: EMBRAPA CPAP, 2002, 24p. (EMBRAPACPAP. Documentos, 35).

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

ROY, P.T.J.C.; SLUIS, J.W.; TOLKAMP, H.H. PRIMAVERA: Decision support system for integral water management. **European Water Pollution Control**. New York, v. 5, n. 1, p. 6-9, 1995.

SANTOS, S.A.; CRISPIM, S.M.A.; COMASTRI FILHO, J.A. Pastagens no ecossistema Pantanal: manejo, conservação e monitoramento. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 42., 2005, Goiânia. **Anais...** Goiânia: Sociedade Brasileira de Zootecnia, 2005. p. 23-35

SANTOS, S.A.; RODELA, L.G.; TOMAS W.M.; CUNHA, C.N. da; RAVAGLIA, A. G.; ARAUJO, M.T.B.D.; BUENO SOBRINHO, A.A. An method to define and classify native pastures of the Northern Pantanal wetlands using satellite images. In: INTERNATIONAL WETLANDS CONFERENCE, 8., 2008. Cuiabá. **Big wetlands, big concerns**: abstracts. [Sl.: s.n.], 2008. p.196. INTECOL.

SILVA, J. dos S. V. da; ABDON, M. de M. Delimitação do Pantanal brasileiro e suas sub-regiões. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.33, p.1703-1711, 1998.

SILVEIRA, H.L.; VETTORAZZI, C.A.; VALENTE, R.O.A. Avaliação multicriterial no mapeamento de risco de incêndios florestais, em ambiente SIG, na bacia do Rio Corumbataí, SP. **Revista Árvore**, v.32, n.2, p.259-268, 2008.

SORIANO, B.M.A.; ALVES, M.J.M. **Boletim Agrometeorológico ano 2002 para a sub-região da Nhecolândia, Pantanal, Mato Grosso do Sul, Brasil**. Corumbá: Embrapa Pantanal, 2005. 29 p. (Embrapa Pantanal. Documentos, 76).

SORIANO, B.M.A.; SANTOS, S.A; DANIEL, O; CRISPIM, S.M; PELLEGRIN, L.A.; PADOVANI, C.R. **Monitoramento dos focos de calor e das variáveis meteorológicas para o Pantanal em 2008**. Corumbá: Embrapa Pantanal, 2008. 4 p. (Embrapa Pantanal. Comunicado Técnico, 73).

SOWMYA, S.V.; SOMASHEKAR, R.K. Application of remote sensing and geographical information system in mapping forest fire risk zone at Bhadra wildlife sanctuary, India. **Journal of Environmental Biology**, 31 (6), 969-974, 2010.

SCHROEDER, M.J.; BUCK, C.C. **Fire weather**: a guide for application of meteorological information to forest fire control operations. Washington, DC: USDA Forest Service, 1970. 229 p. (Agriculture Handbook 360).

SOARES, R.V.; BATISTA, A.C. **Incêndios Florestais**: controle, efeitos e uso do fogo. Curitiba, 2007. 264 p.

TORRES, F.T.P. Relações entre fatores climáticos e ocorrências de incêndios florestais na cidade de Juiz de Fora (MG). **Caminhos da Geografia**, Uberlândia, v.7, n.18, p. 162-171, 2006.

VALENTE, R.O.A; VETTORAZZI, C.A. Definition of priority areas for forest conservation through the Ordered Weighted Averaging method. *Forest Ecology and Management*, Amsterdam, v.256, p.1408-1417, 2008.

VETTORAZZI, C.A.; FERRAZ, S.F.B. Uso de sistemas de informações geográficas aplicados à prevenção e combate a incêndios em fragmentos florestais. **Série Técnica IPEF**, v.12, n.32, p. 111-115, dez. 1998.

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

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O clima do Pantanal Mato-grossense é caracterizado por longos períodos de estiagem com baixa umidade relativa e elevada temperatura do ar que aliado a alguns tipos de fitosionomias que favorecem a disseminação de incêndios, tem acarretado prejuízos irrecuperáveis, além de mobilizar uma grande soma de esforços e recursos do setor público nas operações de prevenção e combate.

O presente estudo evidenciou a necessidade da elaboração de mapas de risco de incêndio para todo bioma Pantanal, já que o mesmo é formado por um grande mosaico de fitosionomias, que varia de uma sub-região para outra e sofre influência das variações espaços-temporais decorrentes principalmente das condições climáticas. Desse modo, a metodologia deve receber adaptações de acordo com as particularidades da área a ser mapeada, alterando-se os pesos e planos de informação para cada aplicação.

De acordo com Ferraz e Vettorazzi (1998), com as informações obtidas pelos mapas de risco várias medidas podem ser tomadas para se reduzir a ocorrência de incêndios, tais como maior vigilância nas áreas de risco, restrição de acesso a esses locais, construção de aceiros preventivos e reorganização das práticas de manejo.

Para melhoria deste trabalho sugere-se utilizar imagens de satélite de melhor resolução espacial para aumentar o detalhamento da superfície; instalação de estações meteorológicas que contemplem registros de parâmetros que melhorem o modelo de integração, como é o caso da velocidade do vento, considerado como uma das principais variáveis responsáveis pela propagação do fogo.

Complementando o estudo do zoneamento do risco de incêndio, está sendo desenvolvido um sistema de informação que seleciona o melhor método para cálculo de risco de incêndio por região, dentre cinco dos mais conhecidos na literatura: Fórmula de Monte Alegre (FMA), Fórmula de Monte Alegre Modificada (FMA+), Nesterov, Telicyn e Angstron. Além de selecionar o melhor índice para a região alvo, o sistema também propõe um fator de ajuste com a finalidade de melhorar ainda mais os resultados.

Com este sistema de risco de incêndio adaptado para a região de interesse, é possível usar o mesmo para estimar o risco no dia seguinte ou ainda em mais de um dia futuro, visto que o site do INMET (www.inmet.gov.br), bem como outros, possuem estimativas de variáveis climáticas (temperatura e umidade do ar, velocidade do vento, etc.) e assim é possível estimar se os próximos dias podem ter risco de incêndio na região considerada.

Investir em uma política informativa é a forma mais econômica de se evitarem prejuízos maiores com o fogo originado por ação antrópica.

APÊNDICE

APÊNDICE A - Programa na linguagem legal para geração da reflectância corrigida

// Programa em LEGAL que automatiza algumas etapas do roteiro metodológico apresentado neste estudo (Análise espacial de dados geográficos e álgebra de mapas na obtenção dos mapas de risco potencial de incêndio para a sub-região da Nhecolândia, Pantanal Sul-mato-grossense)

/// Conversão de ND para Reflectância Corrigida (GURTLER et al.,2005)

/// Equação geral de Markham e Baker (1987)

/// Correção Atmosférica DOS (CHAVEZ, 1988)

/// Landsat 5 TM - 226/073

{

/// Variáveis Globais //////////////////////////////////////

/// Planos a recuperar

Imagem B3IMG1, B4IMG1 ("Imagem_Landsat");

Imagem B3IMG2, B4IMG2 ("Imagem_Landsat");

Imagem B3IMG3, B4IMG3 ("Imagem_Landsat");

/// Planos a criar

Numerico B3RFGRD1, B4RFGRD1 ("Reflectancia_GRD");

Numerico B3RFGRD2, B4RFGRD2 ("Reflectancia_GRD");

Numerico B3RFGRD3, B4RFGRD3 ("Reflectancia_GRD");

/// Cálculos de Reflectância //////////////////////////////////////

/// 19/08/2008 //////////////////////////////////////

/// Recupera PIs existentes

B3IMG1 = Recupere (Nome="LANDSAT_226-73_2008_Banda3");

B4IMG1 = Recupere (Nome="LANDSAT_226-73_2008_Banda4");

/// Cria Numérico Reflectância

B3RFGRD1 = Novo

(Nome="TM226073_2008_B3",ResX=30,ResY=30,Escala=50000,Min=0,Max=10,Repres=Grade);

B4RFGRD1 = Novo

(Nome="TM226073_2008_B4",ResX=30,ResY=30,Escala=50000,Min=0,Max=10,Repres=Grade);

/// Parâmetros planilha INPE

DATA = 20080819;

J3 = 0.003082436;

J4 = 0.003879811;

ESP3 = 3;

ESP4 = 2;

/// Reflectância

B3RFGRD1 = Digital(J3*(B3IMG4-ESP3));

B4RFGRD1 = Digital(J4*(B4IMG4-ESP4));

/// **07/09/2009** //////////////////////////////////////

/// Recupera PIs existentes

B3IMG2 = Recupere (Nome="LANDSAT_226-73_2009_Banda3");

B4IMG2 = Recupere (Nome="LANDSAT_226-73_2009_Banda4");

/// Cria Numérico Reflectância

B3RFGRD2 = Novo

(Nome="TM226073_2009_B3",ResX=30,ResY=30,Escala=50000,Min=0,Max=10,Repres=Grade);

B4RFGRD2 = Novo

(Nome="TM226073_2009_B4",ResX=30,ResY=30,Escala=50000,Min=0,Max=10,Repres=Grade);

/// Parâmetros planilha INPE

DATA = 20090907;

J3 = 0.002772605;

J4 = 0.003489831;

ESP3 = 6;

ESP4 = 4;

/// Reflectância

B3RFGRD2 = Digital(J3*(B3IMG5-ESP3));

B4RFGRD2 = Digital(J4*(B4IMG5-ESP4));

/// **10/09/2010** //////////////////////////////////////

/// Recupera PIs existentes

B3IMG3 = Recupere (Nome="LANDSAT_226-73_2010_Banda3");

B4IMG3 = Recupere (Nome="LANDSAT_226-73_2010_Banda4");

/// Cria Numérico Reflectância

B3RFGRD3 = Novo

(Nome="TM226073_2010_B3",ResX=30,ResY=30,Escala=50000,Min=0,Max=10,Repres=Grade);

B4RFGRD3 = Novo

(Nome="TM226073_2010_B4",ResX=30,ResY=30,Escala=50000,Min=0,Max=10,Repres=Grade);

/// Parâmetros planilha INPE

DATA = 20100910;

J3 = 0.002730854;

J4 = 0.00343728;

ESP3 = 19;

ESP4 = 10;

/// Reflectância

B3RFGRD3 = Digital(J3*(B3IMG6-ESP3));

```
B4RFGRD3 = Digital(J4*(B4IMG6-ESP4));
```

```
/// END ////////////////////////////////////////
}
```

```
/// Landsat 5 TM - 225/073
```

```
{
```

```
/// Variáveis Globais //////////////////////////////////
```

```
/// Planos a recuperar
```

```
Imagem B3IMG1, B4IMG1 ("Imagem_Landsat");
```

```
Imagem B3IMG2, B4IMG2 ("Imagem_Landsat");
```

```
Imagem B3IMG3, B4IMG3 ("Imagem_Landsat");
```

```
/// Planos a criar
```

```
Numerico B3RFGRD1, B4RFGRD1 ("Reflectancia_GRD");
```

```
Numerico B3RFGRD2, B4RFGRD2 ("Reflectancia_GRD");
```

```
Numerico B3RFGRD3, B4RFGRD3 ("Reflectancia_GRD");
```

```
/// Cálculos de Reflectância //////////////////////////////////
```

```
/// 28/08/2008 //////////////////////////////////
```

```
/// Recupera PIs existentes
```

```
B3IMG1 = Recupere (Nome="LANDSAT_225-73_2008_Banda3");
```

```
B4IMG1 = Recupere (Nome="LANDSAT_225-73_2008_Banda4");
```

```
/// Cria Numérico Reflectância
```

```
B3RFGRD1 = Novo
```

```
(Nome="TM225073_2008_B3",ResX=30,ResY=30,Escala=50000,Min=0,Max=10,  
Repres=Grade);
```

```
B4RFGRD4=Novo
```

```
(Nome="TM225073_2008_B4",ResX=30,ResY=30,Escala=50000,Min=0,Max=10,  
Repres=Grade);
```

```
/// Parâmetros planilha INPE
```

```
DATA = 20080828;
```

```
J3 = 0.002945424;
```

```
J4 = 0.003707356;
```

```
ESP3 = 4;
```

```
ESP4 = 3;
```

```
/// Reflectância
```

```
B3RFGRD1 = Digital(J3*(B3IMG4-ESP3));
```

```
B4RFGRD1 = Digital(J4*(B4IMG4-ESP4));
```

```
/// 16/09/2009 //////////////////////////////////
```

```
/// Recupera PIs existentes
```

```
B3IMG2 = Recupere (Nome="LANDSAT_225-73_2009_Banda3");
```

```
B4IMG2 = Recupere (Nome="LANDSAT_225-73_2009_Banda4");
```

```

/// Cria Numérico Reflectância
B3RFGRD2 = Novo
(Nome="TM225073_2009_B3",ResX=30,ResY=30,Escala=50000,Min=0,Max=10,
Repres=Grade);
B4RFGRD2 = Novo
(Nome="TM225073_2009_B4",ResX=30,ResY=30,Escala=50000,Min=0,Max=10,
Repres=Grade);

/// Parâmetros planilha INPE
DATA = 20090916;
J3 = 0.002656739;
J4 = 0.003343992;
ESP3 = 2;
ESP4 = 2;

/// Reflectância
B3RFGRD2 = Digital(J3*(B3IMG5-ESP3));
B4RFGRD2 = Digital(J4*(B4IMG5-ESP4));

/// 15/08/2010 //////////////////////////////////////
/// Recupera PIs existentes
B3IMG3 = Recuperar (Nome="LANDSAT_225-73_2010_Banda3");
B4IMG3 = Recuperar (Nome="LANDSAT_225-73_2010_Banda4");

/// Cria Numérico Reflectância
B3RFGRD3=Novo
(Nome="TM225073_2010_B3",ResX=30,ResY=30,Escala=50000,Min=0,Max=10,
Repres=Grade);
B4RFGRD3 = Novo
(Nome="TM225073_2010_B4",ResX=30,ResY=30,Escala=50000,Min=0,Max=10,
Repres=Grade);

/// Parâmetros planilha INPE
DATA = 20100615;
J3 = 0.003536531;
J4 = 0.004451371;
ESP3 = 0;
ESP4 = 1;

/// Reflectância
B3RFGRD3 = Digital(J3*(B3IMG6-ESP3));
B4RFGRD3 = Digital(J4*(B4IMG6-ESP4));
/// END //////////////////////////////////////
}

```

APÊNDICE B - Programa na linguagem legal para geração cálculo do índice de vegetação da diferença normalizada (NDVI)

```
// Indice de Vegetacao
{
/// Variáveis Globais //////////////////////////////////////

/// Planos a recuperar
Numerico B3RFGRD1, B4RFGRD1 ("Reflectancia_GRD_Mosaico");
Numerico B3RFGRD2, B4RFGRD2 ("Reflectancia_GRD_Mosaico");
Numerico B3RFGRD3, B4RFGRD3 ("Reflectancia_GRD_Mosaico");

/// Planos a criar
Numerico IVDN1,IVDN2, IVDN3, ("IVDN_GRD");

/// Recuperação de PIs
B3RFGRD1 = Recupere (Nome="TM2008_B3");
B3RFGRD2 = Recupere (Nome="TM2009_B3");
B3RFGRD3 = Recupere (Nome="TM20010_B3");

B4RFGRD4 = Recupere (Nome="TM2008_B4");
B4RFGRD5 = Recupere (Nome="TM2009_B4");
B4RFGRD6 = Recupere (Nome="TM2010_B4");

// Cria os novos PIs necessários
IVDN1=Novo(Nome=IVDN_TM2008,ResX=30,ResY=30,Escala=100000,Min=0,Max=50);
IVDN1=Novo(Nome=IVDN_TM2009,ResX=30,ResY=30,Escala=100000,Min=0,Max=50);
IVDN1=Novo(Nome=IVDN_TM2010,ResX=30,ResY=30,Escala=100000,Min=0,Max=50);

// Cálculos
IVDN1 = (B4RFGRD1-B3RFGRD1)/(B4RFGRD1+B3RFGRD1);
IVDN2 = (B4RFGRD2-B3RFGRD2)/(B4RFGRD2+B3RFGRD2);
IVDN3 = (B4RFGRD3-B3RFGRD3)/(B4RFGRD3+B3RFGRD3);
}
```

APÊNDICE C - Programa na linguagem legal para geração do mapa de unidades de paisagem (UP)

//Ponderação mapa UNIDADES DE PAISAGEM - UP

```
{
// DECLARAÇÕES DE VARIÁVEIS (3 Categorias)
Tematico UPorig ("Class_Nhecolandia");
Numerico UPpond ("Ponderacoes");
Tabela UPTab (Ponderacao);

// INSTANCIACÕES
UPorig = Recuperar (Nome="Mosaico_Nhecolandia");
UPpond = Novo (Nome="UPpond" , ResX=30, ResY=30, Escala=50000, Min = 0,
Max = 10);

// TABELA DE PONDERAÇÃO
UPTab = Novo (CategoriaIni = "Class_Nhecolandia",
"A_F_N_I_A":5.50,
"A_S_N_I_A": 10.00,
"A_C_N_I_A": 9.50,
"A_F_I_S" : 5.00,
"A_S_I_S" : 8.50,
"A_C_I_S" : 8.50,
"A_F_I_U" : 0.50,
"A_S_I_U" :2.50,
"A_C_I_U": 2.50,
"Corpos_d'água": 0.00);

// OPERAÇÕES
//Ponderação (Pondere)
UPpond = Pondere (UPorig, UPTab);
}
```

APÊNDICE D - Programa na linguagem legal para geração do mapa de precipitação

```
// Ponderação mapa de precipitação (ppt)
// Valores menores (mais seco) representam maior risco de incêndio
{

// DECLARAÇÕES DE VARIÁVEIS (3 TIPOS)
Tematico pptorig1, pptorig2, pptorig3, pptorig4 ("Precipitacao_FAT");
Numerico pptpond1, pptpond2, pptpond3, pptpond4 ("Ponderacoes");
Tabelappttab (Ponderacao);

// INSTANCIÇÕES
pptorig1 = Recuperar (Nome="FAT200804-09");
pptorig2 = Recuperar (Nome="FAT200904-09");
pptorig3 = Recuperar (Nome="FAT201004-09");
pptorig4 = Recuperar (Nome="FATtudo04-09");
pptpond1 = Novo (Nome="ppt2008pond", ResX=30, ResY=30, Escala=50000, Min
= 0, Max = 10);
pptpond2 = Novo (Nome="ppt2009pond", ResX=30, ResY=30, Escala=50000, Min
= 0, Max = 10);
pptpond3 = Novo (Nome="ppt2010pond", ResX=30, ResY=30, Escala=50000, Min
= 0, Max = 10);
pptpond4 = Novo (Nome="ppttudopond", ResX=30, ResY=30, Escala=50000, Min
= 0, Max = 10);

// TABELA DE PONDERAÇÃO
ppttab = Novo (CategoriaIni = "Precipitacao_FAT",
    "00 a 25mm" : 10,
    "25 a 35mm" : 9,
    "35 a 45mm" : 8,
    "45mm ou mais" : 7);

// OPERAÇÕES
//Ponderação (Pondere)
pptpond1 = Pondere (pptorig1, ppttab);
pptpond2 = Pondere (pptorig2, ppttab);
pptpond3 = Pondere (pptorig3, ppttab);
pptpond4 = Pondere (pptorig4, ppttab);
}
```

APÊNDICE E - Programa na linguagem legal para geração do mapa de índice de vegetação da diferença normalizada (NDVI)

// Ponderação mapa de IVDN

```
{
// DECLARAÇÕES DE VARIÁVEIS (3 TIPOS)
Tematico ivdnorig1, ivdnorig2, ivdnorig3, medio3x("IVDN_FAT");
Numerico ivdnpond1, ivdnpond2, ivdnpond3, medpond3x ("Ponderacoes");
Tabelaivdntab (Ponderacao);
```

// INSTANCIACÕES

```
ivdnorig1 = Recuperar (Nome="IVDN_TM2008_FAT");
ivdnorig2 = Recuperar (Nome="IVDN_TM2009_FAT");
ivdnorig3 = Recuperar (Nome="IVDN_TM2010_FAT");
medio3x = Recuperar (Nome="IVDN_MEDIO3x_FAT");
```

```
ivdnpond1 = Novo (Nome="IVDN2008" , ResX=30, ResY=30, Escala=50000, Min
= 0, Max = 10);
```

```
ivdnpond2 = Novo (Nome="IVDN2009" , ResX=30, ResY=30, Escala=50000, Min
= 0, Max = 10);
```

```
ivdnpond3 = Novo (Nome="IVDN2010" , ResX=30, ResY=30, Escala=50000, Min
= 0, Max = 10);
```

```
medpond3x = Novo (Nome="IVDNMEDIO3X" , ResX=30, ResY=30,
Escala=50000, Min = 0, Max = 10);
```

```
medpond6x = Novo (Nome="IVDNMEDIO6X" , ResX=30, ResY=30,
Escala=50000, Min = 0, Max = 10);
```

// TABELA DE PONDERAÇÃO

```
ivdntab = Novo (CategoriaIni = "IVDN_FAT",
    "0,00 a 0,10" : 0,
    "0,10 a 0,20" : 4,
    "0,20 a 0,30" : 6,
    "0,30 a 0,40" : 9,
    "0,40 a 0,50" : 6,
    "mais" : 3);
```

// OPERAÇÕES

//Ponderação (Pondere)

```
ivdnpond1 = Pondere (ivdnorig1, ivdntab);
```

```
ivdnpond2 = Pondere (ivdnorig2, ivdntab);
```

```
ivdnpond3 = Pondere (ivdnorig3, ivdntab);
```

```
medpond3x = Pondere (medio3x, ivdntab);
```

```
}
```

APÊNDICE F - Programa na linguagem legal para geração do mapa de facilidade de acesso (FA)

```

// Ponderação mapa de distâncias de estradas e fazendas
// Valores menores (mais perto) representam maior risco de incêndio
{
// DECLARAÇÕES DE VARIÁVEIS (3 TIPOS)
Tematico distorig ("Acessos_FAT");
Numerico distpond ("Ponderacoes");
Tabela disttab (Ponderacao);

// INSTANCIACÕES
distorig = Recuperar (Nome="dist");
distpond = Novo (Nome="distpond" , ResX=30, ResY=30, Escala=50000, Min = 0,
Max = 10);

// TABELA DE PONDERAÇÃO
disttab = Novo (CategoriaIni = "Acessos_FAT",
"00 a 02" : 10,
"02 a 06" : 8,
"06 ou mais" : 6);

// OPERAÇÕES
//Ponderação (Pondere)
distpond = Pondere (distorig, disttab);
}

```