



ÍNDICE DE SUSCETIBILIDADE AMBIENTAL A OCORRÊNCIA DE INCÊNDIOS E SUA RELAÇÃO COM A OCUPAÇÃO URBANA EM PARTE DA VÁRZEA DO RIO PARAÍBA DO SUL

Ana Carolina de Faria Santos¹ e Kelly Ribeiro²

^{1,2}Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE

Caixa Postal 515 - 12227-010 - São José dos Campos - SP, Brasil

¹ana.faria@inpe.br | ²kelly.ribeiro@inpe.br

RESUMO: As alterações na cobertura da terra, como a expansão urbana, podem modificar sistemas naturais, como as áreas de várzea, alterando sua dinâmica natural e desencadeando processos singulares como a ocorrência de incêndios. Estes processos têm ocorrido com maior intensidade nos últimos anos nas áreas às margens do Rio Paraíba do Sul, causando transtornos a população que vive em seu entorno. Deste modo, este trabalho objetivou elaborar um Modelo que demonstre o índice de suscetibilidade ambiental a ocorrência de incêndios em parte da várzea do Rio Paraíba do Sul e sua relação com a ocupação urbana nos anos de 2000 e 2010. Para tanto, um conjunto de variáveis foram selecionadas considerando os domínios climáticos, ambiental, de infraestrutura e social. Esses fatores foram agregados num espaço celular de 1km², cujas células foram preenchidas com operadores específicos para cada variável e posteriormente rescalodas para obtenção de uma unidade homogênea. Foi utilizada a técnica AHP para atribuição de pesos e, em seguida, o método de combinação ponderada para obtenção do Mapa de Índice de Suscetibilidade Ambiental para ambos os anos. Com isso, os modelos demonstraram que houve significativo aumento do Índice de Suscetibilidade a Ocorrência de Incêndios do ano de 2000 para o ano de 2010 e que o aumento da ocupação urbana resultou em um aumento dos índices.

Palavras-chave: Ocupação Urbana; várzea; Vale do Paraíba; incêndios.



1. INTRODUÇÃO

Os processos que motivam as mudanças no uso e cobertura da terra são diversos e muitas vezes estão relacionadas ao desenvolvimento antrópico e ao acelerado processo de mudança da sociedade nas últimas décadas, trazendo impactos ambientais e socioeconômicos significativos. As alterações na cobertura da terra, como a expansão das áreas urbanas, podem modificar alguns sistemas naturais, como as áreas de várzea, uma vez que as extensas áreas de impermeabilização interferem na quantidade e qualidade da água, além de alterar o clima e o balanço hidrológico local e regional (TUCCI; CLARKE, 1997; COHEN et al., 2007) .

As várzeas podem ser definidas como áreas alagáveis, ou seja, áreas que são periodicamente inundadas pelo transbordamento de rios, as quais pode afetar a capacidade de retenção/infiltração de água no solo e alterar a dinâmica natural desses sistemas (PIEIDADE et al., 2017). Estas áreas possuem um tipo de solo denominado turfa, o qual é resultante do atrofamento e decomposição incompleta de material orgânico em condições de umidade excessiva (AGUIAR, 1987). No processo de sua formação, há a produção de metano (CH_4), gás altamente inflamável e importante para o efeito estufa.

Todos estes fatores associados e a intensificação da ocupação humana têm desencadeando processos singulares, como a ocorrência de incêndios nas áreas de várzea, fato devido principalmente à baixa umidade e tem resultado na propagação de fogo por extensas áreas, além dos limites da ocorrência dessa turfa. Incêndios em tufeiras, geralmente queimam uma área menor do que os incêndios florestais de copa, mas podem queimar até dez vezes mais massa de combustível por hectare, produzindo muito mais partículas e aerossóis que são emitidos para a atmosfera (HUANG; REIN, 2014).

Estes processos têm ocorrido com maior intensidade nos últimos anos nas áreas às margens do Rio Paraíba do Sul, o qual se localiza em uma região pertencente ao principal eixo de ligação entre São Paulo, Rio de Janeiro e Minas Gerais, cujos municípios do entorno apresentam constante crescimento populacional. Com isso, os produtos resultantes dos incêndios na turfa pode causar um impacto sobre a população

que vive no entorno dessas áreas durante um longo período de tempo, bem como trazer transtornos para os responsáveis pela gestão local (BLAKE et al., 2009).

Neste contexto, este trabalho objetivou elaborar um Modelo que demonstre o índice de suscetibilidade ambiental a ocorrência de incêndios em parte da várzea do Rio Paraíba do Sul e sua relação com a ocupação urbana nos anos de 2000 e 2010.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Este estudo foi desenvolvido em parte da Região Metropolitana do Vale do Paraíba (RMVP), com adoção de 14 municípios: Aparecida, Caçapava, Cachoeira Paulista, Canas, Cruzeiro, Guaratinguetá, Jacareí, Lorena, Pindamonhangaba, Potim, Roseira, São José dos Campos, Taubaté e Tremembé. Estes municípios foram selecionados tendo em vista que a área de várzeas do Rio Paraíba do Sul, onde há potencialmente a ocorrência de turfas, interceptam parte desses municípios, conforme ilustrado na Figura 1. Os dados de delimitação dos municípios foram adquiridos através da disponibilização do site do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE).

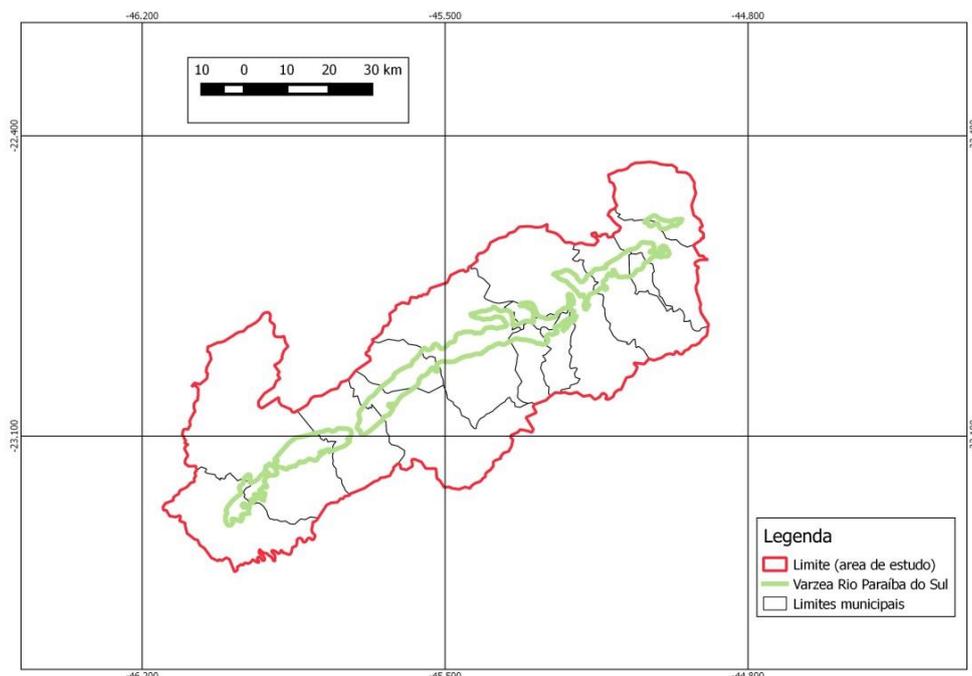


Figura 1: Mapa demonstrando a área de estudo deste trabalho e sua convergência com o limite da Várzea do Rio Paraíba do Sul.

Esse trabalho foi realizado para determinar o índice de suscetibilidade ambiental a ocorrência de incêndios na região para os anos de 2000 e 2010 com dois cenários: (1) relacionado a apenas fatores de ambientais, climáticos e de infraestrutura e, (2) associado a todos os fatores listados no cenário e a densidade demográfica nas áreas urbanas.

A Figura 2 demonstra um esquema resumido das Etapas realizadas neste trabalho, as quais serão mais bem explanadas nos tópicos a seguir.

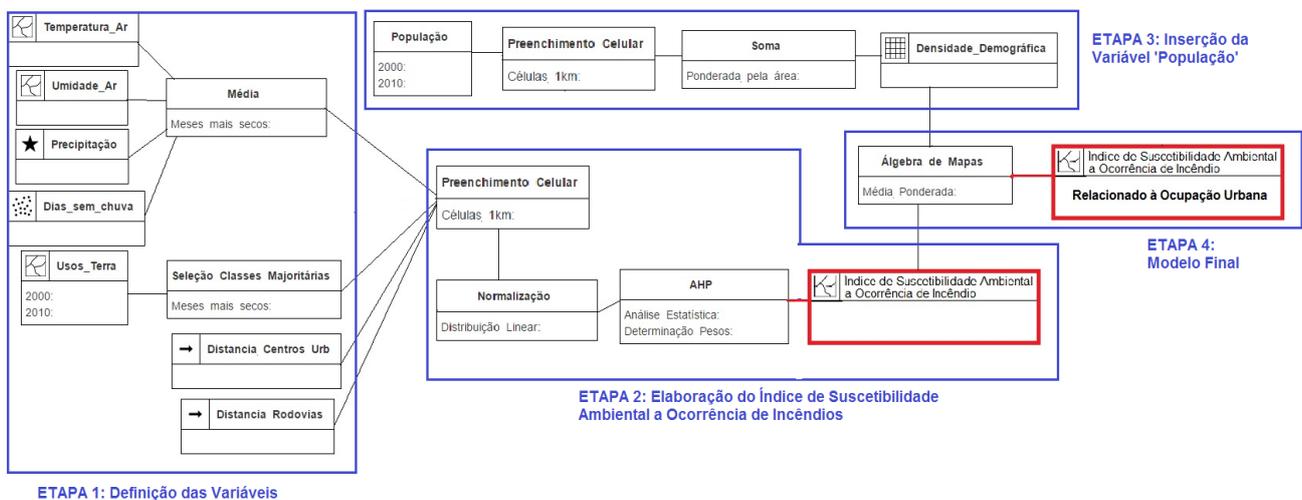


Figura 2: Esquema resumido das etapas metodológicas deste trabalho.

2.1. Seleção de fatores e sub-fatores determinantes

Nesse estudo, a seleção dos fatores candidatos foram escolhidos com base na literatura, que leva em consideração os fatores ambientais, climáticos, de infraestrutura e sociais que direta ou indiretamente podem favorecer a ocorrência de incêndios próximo as áreas de várzeas do Rio Paraíba do Sul no trecho paulista. A escolha dos fatores explicativos desses eventos tiveram como características a opinião de especialistas na área, observação e análise de focos de incêndio do ano e períodos anteriores, bem como a resolução e disponibilização de dados. Nesse estudo foram adotados oito fatores, incluindo, fatores climáticos (precipitação, numero de dias sem precipitação, umidade e temperatura do ar), de infraestrutura (distancia a centros urbanos e distancia a rodovias estaduais e federais), ambientais (uso e cobertura da terra), e sociais (densidade populacional) para os anos de 2000 e 2010.

Após a compilação de todos os fatores candidatos, a fim de integrar e homogeneizar as informações provenientes de diferentes fontes e formatos distintos (dados vetoriais, matriciais etc), agregaram-se os dados em um espaço celular com resolução espacial de 1km x 1km, usando o sistema WGS84 (Zona -44 Sul). Para tanto, utilizou-se um algoritmo desenvolvido dentro do ambiente terra me para preenchimento de células (AGUIAR et al., 2016), no qual de acordo com a representação semântica e geométrica dos atributos de dados de entrada, diferentes operadores foram aplicados (média ponderada por área, média dos valores, somatório dos atributos da célula, classe majoritária, distância mínima, etc). Objetivando evitar um alto grau de correlação entre as variáveis adotadas, realizou-se, previamente, a correlação entre todos os fatores candidatos, utilizando uma matriz de correlação, com objetivo de selecionar apenas as variáveis que apresentam coeficientes de correlação abaixo ou igual a 0.50 (BEZERRA, 2016), evitando que fatores correlacionados comprometam a análise.

Tabela 1: Dicionário de Dados de entrada utilizados para este trabalho.

Dados	Fonte	Operador	Escala/Resolução
Limites Municipais	IBGE	-	30m
Limite da Várzea	INPE/DPI	-	30m
Censo Demográfico	IBGE	Média	-
Centros Urbanos	IBGE	Distância	1:1.000.000
Rodovias Federais	DNIT	Distância	1:1.000.000
Uso e Cobertura da Terra	IBGE	Classe majoritária	30m
Umidade Relativa do ar	DAEE, SIIAGRO, INMET, SINDA	Média	1km
Temperatura do ar	DAEE, SIIAGRO, INMET, SINDA	Média	1km
Precipitação	DAEE, SIIAGRO, INMET, SINDA	Média	1km
Número de dias sem chuva	DAEE, SIIAGRO, INMET, SINDA	Média	1km
Focos de Calor	INPE – Plataforma BD	Somatória	1km



Fatores climáticos:

As condições climáticas desempenham um papel fundamental na avaliação e determinação de áreas potenciais de ocorrências de incêndio, relacionado principalmente a dinâmica e velocidade das variações ambientais, apresentando panoramas muitos distintos, o que dificulta o entendimento e identificação dos fatores que motivam esses eventos. Dentre os parâmetros ambientais mais importantes destacam-se temperatura, umidade relativa do ar (TORRES, 2006), precipitação e períodos de estiagem prolongados e sazonalidade. Mesmo que os fatores climáticos sejam considerados os fatores preponderantes para a propagação de focos de incêndio, a vegetação tem papel importante nesse cenário, uma vez que associado a altas temperaturas e baixa umidade relativa do ar há o aumento da evapotranspiração das plantas tornando-os mais propícios a queima. Já em ambientes alagados onde há a presença de turfas, esse quadro se agrava, uma vez que a diminuição da umidade associado a presença de metano no subsolo favorece a propagação do fogo, trazendo impactos ambientais e sociais muito significativos. Nesse estudo os fatores climáticos foram adquiridos a partir de estações meteorológicas locais, na qual foram utilizadas oito estações localizadas nos municípios de São Paulo, São José dos Campos, Taubaté, Guaratinguetá, Cachoeira Paulista, Resende, Lambari e Ubatuba, nas quais os dados de temperatura média do ar, umidade relativa do ar, chuva acumulada e número de dias sem chuva para os períodos secos, que compreendem os meses de Maio, Junho, Julho e Agosto (MARENGO;ALVES, 2005). Os dados foram interpolados através do operador do inverso da distância.

Infraestrutura e Social:

A interferência humana, promovida pela proximidade entre áreas urbanizadas e áreas potenciais para a ocorrência de incêndios pode intensificar os fatores de ocorrência de incêndios, sejam eles a ocupação irregular de várzeas, desmatamentos, impermeabilização do solo e conseqüentemente diminuição de infiltração de água, bem como o uso do fogo para limpeza de terrenos e queima de resíduos sólidos. Outro fato importante, esta relacionado à proximidade de núcleos populacionais com regiões de ocorrência de queimadas, podendo essa relação ser caracterizada como um problema



social importante, uma vez que as queimadas geram gases e partículas que são adversas a saúde humana. Para tanto, distancias a centros urbanos e rodovias foram determinadas tendo como referencias dados vetoriais de entrada. Com relação a focos de queimada, a distância a centros urbanos e rodovias é apresentado através de uma função linear decrescente, ou seja, quanto mais próximo, maior o potencial de ocorrência, enquanto que com o aumento da distancia a suscetibilidade diminui.

Ambiental:

As alterações na cobertura da terra como a expansão das áreas urbanas, desmatamentos, mineração em locais vulneráveis, implantação de pastagens e expansão das áreas agrícolas podem trazer grandes modificações na capacidade de armazenamento de água no solo e conseqüentemente numa maior suscetibilidade a ocorrência de incêndios. Dentre as principais conseqüências das alterações na cobertura do solo destacam-se o aumento da impermeabilização e conseqüentemente do escoamento superficial, favorecendo processos erosivos e alterações nos regimes pluviométricos relacionados com a vegetação (TUCCI E CLARKE, 1997)

2.2. Normalização dos dados

Como os dados de entrada apresentam diferentes escalas de valores dentro das células que é dependente diretamente da ação de diferentes operadores de preenchimento das células se faz necessário o reescalonamento dos valores, a fim de se ter uma escala única de medição, possibilitando a comparação ente as diferentes variáveis adotadas. Para tanto, foi adotado a utilização de uma “normalização” baseada na distribuição linear das variáveis, no qual foi utilizada uma escala para todos os fatores que variam de 0 a 100%, no qual os valores compreendidos nas faixas mais elevadas representam condições mais favoráveis à ocorrência de incêndios, enquanto que as faixas menores estão relacionadas a intervalos de valores que minimizam a ocorrência desses eventos.

2000

2010

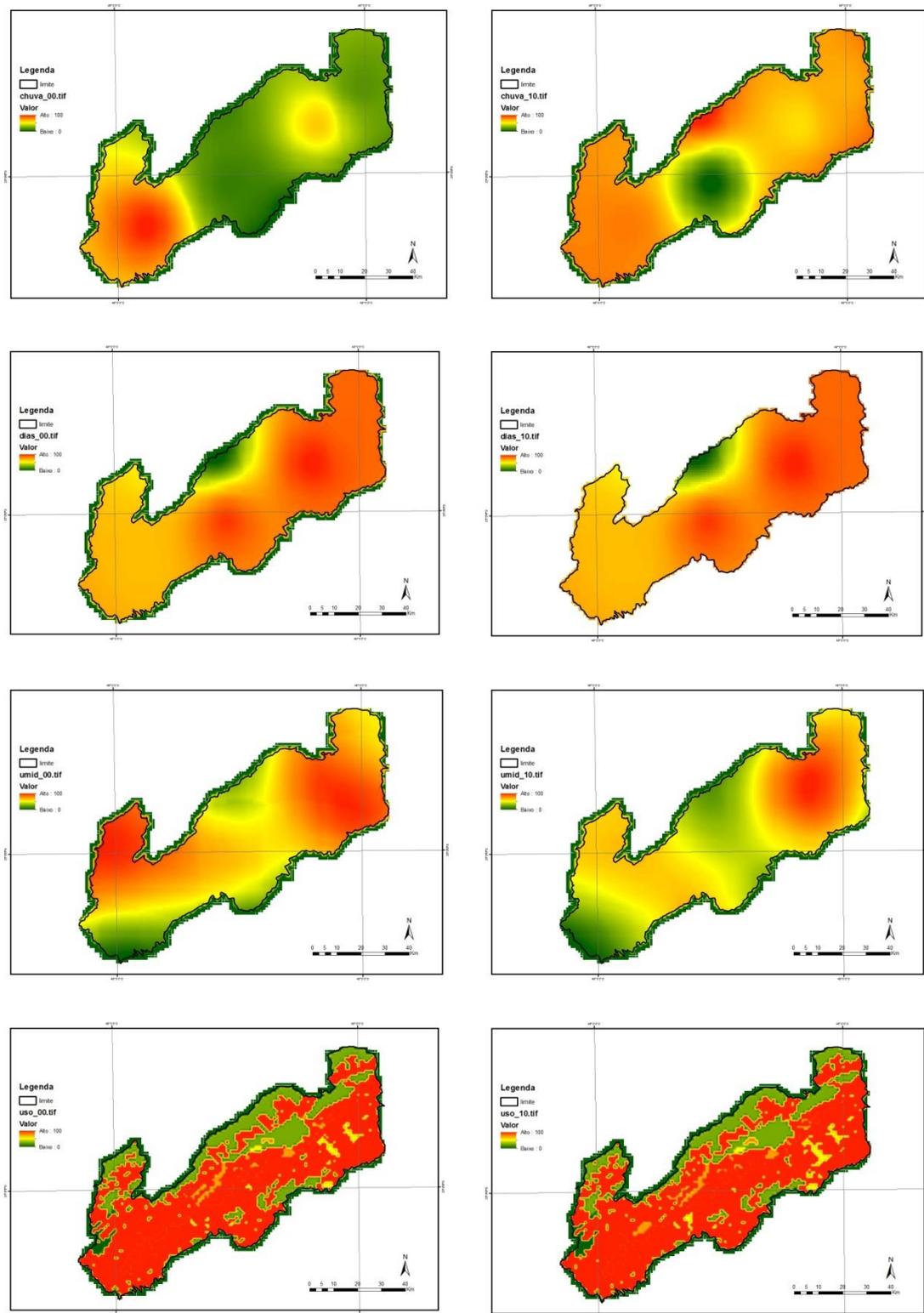


Figura 3: Dados de Entrada para os anos de 2000 e 2010.

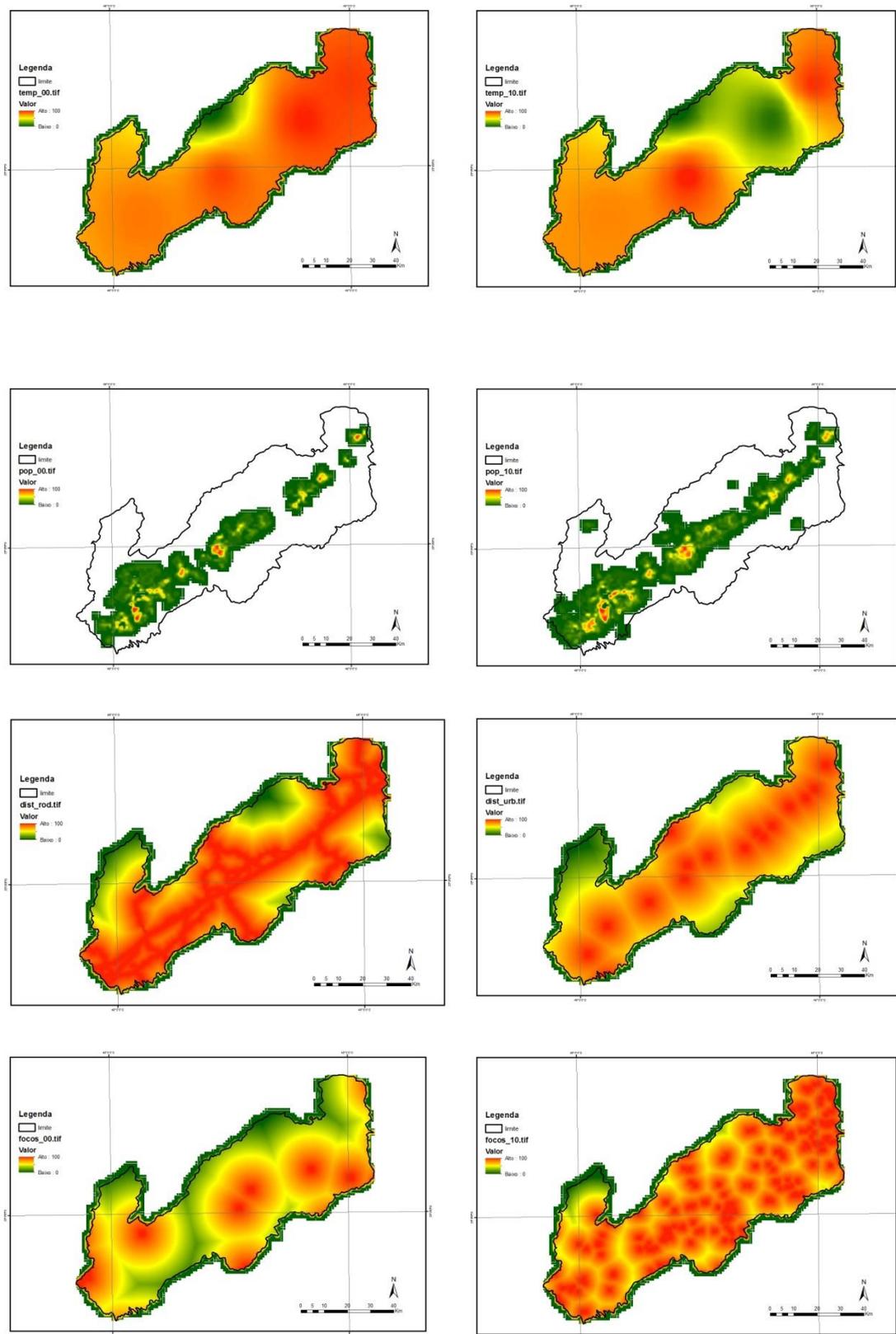


Figura 4: Dados de Entrada para os anos de 2000 e 2010 – continuação.

2.3. Critério de atribuição de pesos usando a AHP e regressão linear

Nesse estudo foi adotado o Processo Analítico Hierárquico (AHP) por se tratar de uma técnica amplamente utilizada em análises espaciais e de grande aplicação em SIG's. O método tem como base a determinação de uma matriz de comparação com análises par a par dos fatores baseada num critério e uma escala previamente determinadas. Nesse estudo as escalas variam de 0 a 100%, considerando 0% o fator de menor contribuição e 100% o que mais contribui para a ocorrência de incêndios. No entanto, leva em consideração a subjetividade relacionada a determinação do grau de importância de cada variável e a escolha correta da importância relacionada ao conjunto de variáveis é dependente da experiência e conhecimento do especialista.

Nesse estudo procurou-se utilizar uma análise de regressão linear múltipla, a fim de se determinar a importância relativa dos fatores (x = variáveis independentes) baseado numa variável Y (dependente) que nesse estudo foram os dados de focos de calor oriundas do BD queimadas para os anos de 2000, 2001 e 2010. Assim, o modelo de regressão linear adotado teve como objetivo apenas o norteamento quanto a decisão do grau de importância entre o conjunto de variáveis, tornando essa atribuição menos subjetiva. Como citado anteriormente, foram realizadas análises de correlação entre as variáveis, a fim de se evitar a multicolinearidade, comprometendo a análise. Os parâmetros correlacionados foram excluídos e as variáveis testadas quanto a normalidade. Uma vez, testada, foi possível verificar que muitos das variáveis apresentaram distribuição não normal o que pode estar associada ao período adotado para análise que consiste apenas nos quatro meses mais secos do ano, o que limita a distribuição normal das variáveis climáticas principalmente. Para tanto, a regressão linear nesse estudo atuou como norteadora para a definição do grau de importância qualitativa dos fatores.

Assim, definidos os graus de importância dos fatores, foi realizado o procedimento AHP, no qual é atribuído os pesos relativos a cada uma das variáveis atendendo a taxa de consistência menor que 10%, garantindo assim que os valores da matriz foram gerados aleatoriamente apenas nessa faixa, havendo uma consistência na geração da matriz de comparação pareada, ou seja, os pesos foram atribuídos coerentemente.



2.4. Método de combinação linear ponderada

Para a geração do índice de suscetibilidade ambiental a ocorrência de incêndios foi utilizada a técnica de combinação linear ponderada (CLP) por ser tratar de um dos métodos mais empregados na avaliação multicritérios, na qual é realizada a multiplicação dos mapas das variáveis padronizadas, por seu respectivo peso determinado através da AHP e por fim a somatória na qual é determinado um mapa do índice na escala de variação dos fatores. Nesse trabalho, essa operação é realizada por célula e a escala de variação é de 0-100%.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

As Figuras e 4 e 5 mostram o mapa de suscetibilidade ambiental a ocorrência de incêndios em parte da bacia do Rio Paraíba do Sul - trecho paulista, gerados através da análise integrada das variáveis selecionadas sobre a área de estudo, segundo os pesos estabelecidos através da análise AHP. As áreas maior suscetibilidade a ocorrência de incêndios compreendem as áreas localizadas próximo a rodovias e centros urbanos, onde se observa a maior concentração de focos de calor observados através da Plataforma BD Queimadas (INPE) , mostrando que que as áreas de maior suscetibilidade convergem com os focos observados em 2000 e 2010.

O período de análise, ou seja, os quatro meses mais secos da região (maio a agosto) foram significativamente mais secos no modelo observado para o ano de 2010, sendo evidente a maior concentração de focos de queimadas, principalmente na porção leste da região, que compreendem os municípios de Roseira, Aparecida, Potim, Guaratinguetá, Lorena Cachoeira Paulista e Cruzeiro. Com base nos dados de entrada é notório que esses municípios estão localizados na região com a menor pluviometria e maior numero de dias sem precipitação observada para a região, evidenciando uma relação direta das áreas suscetíveis a queimadas e fatores climáticos, o que é evidenciado como fatores de maior peso, segundo a análise da AHP.

Nota-se que o limite da área de várzea possui índices de suscetibilidade médios a altos, próximo dos quais há uma quantidade significativa de focos de queimada, principalmente para o ano de 2010 (Figura 5) Ressalta-se ainda o aumento significativo de focos em 2010 mostrando grande intensificação na porção leste, fato que também pode estar associado à baixa pluviometria e aumento de dias sem precipitação durante o período observado.

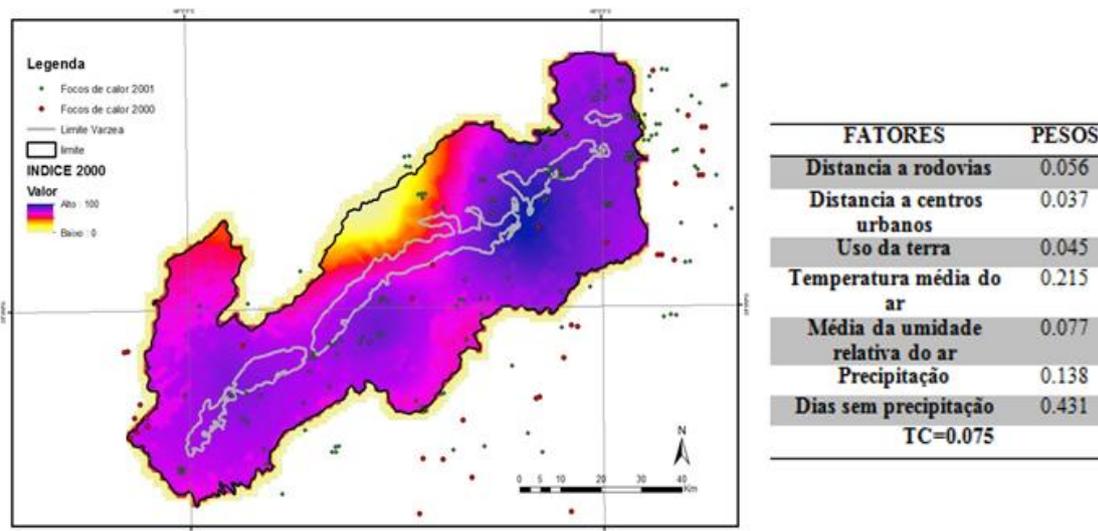


Figura 5: Modelo com o índice de suscetibilidade ambiental a ocorrência de incêndios para 2000.

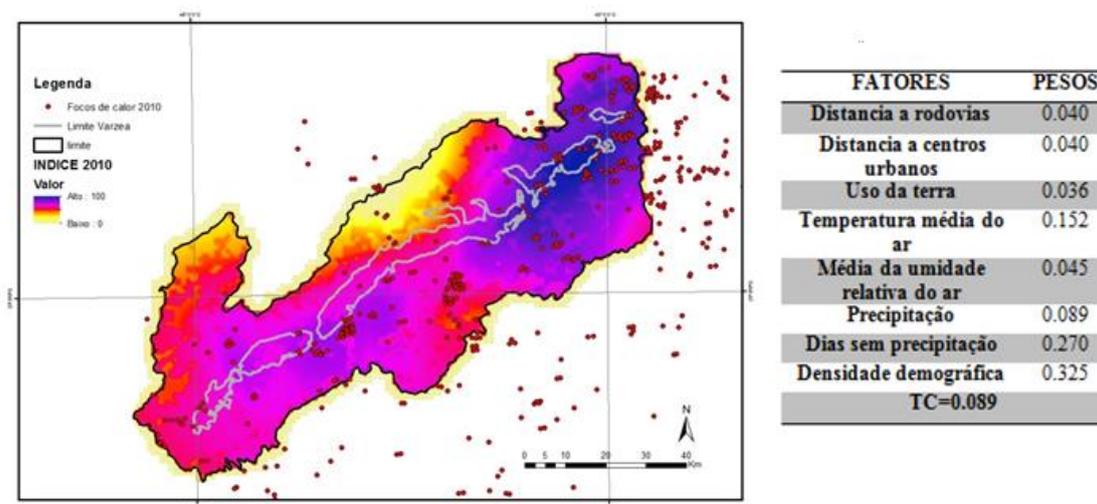


Figura 6: Modelo com o índice de suscetibilidade ambiental a ocorrência de incêndios para 2010.

No entanto, restringir a expansão dos focos de queimadas a fatores exclusivamente climáticos pode se tornar um fator limitante na identificação das áreas suscetíveis a ocorrência de incêndios, uma vez que as atividades antrópicas tem papel crucial na mudança de diversos fatores que contribuem para um cenário propício a ocorrência desses eventos, como os desmatamentos, ocupação intensificada de áreas de várzea, expansão de pastagem e o uso do fogo para limpeza de terrenos e queima de resíduos sólidos.

Para tanto, relacionamos dados de densidade demográfica, obtidos do censo demográfico do IBGE e utilizamos esse dado como variável no modelo, considerando assim, a participação de um fator social direto. As Figuras 6 e 7 mostram os mapas dos índices de suscetibilidade ambiental considerando também essa variável para os anos de 2000 e 2010. Os resultados evidenciam que a ocupação urbana tem papel crucial na ocorrência de incêndios, uma vez que a maior parte dos focos observados para os anos de 2000, 2001 e 2010 coincidem com regiões de entorno dos centros urbanos, cuja ocupação antrópica é mais adensada. Comparado com fatores climáticos a variável de densidade demográfica foi a que apresentou maior peso do conjunto selecionado para investigação.

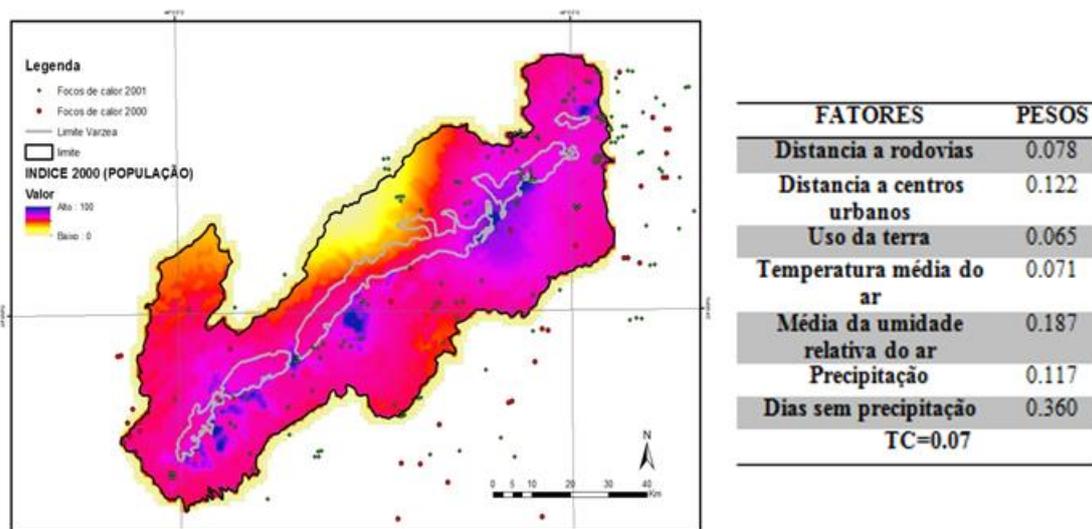


Figura 7: Modelo com o Índice de Suscetibilidade a Ocorrência de Incêndios considerando a Densidade Populacional para 2000

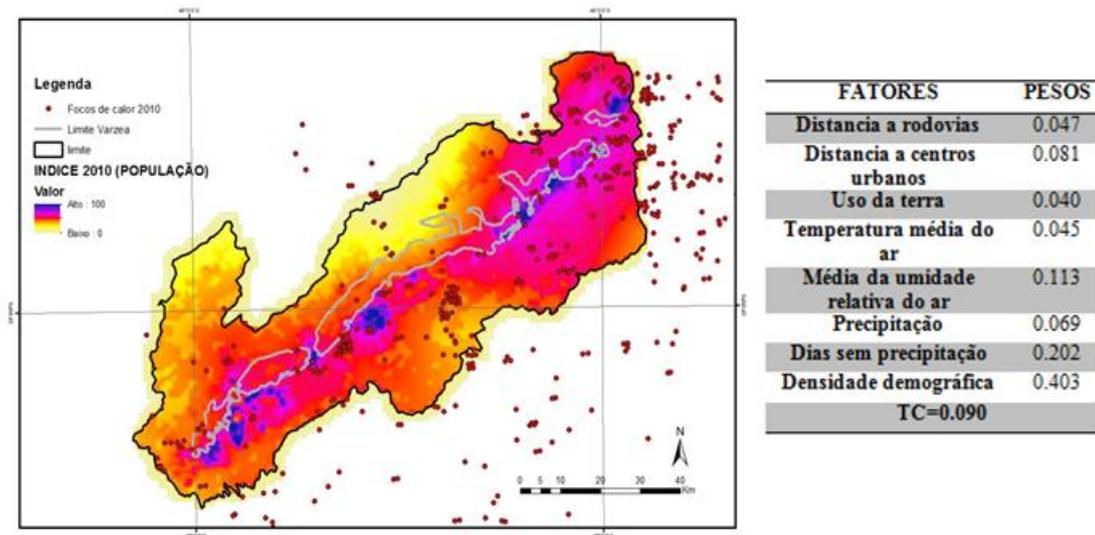


Figura 8: Modelo com o Índice de Suscetibilidade a Ocorrência de Incêndios considerando a Densidade Populacional para 2010.

Analisando os modelos gerados, pode-se inferir que as áreas atualmente mais suscetíveis á ocorrência de incêndios na várzea, considerando o ano de 2010 como o mais próximo à atualidade, são as correspondentes aos municípios de Cruzeiro, Cachoeira Paulista, Canas e Lorena.

O município de São José dos Campos e Caçapava apresentaram a menor influência da população em ambos os anos, considerando o pouco aumento da área com altos índices de suscetibilidade, principalmente próximo às áreas de várzea. Todavia, houve considerável aumento de áreas com índice Médio Alto, indicando que mais estudos devem ser feitos considerando a Densidade Populacional das áreas rurais.



4. CONCLUSÃO

Os modelos gerados demonstraram que houve significativo aumento do índice de suscetibilidade a ocorrência de incêndios do ano de 2000 para 2010. Os modelos também validaram a hipótese de que a densidade populacional é uma variável de influência direta, com alta relação à ocorrência de incêndios, e que o aumento da ocupação urbana também pode ocasionar num aumento dos índices. A ocupação antrópica tem efeitos sobre os processos naturais com interferência na dinâmica e frequência dos eventos.

Apesar de inúmeras tentativas de identificar e compreender os fatores determinantes e suas inter-relações com a ocorrência de incêndios, alguns focos se concentraram em regiões consideradas de baixa suscetibilidade, mostrando que é necessário um maior aprofundamento e seleção de mais variáveis que efetivamente contribuem para a direção das ocorrências, seja ela positiva ou negativa. Determinar a relação entre fatores e ocorrência é primordial para o entendimento de mecanismos capazes de subsidiar políticas públicas de combate a incêndios na região.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGUIAR, S. **Fontes energéticas brasileiras – inventário/tecnologia: Turfa**. CHESF, Vol I e II, Rio de Janeiro, 1987.

AGUIAR, A.P.D. et al. Land use change emission scenarios: anticipating a forest transition process in the Brazilian Amazon. **Global Change Biology**, v. 22, n. 5, p. 1821–1840, 2016.

BEZERRA, F.G.S. **Contribuição de Fatores Socioeconômicos, Biofísicos e da Agropecuária à Degradação da Cobertura Vegetal como “Proxy” da desertificação no semiárido do Nordeste do Brasil**. São José dos Campos: INPE, 2016, 207 p.



BLAKE D. et al. Peat fires and air quality: Volatile organic compounds and particulates. **Chemosphere**, v. 76, n. 3, p. 419-423, 2009.

COHEN, J. C. P. et al. Influência do desmatamento sobre o ciclo hidrológico na Amazônia. **Ciência e Cultura**. v. 59, n. 3, 2007.

HUANG X.; REIN G. Smouldering combustion of peat in wildfires: Inverse modelling of the drying and the thermal and oxidative decomposition kinetics. **Combustion and Flame**. v.161, p. 1633-1644, 2014.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS – INPE. Banco de Dados de Queimadas. Disponível em: <https://prodwww-queimadas.dgi.inpe.br/bdqueimadas/>. Acessado em 02 jun. 2017.

MARENGO, J.A.; ALVES, L. Tendências Hidrológicas da Bacia do Rio Paraíba do Sul. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.20, n.2, P. 215-226, 2005.

PIEIDADE, M.T. F. et al. **Eventos Climáticos Extremos. Capítulo 17: Impactos ecológicos da inundação e seca na vegetação das áreas alagáveis amazônicas.** Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Pia_Parolin/publication/256116485_Impactos_ecologicos_da_inundacao_e_seca_na_vegetacao_das_areas_alagaveis_amazonicas/links/00b49521d0d297a960000000.pdf. Acesso em: 02 jun. 2017.

TORRES, F.T.P. Relações entre Fatores Climáticos e Ocorrências de Incêndios Florestais na Cidade de Juiz de Fora (MG). **Caminhos de Geografia**, v. 7, n. 18, p. 162 - 171, 2006.

TUCCI, C. E. M.; CLARKE, R. T. Impacto Das Mudanças Da Cobertura Vegetal No Escoamento: Revisão. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 2, n. 1, p. 135–152, 1997.