
UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS GEODÉSICAS E
TECNOLOGIAS DA GEOINFORMAÇÃO

MODELAGEM ESPACIAL DE PREDIÇÃO DE RISCOS DE
INCÊNDIOS COM LÓGICA FUZZY, COMPARAÇÃO E
VALIDAÇÃO

ANDRÉ LUIZ SÁ DE OLIVEIRA

Orientador: Prof. Dr. Marcelo Antônio Nero

Dissertação de Mestrado

Recife, 2013

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS GEODÉSICAS E
TECNOLOGIAS DA GEOINFORMAÇÃO

André Luiz Sá de Oliveira

MODELAGEM ESPACIAL DE PREDIÇÃO DE RISCOS DE
INCÊNDIOS COM LÓGICA FUZZY, COMPARAÇÃO E
VALIDAÇÃO

Dissertação de Mestrado

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, do Centro de Tecnologia e Geociências da Universidade Federal de Pernambuco, como parte dos requisitos para obtenção do grau de Mestre em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, área de concentração Cartografia e Sistemas de Geoinformação.

Orientador: Prof. Dr. Marcelo Antônio Nero

Recife
2013

Catálogo na fonte

Bibliotecária Valdicéa Alves, CRB-4 / 1260

O48m Oliveira, André Luiz Sá de.

Modelagem espacial de predição de riscos de incêndios com
lógica Fuzzy, comparação e validação / André Luiz Sá de Oliveira -
Recife: O Autor, 2013.

Viii,161folhas; figs.; tabs.

Orientador: Prof. Dr. Marcelo Antônio Nero.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco.

**MODELAGEM ESPACIAL DE PREDIÇÃO DE RISCOS INCÊNDIOS COM LÓGICA
FUZZY, COMPARAÇÃO E VALIDAÇÃO**

POR

ANDRÉ LUIZ SÁ DE OLIVEIRA

Dissertação defendida e aprovada em 01/11/2013.

Banca Examinadora:

Prof. Dr. MARCELO ANTONIO NERO

Departamento de Engenharia Cartográfica - Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Dr. JOÃO RODRIGUES TAVARES JUNIOR

Departamento de Engenharia Cartográfica - Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Dr. RODRIGO AFFONSO DE ALBUQUERQUE NÓBREGA

Departamento de Cartografia - Universidade Federal de Minas Gerais

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, que deu essa oportunidade de tornar-me mestre através de respostas de oração. Porque sei que Ele tudo pode e nada e ninguém pode destruir seus planos para comigo. Sou grato pelo Seu amor e ainda que eu não mereça, seja por momentos de fraquezas ou limitações, sei que é a Sua mão que me sustenta e que até aqui Ele tem me ajudado.

Em especial ao meu filho Arthur, que com apenas 1 aninho de vida, o seu amor ilumina a minha vida e a minha esposa Ana Carlyne, companheira em todas as alegrias, tristezas e conquistas e que teve a imensa capacidade de me amar, mesmo eu estando com o pensamento só voltado para a dissertação.

A minha mãe Ivanilda Sá por todo amor, amizade e pelo referencial de vida, de honestidade e a acima de tudo, pelo referencial de família; à minha irmã Irene Sá pelo interesse em conhecer a minha pesquisa e até utilizá-la em seus trabalhos acadêmicos de jornalismo; e ao meu irmão Kleber Sá por ter me cedido seu carro em revezamento com o meu para deslocar-me a Recife todas as semanas.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Marcelo Antônio Nero pela maneira competente de como se doou à orientação dessa pesquisa, pelas grandes observações que sempre as tomei como certeiras, auxiliando de forma exigente e determinada, com tranqüilidade, ética e apoio nas turbulências sempre indicando a direção certa a ser seguida. Pelos seus detalhes na qualidade visando obter os melhores resultados e pela constante disponibilidade e empatia ao recepcionar minha ideias, que sem dúvida, me estimularam para que eu pudesse prosseguir o trabalho com segurança. Sou grato ainda pela confiança dada a mim desde o começo do mestrado.

Ao Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, ao Departamento de Engenharia Cartográfica (DeCart) e a UFPE, pela oportunidade, confiança e pela forma de como fui bem acolhido por todos. Inclusive os colegas de mestrado pelos bons momentos de descontração e pela divisão de problemas e aflições no decorrer de nossa trajetória acadêmica.

Ao Prof. Dr. João Rodrigues Tavares Júnior e a Prof^a. Dra. Ana Lúcia Bezerra Candeias que aceitaram em participar das bancas de qualificação e andamento dessa dissertação, e pela forma como deram suas valiosas contribuições e sugestões com muita simplicidade, consideração, ética e profissionalismo.

Ao Prof. Dr. Rodrigo Albuquerque Afonso Nóbrega (“Sal”), do Instituto de Geociências da UFMG, pela sua contribuição e avaliação na fase do andamento da dissertação, mesmo que à distância.

Ao Prof. Dr. José Luiz Portugal por ser uma peça chave na etapa final da validação dos resultados obtidos nessa pesquisa.

À Secretaria de Segurança e Defesa Social do Estado da Paraíba (CIOP) e a Prefeitura Municipal de João Pessoa pelo fornecimento de dados e informações fundamentais para o desenvolvimento deste trabalho.

Ao meu chefe Ten. Cel. Júlio César e ao Cap. Vinícius Lima pela liberação, consentimento, paciência e compreensão para que eu pudesse assistir às aulas presenciais para cumprimento dos créditos das disciplinas.

Aos que torceram por mim, especialmente os meus familiares e os da minha esposa.

A todos que aqui não foram citados, mas que de alguma forma contribuíram diretamente ou indiretamente para o meu crescimento.

*“Eu sou o Senhor teu Deus, que te
ensina o que é útil, e te guia pelo
caminho em que deves andar.”
Isaías 48:17*

RESUMO

Os problemas ambientais decorrentes dos incêndios alteram de maneira profunda a dinâmica do planeta através da modificação de seus ciclos e da destruição dos ecossistemas. O homem é responsável por quase a totalidade das queimadas, sendo ele também protagonista das iniciativas de prevenção. Dessa maneira, torna-se necessário um planejamento de ações ao combate desses danos ambientais. Uma vez que a localização geográfica é importante atributo, esta pesquisa objetiva apoiar medidas de prevenção e controle de incêndios gerando e validando mapas com modelos de predição de riscos de incêndios aplicados no município de João Pessoa – PB. Para atingir esse objetivo, os dados foram modelados, processados, manipulados e analisados no *software* ArcGIS versão 10.0, bem como a geração e *overlay* de mapas temáticos através de análise multicritério, ponderação das variáveis e lógica *fuzzy*. Posteriormente, foi realizada a validação dos modelos considerando dados reais, onde os resultados demonstraram que os modelos gerados com o auxílio da lógica *fuzzy* apresentaram um coeficiente de determinação acima de 85%. A variável de pluviometria foi o fator que contribuiu significativamente para que os modelos apresentassem maior confiabilidade. Variável essa que não foi utilizada e nem recomendada especificamente em outras metodologias comparadas nessa pesquisa. Os fatores que contribuíram para o alto grau de vulnerabilidade de risco de incêndios foram as regiões que apresentaram simultaneamente: alta declividade, presença de vegetação, áreas de alta concentração de pessoas, aglomerados subnormais e regiões dentro da influência da rede viária e hidrografia. Por fim, esse trabalho teve o intuito de contribuir na tomada de decisão dos gestores de meio ambiente, segurança e defesa social de forma rápida e precisa com recurso a poucas variáveis e baixo custo.

Palavras-chave: incêndios, geoprocessamento, mapas de risco, validação, predição, lógica *fuzzy*.

ABSTRACT

The environmental problems of fires profoundly change the dynamics of the planet by modifying their cycles and ecosystem destruction. The human being is responsible for almost all the fires, but he is also protagonist of prevention initiatives. Thus, it becomes necessary to plan actions to combat these environmental damages. Since the geographic location is an important attribute, this research aims to support prevention and control of fires generating and validating maps with prediction risk of fire models applied in João Pessoa city. The data were modeled, processed, handled and analyzed in ArcGIS software version 10.0 as well as the generation and overlay of thematic maps using multicriteria analysis, weighting the variables and fuzzy logic. In the next step made the validation considering the real data and the results demonstrate that the templates generated with the aid of fuzzy logic, the coefficient of determination above 85%. The rainfall variable was the factor that contributed significantly to the models having greater reliability. This variable was not used and not specifically recommended in other methods compared in this study. The factors that contributed to the high degree of vulnerability risk of fires were the regions that showed both: high slope, vegetation, areas of high concentration of people, subnormal agglomerations and regions within the influence of the road network and hydrography. Finally, this study aimed to contribute to the decision making of managers of the environment, social security and defense quickly and accurately using a few variables and low cost.

Keywords: fires, geoprocessing, risk maps, validation

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	22
1.1. Justificativa.....	26
1.2. Objetivo Geral	27
1.3. Objetivos Específicos	27
1.4. Estrutura da Dissertação	28
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	29
2.1. Incêndios	29
2.1.1. Agentes Causadores	29
2.2. Geotecnologias no Combate a Incêndios.....	31
2.3. Sistema de Informações Geográficas - SIG	32
2.4. Representação Espacial de Dados: Modelos Vetoriais e Matriciais.....	34
2.5. Informação Geográfica	35
2.6. Análise Espacial	37
2.6.1. Análise Geoestatística: Autocorrelação Espacial	38
2.6.2. Teste Qui-Quadrado e Coeficiente de Determinação.....	41
2.7. Modelos Existentes	43
2.7.1. Metodologia proposta por Ribeiro <i>et. al</i> (2008)	44
2.7.1.1. Uso e Ocupação do Solo.....	44
2.7.1.2. Rede Viária.....	45
2.7.1.3. Declividade.....	46

2.7.1.4. Densidade Demográfica	46
2.7.1.5. Hidrografia	47
2.7.1.6. Modelo de Ponderação proposto por Ribeiro <i>et. al</i> (2008)	48
2.7.2. Metodologia proposta por Chuvieco <i>et. al</i> (2010)	49
2.7.2.1. Vegetação	49
2.7.2.2. Declividade	49
2.7.2.3. Orientação das Encostas.....	50
2.7.2.4. Proximidade com Estradas.....	51
2.7.2.5. Elevação.....	52
2.7.2.6. Método de Agregação das Variáveis.....	53
2.8. Lógica <i>Fuzzy</i>	53
2.8.1. Funções de Pertinência.....	57
2.8.1.1. Função de Pertinência Triangular (trimf)	57
2.8.1.2. Função de Pertinência Gaussiana (gaussmf).....	58
2.8.1.3. Função de Pertinência Triapezoidal (trapmf).....	59
2.8.2. Sistemas de Controle <i>Fuzzy</i>	60
2.8.3. Regras da Lógica <i>Fuzzy</i>	61
2.8.3.1. Modelos de Sistema de Controle <i>Fuzzy</i>	61
2.9. Modelo de Precipitação Mensal	62
3. METODOLOGIA.....	63

3.1. Caracterização da Área de Estudo.....	66
3.2. Recursos de <i>Hardware</i> e <i>Software</i>	68
3.3. Aquisição dos Dados.....	68
3.4. Edição dos Dados	69
3.5. Configurações para a Lógica <i>Fuzzy</i>	69
3.5.1. Modelagem para o Cálculo de Risco de Incêndio	76
3.5.2. Construção das Regras.....	78
3.5.3. Visualização do Modelo <i>Fuzzy</i> para os valores iniciais.....	78
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	80
4.1. Análise da Metodologia proposta por Ribeiro <i>et. al</i> (2008).....	80
4.1.1. Mapa de Influência do Uso e Ocupação do Solo para o risco de Incêndio.....	80
4.1.2. Mapa de Influência da Rede Viária para o risco de Incêndio.....	81
4.1.3. Mapa de Influência da Declividade para o risco de Incêndio	81
4.1.4. Mapa de Influência da Densidade Demográfica para o risco de Incêndio.....	82
4.1.5. Mapa de Influência da Hidrografia para o risco de Incêndio.....	83
4.1.6. Mapa de Risco de Incêndio para o ano de 2010 de acordo com a metodologia proposta por Ribeiro <i>et. al</i> (2008)	84
4.2. Análise da Metodologia proposta por Chuvieco <i>et. al</i> (2010)	85
4.2.1. Mapa de Influência da Vegetação para o Risco de Incêndio.....	85

4.2.2. Mapa de Influência da Declividade para o Risco de Incêndio	85
4.2.3. Mapa de Influência da Orientação das Encostas para o risco de Incêndio.....	86
4.2.4. Mapa de Influência da Proximidade a Estradas para o risco de Incêndio.....	87
4.2.5. Mapa de Influência da Elevação para o Risco de Incêndio	87
4.2.6. Mapa de Risco de Incêndio para o ano de 2010 de acordo com a metodologia proposta por Chuvieco <i>et. al</i> (2010)	88
4.3. Análise da Metodologia com a Aplicação da Lógica <i>Fuzzy</i>	89
4.3.1. Mapa de Influência do Uso e Ocupação para o risco de Incêndio	89
4.3.2. Mapa de Influência da Pluviometria para o risco de Incêndio	90
4.3.2.1. Mapa de Influência da Pluviometria Anual Média para o Risco de Incêndio	90
4.3.2.2. Mapa de Influência da Pluviometria no Período Chuvoso para o Risco de Incêndio	91
4.3.2.3. Mapa de Influência da Pluviometria no primeiro período de Estiagem para o Risco de Incêndio	91
4.3.2.4. Mapa de Influência da Pluviometria no segundo período de Estiagem para o Risco de Incêndio	92
4.3.3. Mapa de Influência da Densidade Demográfica para o risco de Incêndio.....	93
4.3.4. Mapa de Influência da Hidrografia para o risco de Incêndio	93

4.3.6. Mapa de Influência da Declividade para o risco de Incêndio	93
4.3.7. Mapa de Influência dos Aglomerados Subnormais para o risco de Incêndio.....	94
4.3.8. Mapas de Risco de Incêndio para o ano de 2010 conforme a Lógica <i>Fuzzy</i>	94
5. VALIDAÇÃO DOS MODELOS	101
6. CONCLUSÕES	127
REFERÊNCIAS.....	130
ANEXOS	140

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Arquitetura de um SIG.....	33
Figura 2 – Relação entre Dado Geográfico e Atributo Descritivo.....	35
Figura 3 – Diagrama de Espalhamento de Moran.....	40
Figura 4 – Comparação entre o pertencimento clássico e o <i>fuzzy</i>	55
Figura 5 – Variáveis Linguísticas para a Umidade Relativa do Ar.....	56
Figura 6 – Função de Pertinência Triangular.....	57
Figura 7 – Função de Pertinência Gaussiana.....	58
Figura 8 – Função de Pertinência Trapezoidal.....	59
Figura 9 – Estrutura Básica de um controlador <i>Fuzzy</i>	60
Figura 10 – Fluxograma de execução geral da elaboração dos modelos de predição de riscos de incêndios.....	63
Figura 11 – Localização do Município de João Pessoa – PB.....	66
Figura 12 – Grau de Pertinência para a variável “Uso do Solo”.....	70
Figura 13 – Grau de Pertinência para a variável “Pluviometria”.....	71
Figura 14 – Grau de Pertinência para a variável “Rede Viária”.....	72
Figura 15 – Grau de Pertinência para a variável “Declividade”.....	73
Figura 16 – Grau de Pertinência para a variável “Densidade Demográfica”.....	74
Figura 17 – Grau de Pertinência para a variável “Hidrografia”.....	75
Figura 18 – Grau de Pertinência para variável “Aglomerado Subnormal”.....	76
Figura 19 – Definição para o cálculo de risco de incêndio.....	77
Figura 20 – Definição das Regras.....	78
Figura 21 – Cálculo do Risco de Incêndio.....	79
Figura 22 – Tabela Defuzzyficada importada para o ArcGIS.....	79
Figura 23 – Mapa de Influência do Uso e Ocupação do Solo para o risco de incêndio.....	80

Figura 24 – Mapa da Influência da Rede Viária no município de João Pessoa	81
Figura 25 – Mapa da Influência da Declividade para o risco de incêndio no município de João Pessoa.....	82
Figura 26 - Mapa da Densidade Demográfica para o risco de incêndio através dos setores censitários	83
Figura 27 - Mapa de Influência da Hidrografia para o risco de incêndio	83
Figura 28 – Mapa de Risco de Incêndios para o ano de 2010 proposto por Ribeiro <i>et. al</i> (2008)	84
Figura 29 – Mapa de Influência da Vegetação	85
Figura 30 – Mapa de Influência da Declividade para o risco de incêndio proposto por Chuvieco <i>et. al</i> (2010)	86
Figura 31 – Mapa de Influência da Orientação das Encostas para o risco de incêndio.....	87
Figura 32 – Mapa de Risco de Incêndios de acordo com Chuvieco <i>et. al</i> (2010).....	88
Figura 33 – Mapa de Pluviometria Anual Média para o Risco de Incêndio	90
Figura 34 – Mapa de Pluviometria para o Risco de Incêndio no primeiro período de estiagens.....	91
Figura 35 – Mapa de Pluviometria para o Risco de Incêndio no segundo período de estiagens.....	92
Figura 36 – Mapa de Influência dos Aglomerados Subnormais para o risco de incêndio.....	94
Figura 37 – Mapa de Risco de Incêndio gerado a partir do <i>overlay</i> de mapas com o mapa de pluviometria anual média.....	95
Figura 38 – Mapa de Risco de Incêndio gerado a partir do <i>overlay</i> de mapas com o mapa de pluviometria no período chuvoso.....	96
Figura 39 – Mapa de Risco de Incêndio gerado a partir do <i>overlay</i> de mapas com o mapa de pluviometria no primeiro período de estiagem.....	97
Figura 40 – Pluviometria mensal média em João Pessoa no ano de 2010.....	98

Figura 41 – Mapa de Risco de Incêndio gerado a partir do <i>overlay</i> de mapas com o mapa de pluviometria no segundo período de estiagem.....	99
Figura 42 – Mapa dos pontos de ocorrências de incêndios atendidas pelo Corpo de Bombeiros no ano de 2010	101
Figura 43 – Relação do número de ocorrências de incêndios mensais registrados pelo Corpo de Bombeiros com a precipitação registrados pela AESA no ano de 2010	102
Figura 44 – Comparação do mapa de risco de incêndio com base na metodologia de Ribeiro <i>et. al</i> (2008) e a distribuição espacial das ocorrências de incêndios	103
Figura 45 – Mapa de Cluster do Risco de Incêndio e Diagrama de Espalhamento de Moran para o modelo proposto por Ribeiro <i>et. al</i> (2008).....	105
Figura 46 – Comparação do mapa de risco de incêndio com base na metodologia de Chuvieco <i>et. al</i> (2010) e a distribuição espacial das ocorrências de incêndios.....	106
Figura 47 – Mapa de Índice Local de Moran e Diagrama de Espalhamento de Moran para o mapa de risco de incêndio proposto por Chuvieco <i>et. al</i> (2010)	108
Figura 48 – Comparação do mapa de risco de incêndio anual com base na lógica <i>fuzzy</i> e a distribuição espacial das ocorrências de incêndios.....	109
Figura 49 – Mapa de Cluster do Risco de Incêndio e Diagrama de Espalhamento de Moran para o ano de 2010 com base na lógica <i>fuzzy</i>	111
Figura 50 – Comparação do mapa de risco de incêndio para o período chuvoso e a distribuição espacial das ocorrências de incêndios para o mesmo período.....	112
Figura 51 – Mapa de Índice Local de Moran e Diagrama de Espalhamento de Moran para o mapa de risco de incêndio no período chuvoso	114
Figura 52 – Comparação do mapa de risco de incêndio para o primeiro período de estiagem e a distribuição espacial das ocorrências de incêndios registrados no mesmo período	115
Figura 53 – Mapa de <i>Cluster</i> do Risco de Incêndio e Diagrama de Espalhamento de Moran para o primeiro período de estiagem	117

Figura 54 – Comparação do mapa de risco de incêndio para o segundo período de estiagem e a distribuição espacial das ocorrências de incêndios registrados no mesmo período	118
Figura 55 – Mapa LISA e Diagrama de Espalhamento de Moran para o mapa de risco de incêndio no segundo período de estiagem	120
Figura 56 – Análise de Tendência dos modelos apresentados.....	122
Figura 57 – Área de Alto Risco de Incêndio localizado no bairro São José	123
Figura 58 – Área de Alto Risco de Incêndio na Área de Preservação Permanente da barreira localizado no bairro do Cabo Branco	123
Figura 59 – Área de Alto Risco de Incêndio na comunidade São Rafael localizado no bairro do Castelo Branco.....	124
Figura 60 – Área de Alto Risco de Incêndio nas comunidades do Baleado, Boa Esperança e Bom Samaritano localizado nos bairros do Cristo Redentor, Cruz das Armas e Oitizeiro.....	124
Figura 61 – Área de Alto Risco de Incêndio na região do Parque Arruda Câmara e divisas entre os bairros do Róger, Treze de Maio, Tambiá e Padre Zé	125
Figura 62 – Área de Alto Risco de Incêndio na comunidade do Timbó situado no bairro dos Bancários	125
Figura 63 – Área de Alto Risco de Incêndio na comunidade Saturnino de Brito situado no bairro das Trincheiras	126
Figura 64 – Área de Alto Risco de Incêndio na comunidade Beira da Linha situada no bairro do Alto do Mateus e Ilha do Bispo.....	126

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Classificação do risco segundo o uso do solo.....	44
Tabela 2 – Classificação do risco segundo a Rede Viária	45
Tabela 3 – Classificação do risco segundo a Declividade.....	46
Tabela 4 – Classificação do risco segundo a Densidade Demográfica.....	47
Tabela 5 – Classificação do risco segundo a Hidrografia.....	47
Tabela 6 – Classes de risco de incêndios segundo metodologia proposta	48
Tabela 7 – Classe de pesos segundo a declividade	49
Tabela 8 – Classe de pesos segundo a orientação das encostas.....	51
Tabela 9 – Classe de pesos segundo a Proximidade com Estradas.....	52
Tabela 10 – Classe de pesos segundo a Elevação.....	52
Tabela 11 – Classes de risco de incêndios proposto por Chuvieco <i>et. al</i> (2010)	53
Tabela 12 – Classes, risco e coeficientes de precipitação mensal.....	62
Tabela 13 – Valores de Pertinência dos números <i>fuzzy</i> para o Uso do Solo.....	70
Tabela 14 - Valores de Pertinência dos números <i>fuzzy</i> para a Pluviometria	71
Tabela 15 - Valores de Pertinência dos números <i>fuzzy</i> para a Rede Viária	72
Tabela 16 - Valores de Pertinência dos números <i>fuzzy</i> para a Declividade.....	73
Tabela 17 - Valores de Pertinência dos números <i>fuzzy</i> para a Densidade Demográfica.....	74
Tabela 18 - Valores de Pertinência dos números <i>fuzzy</i> para a Hidrografia.....	75
Tabela 19 - Valores de Pertinência dos números <i>fuzzy</i> para os AGSN	76
Tabela 20 - Valores de Pertinência dos números <i>fuzzy</i> para a o Cálculo Final do Risco de Incêndio.....	77
Tabela 21 – Relação da classe de risco com as ocorrências de incêndios (Ribeiro <i>et. al</i> , 2008)	103

Tabela 22 – Relação da classe de risco com as ocorrências de incêndios (<i>Chuvieco et. al</i> , 2010)	106
Tabela 23 – Relação da classe de risco com as ocorrências de incêndios (<i>Fuzzy Pluviometria Anual</i>)	109
Tabela 24 – Relação da classe de risco com as ocorrências de incêndios (<i>Fuzzy Período Chuvoso</i>)	112
Tabela 25 – Relação da classe de risco com as ocorrências de incêndios (<i>Fuzzy 1º Período de Estiagem</i>).....	115
Tabela 26 – Relação da classe de risco com as ocorrências de incêndios (<i>Fuzzy 2º Período de Estiagem</i>).....	118
Tabela 27 – Comparativo entre os modelos apresentados de acordo com o percentual de ocupação no município.....	120
Tabela 28 – Comparativo da densidade de pontos/Km ² e classificação das áreas de risco.....	121
Tabela 29 – Cálculo da frequência esperada da densidade de pontos/Km ² e classificação das áreas de risco.....	121
Tabela 30 – Cálculos do Índice Global de Moran, p-valor, teste Qui-quadrado e Coeficiente de Determinação para os modelos apresentados	121

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AESA - Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba

AGSN – Aglomerados Subnormais

AVHRR - Advanced Very High Resolution Radiometer

CAST - Agência Chinesa de Ciência e Tecnologia

CBBM - Corpo de Bombeiros Militar da Paraíba

CBERS – *China Brazil Earth Resources Satellite*

CCD - *Charge-Coupled Device*

CIOF – Centro Integrado de Operações

ERT - Elemento de Resolução no Terreno

FOV - *Field of View*

GNSS - *Global Navigation Sattelite System*

GOES - Geostationary Operational Environmental Satellite

HRVIR - High Resolution Visible Infrared

IBAMA – Instituto Brasileiro do Meio Ambiente

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IEF - Instituto Estadual de Florestas

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

IRMSS - Infrared Multispectral Scanner System

LANDSAT – Land Remote Sensing Satellite

LISA - Local Indicator for Spatial Autocorrelation

MECB - Missão Espacial Completa Brasileira

MODIS - Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer

NOAA - National Oceanic Atmospheric Administration

PMJP - Prefeitura Municipal de João Pessoa

PMPB - Polícia Militar da Paraíba

PREMFIRE - *Prevention and Mitigation of Forest Fires in Portugal*

PROARCO - Sistema de Monitoramento, Prevenção e Controle de Incêndios Florestais na Amazônia

SEDS/PB - Secretaria da Segurança e da Defesa Social da Paraíba

SIAM - Sistema Integrado de Informação Ambiental

SIG - Sistema de Informações Geográficas

SIRGAS – Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas

SPOT - *Système Pour l'Observation de la Terre*

TIN – *Triangular Irregular Network*

TM - *Thematic Map*

UFPR - Universidade Federal do Paraná

UR – Umidade Relativa do Ar

UTM - Universal Transverso de Mercator

WGS-84 – *World Geodetic System 1984*

1. INTRODUÇÃO

O fogo é um agente com vasta capacidade de alteração do ambiente, pois molda ecossistemas e as formas de vida em todo o mundo, desempenhando papel fundamental na história das civilizações. A humanidade evoluiu com o fogo e apesar do homem o ter dominado e aprendido a utilizá-lo de diversas maneiras, em certos aspectos, ele continua sendo um desafio (KOPROSKI, 2007).

Os incêndios são uma das mais importantes fontes de danos às florestas e que tem ocorrido também de modo criminoso, com o objetivo de se criar novas áreas para a agricultura e pecuária. Assim, o número de incêndios, bem como as áreas de queimadas tem aumentado progressivamente. Isso tem causado inúmeros danos e perdas irreparáveis do ponto de vista ecológico e econômico, causando sérias preocupações aos setores ambientais, como a emissão de carbono na atmosfera. A falta de conhecimento dificulta o estabelecimento de políticas adequadas de prevenção e combate aos incêndios, levando às catástrofes ambientais e prejudicando os esforços globais de conservação.

Os problemas ambientais decorrentes dos incêndios florestais alteram de maneira profunda a dinâmica do planeta através da modificação de seus ciclos e da destruição dos ecossistemas. Dessa maneira, torna-se necessário um planejamento de ações ao combate desses danos ambientais. O Brasil, que possui posição de destaque como grande poluidor e devastador, tem o homem como responsável por quase a totalidade das queimadas, sendo ele também protagonista das iniciativas de prevenção: queima controlada, modificação estrutural dos combustíveis e diversificação da massa florestal, com destaque para a educação ambiental que oferece o menor custo com benefícios em longo prazo (CLEMENTE, 2008).

Diversas formas de detecção de incêndios florestais podem ser utilizadas. Dependendo das características do local, principalmente na extensão da área a ser monitorada, pode se utilizar meios de detecção através de vigilância terrestre por postos e torres de observação, patrulhamento aéreo com aeronaves e monitoramento por imagens de satélites. O lançamento em 1972 do primeiro satélite *LANDSAT* possibilitou detectar alterações nas áreas florestais através do espaço. Desde então, as imagens termais e do infravermelho médio têm sido usadas na

detecção de incêndios e estudos de mapeamento, permitindo que áreas queimadas e não queimadas sejam detectadas através do contraste entre os gradientes térmicos (REMMEL e PERERA, 2001).

A rapidez e a eficiência na detecção e monitoramento dos incêndios são de fundamental importância para a viabilização do controle do fogo, redução dos custos nas operações de combate e atenuação dos danos. A determinação de áreas de risco pode ser útil na localização de base de apoio do corpo de bombeiros. Portanto, os métodos de identificação e monitoramento de incêndios são fundamentais para o planejamento e ação dos órgãos competentes, bem como para o dimensionamento dos seus efeitos, como é realizado hoje pelo INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, na metodologia atual, através do Sistema de Monitoramento, Prevenção e Controle de Incêndios Florestais na Amazônia – PROARCO monitora as ocorrências de incêndios para todos os estados brasileiros através de sensores espaciais. Como parte do esforço de monitorar e minimizar o fenômeno das queimadas em regiões florestais, o INPE vem desenvolvendo e aprimorando desde a década de 1980 este sistema operacional de detecção de queimadas. A partir de 1998 o trabalho passou a ser feito conjuntamente com o IBAMA – Instituto Brasileiro do Meio Ambiente, dando ênfase particular à Amazônia. Os dados são obtidos nas imagens termais dos satélites meteorológicos *NOAA (National Oceanic Atmospheric Administration)* quatro vezes ao dia, *GOES (Geostationary Operational Environmental Satellite)* oito vezes ao dia, e em seguida integrados a dois sistemas geográficos de informações (*Springweb-Queimadas* e *terralib-Queimadas*) que podem ser utilizados pela Internet. As informações são disponibilizadas operacionalmente aos usuários cerca de 20 minutos após as passagens dos satélites. Atualmente, o INPE oferece monitoramento em tempo real para os últimos dois dias dos resultados relevantes do monitoramento de focos de queima de vegetação em imagens de satélites, além de apresentar resultados em gráficos conforme a preferência espacial e temporal do usuário.

A partir de 2005, o monitoramento dos focos dos incêndios no estado de Minas Gerais foi disponibilizado na Internet no site do Sistema Integrado de Informação Ambiental (SIAM). Através da constituição, por meio do Decreto Estadual

44.043/05 (MINAS GERAIS, 2005), foi criado o Programa de Prevenção e Combate a Incêndios Florestais, denominado Força Tarefa Previncêndio, possibilitando ordenar ações a serem desenvolvidas isoladamente por cada instituição componente ou mesmo em conjunto, de forma a disciplinar os trabalhos e somar os esforços. No Instituto Estadual de Florestas (IEF), foi criada a “Base Força Tarefa Previncêndio” desde 2005, funcionando como um centro de monitoramento e combate aos incêndios florestais, monitorando as informações de focos de calor obtidas diariamente pelos satélites *MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer)*/TERRA, *MODIS/AQUA*, *GOES* e *NOAA*, disponibilizados pelo SIAM. A força tarefa funciona durante o período crítico de ocorrência de incêndios florestais no Estado que coincide com a época do ano de diminuição das chuvas, o que se dá normalmente entre 15 de junho a 15 de novembro de cada ano. Diversas ferramentas de geoprocessamento e sensoriamento remoto têm sido cada vez mais aplicados por diversos órgãos de monitoramento, pois se avaliou nitidamente a necessidade de visão espacial ampla para análise de eventos (focos de calor, material combustível, áreas queimadas).

Imagens TM (*Thematic Map*)/*LANDSAT*, imagens *CBERS* (atualmente desativado) e receptores *GNSS (Global Navigation Satellite System)* foram utilizados com intuito de avaliar a extensão de áreas queimadas a cada ano, além de levantar e georreferenciar todas as informações que possam auxiliar nos combates dos incêndios, como por exemplo, heliporto, ponto de abastecimentos, trilhas, etc. Assim, pode-se futuramente, definir o quanto o conjunto de dados levantados pelo monitoramento de queimadas e incêndios florestais em Minas Gerais tem representado em termos de áreas queimadas, o que auxiliará o IEF nas tomadas de decisões. Imagens apresentam retratos periódicos de aspectos geográficos, aumentando a capacidade de detectar modificações e atualizar banco de dados geográficos (CARVALHO e CÂMARA, 2002).

Porém, os exemplos de aplicações e programas supracitados realizam, basicamente, funções de detecção de incêndios. Alguns países europeus, após constatarem a necessidade de prevenir focos, elaboraram metodologias para a criação de um mapa de risco de incêndio florestal, os quais apontaram as áreas de

maior risco. Isso possibilitou a elaboração de um plano de prevenção mediante aos órgãos gestores, ou seja, a primeira etapa a ser seguida no âmbito de gerenciamento de incêndios foi impedir a primeira chama e não mais apenas detectá-la.

Atualmente, há diversos projetos e zoneamento de risco através das cartas de incêndios florestais, como o que é elaborado no projeto *PREMFIRE (Prevention and Mitigation of Forest Fires in Portugal)*, financiado pela Agência Espacial Européia. Este tem por objetivo estabelecer um sistema para prevenção de incêndios florestais em Portugal, disponibilizando uma cartografia de risco de incêndio florestal. No âmbito deste projeto, foi desenvolvida uma metodologia, baseada em imagens de satélite e informação auxiliar, utilizando uma abordagem que integra diversas variáveis, como o estado atual da vegetação e dados meteorológicos. Através de interpretação de imagens derivadas do *NOAA/AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer)*, é possível, por exemplo, avaliar se a vegetação está mais ou menos “verde”, fornecendo suporte para determinação do grau de inflamabilidade da área. A estrutura integra, além de cartografia de ocupação do solo atualizada, informações como a elevação, declive, exposição, distância às estradas e zonas urbanas.

Casos de pesquisas aplicadas e mais recentes são relatados em publicações da Elsevier pela revista *Forest Ecology and Management* do autor Oliveira *et al.* (2012), intitulado “*Modeling spatial patterns of fire occurrence in Mediterranean Europe using Multiple Regression and Random Forest*”, que aborda resultados da aplicação de dois métodos diferentes para identificar os principais fatores estruturais que explicam a probabilidade de ocorrência de incêndios à escala europeia. Outro trabalho de relevante importância é do autor Zahng *et al.* (2011) cujo título é “*Detection, Emission Estimation and Risk Prediction of Forest Fires in China Using Satellite Sensors and Simulation Models in the Past Three Decades—An Overview*” publicado pelo *International Journal of Environmental Research and Public Health*, onde os autores apresentam uma visão geral de uma estimativa das emissões e de previsão de risco de incêndios florestais na China com a utilização de sensores remotos e modelos de simulação nas três últimas décadas.

O Brasil também desfruta de pesquisas recentes na área de prevenção utilizando mapas de risco, como a que foi publicada no ano de 2008 pela revista Floresta, cujo título é “Zoneamento de Riscos de Incêndios Florestais para a Fazenda Experimental do Canguiri - Pinhais – PR”, tendo como autora a Dra. Luciene Ribeiro, pesquisadora da Universidade Federal do Paraná (UFPR). A pesquisa utilizou o auxílio de Sistemas de Informações Geográficas, onde foram produzidos mapas de riscos e posteriormente integrados por uma somatória em que todas as variáveis receberam o mesmo peso. A sobreposição dessas informações gerou o mapa de zoneamento de riscos de incêndios florestais da região. Em 2009, a mesma autora publicou sua tese de doutorado de título: “A Pressão Antrópica e os Riscos de Incêndios Florestais no Município de Novo Mundo, Amazônia Mato-Grossense”. Essa pesquisa contribuiu para a geração do nível de conhecimento da pressão antrópica sobre os riscos de incêndios florestais, detectando áreas suscetíveis ao fogo e propondo ações de mitigação dos riscos de incêndios florestais. Além disso, algo inédito que não foi encontrado em outras pesquisas é que a autora realizou visitas a campo para constatação de problemas ambientais que podem contribuir para a ocorrência de incêndios devido à pressão antrópica. Outra pesquisa de suma importância e bastante recente é a da autora Prudente (2010), que objetivou no uso de geotecnologias no mapeamento de risco de incêndio florestal no Parque Nacional da Chapada dos Veadeiros e em sua área de entorno.

1.1. Justificativa

Através de visita ao CIOP (Centro Integrado de Operações do estado da Paraíba), foi verificado através dos dados estatísticos, o alto índice de ocorrências de incêndios registradas pelo Corpo de Bombeiros no município de João Pessoa. E que a brigada de incêndios da instituição trabalha apenas no combate e controle das queimadas, uma vez de que o órgão gestor não possui planejamento estratégico voltado para a prevenção de incêndios.

Uma vez que a localização geográfica é importante atributo, as geotecnologias têm ocupado, nas últimas décadas, um importante espaço entre as ferramentas computacionais no tratamento de informações. A capacidade de coletar,

interpretar e gerar informação de forma eficaz é um dos requisitos mais importantes para a organização da sociedade, em que a agilidade e a consistência da gestão pública e ou privada é fator decisivo e de grande importância nas tomadas de decisões. Diversos órgãos têm encontrado no geoprocessamento respostas para inúmeros fatores, que antes eram inviáveis devido à grande demanda de dados para a solução acertada num tempo cada vez mais limitado.

Atualmente, a análise de riscos de incêndios é uma temática abordada na literatura relacionada à vulnerabilidade e riscos. Há diversos estudos para análise de risco de incêndios conforme citados anteriormente. No entanto, após uma refinada pesquisa no âmbito do estado da arte citados anteriormente, esses estudos foram utilizadas poucas variáveis nos modelos de predição e os mesmos não foram validados, sem apresentar confiabilidade estatística e nenhuma análise de dependência espacial. Portanto, essa pesquisa pretende apresentar que o estudo de padrões espaciais de riscos de incêndios pode contribuir significativamente para com as ações de prevenção de incêndios, trazendo uma nova visão sobre tais ações sendo possível avaliar e diagnosticar com clareza a classificação das áreas de risco de incêndios.

1.2. Objetivo Geral

A partir do uso de ferramentas de geoprocessamento, objetiva-se com essa pesquisa apoiar medidas de prevenção e controle de incêndios, gerando modelos válidos de predição de risco de incêndios aplicados ao município de João Pessoa – PB, abrangendo tanto o ambiente urbano como o rural.

1.3. Objetivos Específicos

- Diagnosticar e avaliar o estado de vulnerabilidade na área de estudo, no que diz respeito ao risco de incêndio;
- Compreender, através da comparação de modelos de predição, a lógica das variáveis envolvidas na aplicação dos modelos, estabelecendo critérios de ponderação dessas variáveis por meio da correlação, agregação e lógica *fuzzy*;

- Analisar a ocorrência de padrões espaciais de risco de incêndios no tocante a aglomeração, aleatoriedade ou dispersão;
- Validar os produtos gerados com dados reais de ocorrências de incêndios e verificar qual das modelos adotados se aproximou melhor da realidade na área de estudo.

1.4. Estrutura da Dissertação

Neste capítulo, capítulo 1, se apresenta a introdução, o estado da arte, a justificativa da pesquisa, bem como os objetivos geral e específicos a serem alcançados.

No capítulo 2 será abordada toda a fundamentação teórica que servirá de base de conhecimento para o desenvolvimento da metodologia.

No capítulo 3 se faz a abordagem com respeito à área de estudo, os recursos utilizados para a realização dessa pesquisa, bem como os materiais, dados e a apresentação de metodologias aqui utilizadas para a geração do modelo de predição de risco de incêndios.

No capítulo 4 serão mostrados os resultados, bem como a análise de cada uma das variáveis envolvidas no critério de ponderação, além dos resultados finais da produção dos mapas temáticos.

No capítulo 5, serão apresentadas as validações das metodologias propostas.

E por fim, no capítulo 6, serão apresentadas as conclusões e recomendações.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo será abordado todo conteúdo teórico que servirá como base para a aplicação da metodologia adotada nessa pesquisa.

2.1. Incêndios

De acordo com o com Artigo 1º, do Decreto nº 97.635, de 10 de abril de 1989, que regula o Artigo 27º do Código Florestal, Incêndio Florestal é fogo sem controle em qualquer forma de vegetação (BRASIL, 1989).

Os incêndios, casuais ou propositados, são causadores de grandes prejuízos, tanto no meio ambiente quanto ao próprio homem e as suas atividades econômicas. No período de 1983 a 1988 no Brasil, os incêndios destruíram uma área de 201.262 hectares de reflorestamento, que representa aproximadamente 154 milhões de dólares para o seu replantio, fora o prejuízo direto (AMBIENTE BRASIL, 2006).

Quando um pequeno foco não é controlado imediatamente, o incêndio é estabelecido e seu combate é dificultado por vários fatores, como: tamanho do fragmento; falta de recursos próprios de combate; demora na detecção; falta de acessos adequados, etc. Nesse contexto, a utilização de técnicas de prevenção de incêndios, bem como a realização de um planejamento estratégico de combate, são alternativas viáveis para redução das ocorrências (FERRAZ e VETORAZZI, 2003).

Há milhares de anos o homem vem sofrendo com as conseqüências do impacto ambiental resultante de incêndios florestais, incluindo suas próprias ações. O uso de técnicas de interpretação de imagens que mostrem o efeito nefasto do fogo contra a sustentabilidade ambiental proporciona a criação de propostas de educação ambiental palpável e de fácil visualização ao cidadão, ou mesmo para os meios de comunicação (CORREIA, 2007).

2.1.1. Agentes causadores

De acordo com Ambiente Brasil (2006), as causas dos incêndios podem variar bastante de região para região do país de acordo com diferentes aspectos, tais como condições climáticas e níveis de atividades agrícolas e florestais, e

proximidade de determinadas áreas como povoações, margens de rodovias, estradas de ferro, pastagens, áreas agrícolas.

Fatores tais como o clima e o tipo físico do material combustível variam ao longo do tempo e do espaço e, associados à combustão e à propagação do fogo se tornam favoráveis ao espalhamento das chamas, o que provoca a ocorrência de incêndios. Entretanto, não basta que os fatores diretamente associados à ocorrência dos incêndios florestais estejam favoráveis, pois para que um incêndio ocorra é necessária a chama inicial para dar início ao processo da combustão (NOGUEIRA, 2002).

No Brasil, segundo o Corpo de Bombeiros Militar de Roraima (2006) costuma-se agrupar as diversas causas de incêndios em oito categorias ou grupos, devido à variação muito grande de causas de incêndios:

a) Raios: são os incêndios causados direta ou indiretamente por descargas elétricas da atmosfera. Único grupo que não é de responsabilidade humana.

b) Incendiários: incêndios provocados intencionalmente por pessoas em propriedades alheias, sejam por vingança ou desequilíbrio mental.

c) Queimadas para limpeza: incêndios originados do uso de fogo para limpeza de terrenos, para fins florestais, agrícolas ou pecuários, que por negligência ou descuido tenha escapado ao controle e atingido áreas florestais.

d) Fumantes: incêndios provocados por fósforos ou pontas de cigarro acesas, as possibilidades são ínfimas, mas, ocorrem.

e) Operações florestais: incêndios provocados por trabalhadores florestais em atividades na floresta, exceto os causados pelo ato de fumar.

f) Fogos de recreação: incêndios causados por pessoas que utilizam a floresta como local de recreação, tais como pescadores e caçadores.

g) Estradas de ferro: incêndios causados direta ou indiretamente pelas atividades de ferrovias.

h) Diversos: incêndios cujas causas, apesar de não conhecidas, não se enquadram em nenhum dos sete grupos anteriores. São causas pouco freqüentes,

que ocorrem esporadicamente, não justificando por isto uma classificação especial. Podem-se citar como exemplos a queda de um avião, ou o incêndio de um automóvel ou ainda os incêndios causados por balões de festas juninas.

2.2. Geotecnologias no Combate a Incêndios

O objetivo principal do Geoprocessamento é fornecer ferramentas computacionais para que os diferentes analistas determinem as evoluções espacial e temporal de um fenômeno geográfico e as inter-relações entre esses diferentes fenômenos (PEREIRA, 2005).

O ambiente do geoprocessamento, considerando o conceito *strictu sensu*, integra profissionais das mais variadas formações (aspecto multi e interdisciplinar), recursos diversificados, visando à resposta adequada às necessidades de urbanistas, geógrafos, geólogos, engenheiros, empresários, agentes de decisão na administração das cidades e do meio ambiente.

A característica do Sistema de Informação Geográfica é a referência espacial ou geográfica nos dados. Essa característica também é o elo entre as diversas informações. Estas estão agrupadas em níveis ou *layers* de um mesmo assunto de interesse. Por exemplo, sobre um mapa básico de uma cidade digitalizado se constroem graficamente ou se localizam em outro nível de informação, a rede elétrica, a rede de água ou esgotos, a rede de escolas públicas, de postos de assistência médico-hospitalar, entre outros. Este conceito é amplamente utilizado nessa pesquisa.

Nesse contexto, o termo Geoprocessamento denota a disciplina do conhecimento que utiliza técnicas matemáticas e computacionais para o tratamento da informação geográfica e que vem influenciando de maneira crescente as áreas de Cartografia, Análise de Recursos Naturais, Transportes, Comunicações, Energia e Planejamento Urbano e Regional (CÂMARA e MOREIRA, 2003 *apud* ASSAD, 1998). A principal ferramenta computacional para o Geoprocessamento, denominado Sistema de Informação Geográfica - SIG, permite realizar análises complexas, ao integrar dados de diversas fontes e ao criar bancos de dados

georreferenciados. Tornam ainda possível automatizar a produção de documentos cartográficos (CÂMARA, 2004).

No combate aos incêndios o geoprocessamento tem sido utilizado amplamente. Vários exemplos de aplicações podem ser apresentados, tais como: geração de mapas temáticos estratégicos de combate ao incêndio, com a localização de rede viária, hidrografia, centros urbanos e também na obtenção de cartas de risco de incêndios, mostrando as áreas com maiores ou menores probabilidades de ocorrência de incêndios (VETTORAZZI, 2000, SOARES, 1985, RIBEIRO *et al*, 2008, PRUDENTE, 2010, PIERCE *et. al*, 2012, OLIVEIRA *et. al*, 2012, KOPROSKI, 2007, 2008, 2011, OLIVEIRA, 2002, IGEO, 2012, CORREIA, 2007, CHUVIECO e CONGALTON, 1989, CHUVIECO, SALAS e RODRIGUES, 1999, CHUVIECO, ALLGOWER e SALAS, 2003, 2010, CHOU *et. al*, 2010, CARRÃO, FREIRE e NUNES, 2002).

No entanto, é de grande importância para que se tenham respostas adequadas e tomadas de decisão coerentes com os objetivos à correta estruturação da informação geográfica.

2.3. Sistema de Informações Geográficas – SIG

O SIG (Sistema de Informações Geográficas) constitui o mais complexo processo pertencente à tecnologia de Geoprocessamento (BARCELOS, 2006). Estes sistemas informatizados são destinados à coleta, armazenamento, análise e tratamento de dados espaciais, alfanuméricos e na geração do cruzamento destes dados. Seu principal mérito é permitir consultas para tomada de decisão. A Figura 1 indica o relacionamento dos principais componentes ou subsistemas de um SIG.

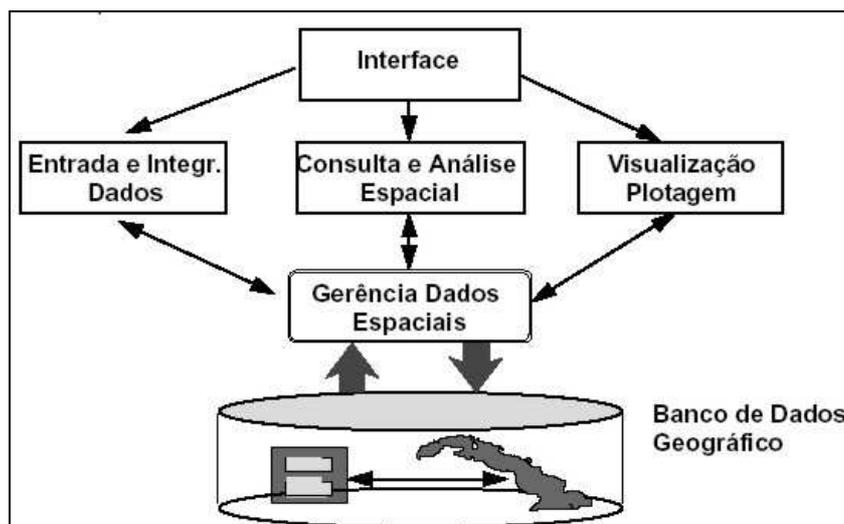


Figura 1 – Arquitetura de um SIG
Fonte: Câmara (2007)

Principais características de SIG, de acordo com Câmara (2007):

- Inserir e integrar, numa única base de dados, informações espaciais provenientes de dados cartográficos, dados censitários e cadastro urbano e rural, imagens de satélite, redes e modelos numéricos de terreno;
- Oferecer mecanismos para combinar as várias informações, através de algoritmos de manipulação e análise, bem como para consultar, recuperar, visualizar e *plotar* o conteúdo da base de dados georreferenciados.

Principais características de SIG, de acordo com Burrough (2005):

- Possui um conjunto de poderosas ferramentas para coletar, armazenar, recuperar, transformar e exibir dados espaciais do mundo real com um objetivo particular;
- Dispõe de um sistema de banco de dados em que a maioria dos dados são espacialmente indexados e sobre o qual um conjunto de procedimentos são executados a fim de responder as consultas sobre as entidades espaciais no banco de dados;

2.4. Representação Espacial de Dados: Modelos Vetoriais e Matriciais

A Cartografia Digital tem uma visão do mundo real discriminada em forma de camadas, na qual cada camada representa um aspecto da realidade (BURROUGH, 2005). Assim, as feições do mundo real de caráter geográfico, para fins de representação na Cartografia Digital, são individualizadas e armazenadas separadamente em níveis lógicos.

Os dados georreferenciados podem ter representação gráfica (pontos, linhas, polígonos e matriz), bem como numérica ou alfanumérica (letras e números). Estes dados detalham e expõem fenômenos geográficos. O dado georreferenciado descreve a localização do fenômeno geográfico ligado a uma posição sobre ou sob a superfície da Terra que deverão ser traduzidos ou codificados para uma estrutura de dados geográficos. (LISBOA FILHO e IOCHPE, 1999, LISBOA FILHO, 2012).

Resumidamente, o armazenamento de dados espaciais pode ser descrito da seguinte forma: Dados Vetoriais e Dados Raster. Segundo Burrough (2005), o dado vetorial em um mapa digital é constituído por representações gráficas: todas as feições são descritas por pontos, linhas e polígonos, representados em um sistema de coordenadas. Para que o SIG reconheça as feições representadas por pontos, linhas e polígonos são necessárias relações topológicas. Topologia é um procedimento matemático para definir relações espaciais, tais como conectividade, adjacência e contiguidade. As vantagens das relações topológicas são: armazenar dados vetoriais mais eficientemente, processar um maior número de dados, permitirem a conexão de linhas em rede e combinar polígonos adjacentes e sobrepor feições geográficas.

Segundo Centeno (2004), os dados raster são representados por uma matriz (m x n), linha e coluna, composta por células ou pixels de dimensões variáveis. Cada célula está numa posição (m x n) na matriz e poderá estar associada a um atributo ou dado descritivo. A resolução do dado raster está associada ao tamanho da célula: quanto menor a célula melhor a resolução ou qualidade espacial da imagem.

2.5. Informação Geográfica

A informação geográfica apresenta uma natureza dupla: um dado geográfico possui uma localização geográfica (expressa como coordenadas em um espaço geográfico) e atributos descritivos (que podem ser representados num banco de dados convencional). Como é mostrado na Figura 2.

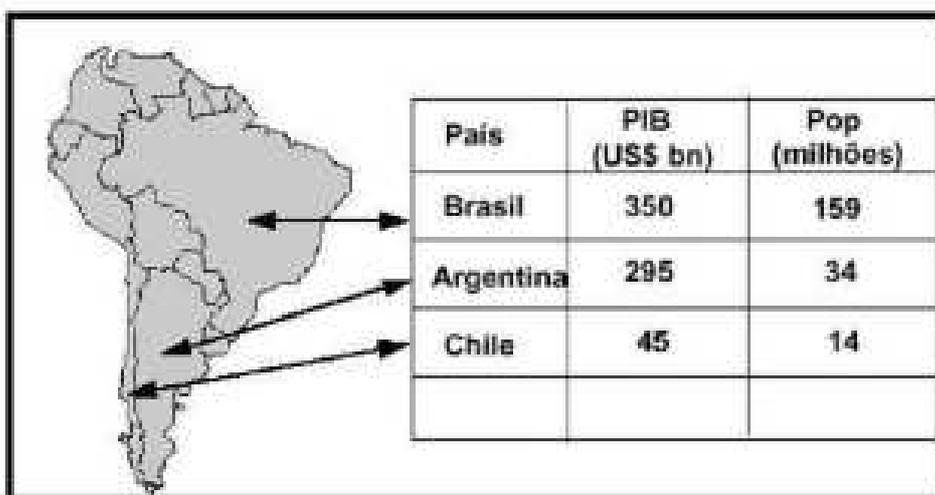


Figura 2 – Relação entre Dado Geográfico e Atributo Descritivo
Fonte: Câmara (2004)

Segundo Câmara (2004), os diferentes fenômenos geográficos ao se distribuírem sobre a superfície da Terra, estabelecem padrões de ocupação. Ao representar tais fenômenos, o Geoprocessamento procura determinar e esquematizar os mecanismos implícitos e explícitos de inter-relação entre eles. Estes padrões de inter-relação podem assumir diferentes formas:

a) **Correlação espacial:** Um fenômeno espacial está relacionado com o entorno de forma tão mais intensa, quanto maior for à proximidade de localização. Diz-se informalmente que “coisas próximas são parecidas”. Em resumo, é a relação de uma característica com ela mesma, através do espaço. A maior parte das técnicas de Análise Espacial (BAILEY e GATTREL, 1995a, 1995b) está baseada no conceito de proximidade. Medidas como o variograma e os indicadores locais e globais de autocorrelação espacial (Moran) fazem uso implícito da Lei de Tobler: “No mundo, todas as coisas se parecem; mas coisas mais próximas são mais parecidas que aquelas mais distantes.” (TOBLER, 1979). A compressão do espaço-tempo

subverte esta lógica previsível de organização do espaço e estabelece um substancial desafio conceitual para sua representação computacional. Do ponto de vista da Análise Geográfica, os conceitos de Harvey (1969, 1988, 1989) implicam que a forma tradicional de expressar as relações espaciais entre entidades geográficas (propriedades como adjacência e distância euclidiana) capturam apenas efeitos locais, e não permitem representar a dinâmica dos fenômenos sociais e econômicos de nosso tempo. Esse assunto será abordado com mais detalhes no item 2.6.1 devido a essa técnica ter sido amplamente utilizada nessa pesquisa.

b) Correlação temática: As características de uma região geográfica são moldadas por um conjunto de fatores. Assim, o clima, as formações geológicas, o relevo, o solo, a vegetação formam uma totalidade inter-relacionada. Deste modo, podem-se traçar pontos de correspondência entre o relevo e o solo ou o solo e a vegetação de uma região. É a relação de uma característica com outras, através do espaço (CÂMARA, 2004).

c) Correlação temporal: A fisionomia da Terra está em constante transformação, em ciclos variáveis para cada fenômeno. Cada paisagem ostenta as marcas de um passado mais ou menos remoto, apagado ou modificado de maneira desigual, mas sempre presente. É a relação de uma característica espacial com ela mesma, através do tempo (PEREIRA, 2005). Exemplo: crescimento de área de desmatamento na Amazônia, através das décadas.

d) Correlação topológica: De particular importância na representação computacional, as relações topológicas como adjacência, pertinência e intersecção, permitem estabelecer os relacionamentos entre os objetos geográficos que são invariantes à rotação, à translação e à escala (CÂMARA, 2004). É a própria relação puramente espacial, quem é vizinho de quem, qual estrada passa por quais municípios, no interior de que município está localizado tal fazenda, etc. Através da correlação topológica, pode-se visualizar, por exemplo, quais as quadras pertencentes à determinada avenida ou em quantos bairros possuem postos de saúde.

2.6. Análise Espacial

Bailey (1995) *apud* Rocha (2004) define a análise espacial como uma ferramenta que possibilita manipular dados espaciais de diferentes formas e extrair conhecimento adicional como resposta. A análise espacial é composta de funções básicas como consulta de informações espaciais dentro de áreas de interesse, manipulação de mapas e a produção de alguns breves sumários estatísticos, além de incorporar também funções como a investigação de padrões e relacionamentos dos dados, buscando assim, um melhor entendimento do fenômeno e a possibilidade de se fazer predições. Partindo desse conceito, é possível listar as análises espaciais de acordo com as suas funções, como é citado a seguir (LISBOA FILHO e IOCHPE, 1999, LISBOA FILHO, 2001):

- Recuperação de dados - são funções que envolvem busca seletiva, manipulação e geração de resultados, sem alterar os valores armazenados no banco de dados. Um exemplo seria a geração de um mapa urbano mostrando a localização das residências com valor nominal acima de um determinado valor.
- Funções de medidas - são executadas sobre os objetos espaciais (pontos, linhas, polígonos e conjunto de células) e incluem funções como distância entre pontos, comprimento de linhas, perímetro de áreas, etc.
- Funções de proximidade - funções que permitem análise de proximidade e estão associadas à geração de zonas de *buffer*. Uma zona de *buffer* é uma área de extensão regular, que é gerada ao redor dos objetos espaciais.
- Funções de interpolação - interpolação é o método estatístico no qual valores não definidos em uma localização podem ser calculados com base em estimativas feitas a partir de valores conhecidos em localizações vizinhas.
- Funções matemáticas como regressão polinomial, médias ponderadas, entre outras, são aplicadas de acordo com a variável que está sendo analisada.

- Geração de contorno - linhas de contorno (ou isolinhas) são usadas para representar superfícies, onde cada linha é formada por pontos de mesmo valor. Funções de geração de linhas de contorno são usadas para construir os mapas topográficos a partir de um conjunto de pontos conhecidos.
- Funções de sobreposição de camadas (*overlay*) - relaciona informações de duas ou mais camadas de dados. Essas funções podem executar operações aritméticas ou lógicas entre os valores das células localizadas em coordenadas idênticas nas diversas camadas envolvidas.

2.6.1. Análise Geoestatística: Autocorrelação Espacial

Consiste basicamente em uma etapa da análise exploratória que objetiva em identificar a estrutura de correlação espacial que melhor descreva os dados (CÂMARA *et. al*, 2004). O princípio básico é estimar a magnitude da autocorrelação espacial entre áreas. As ferramentas que podem ser utilizadas para tal análise são o índice global de Moran, o índice de Geary e o variograma. O índice global de Moran é amplamente utilizado nessa pesquisa.

Câmara *et. al* (2004) afirma que os indicadores globais de autocorrelação espacial, como o índice de Moran, fornecem um único valor como medida da associação espacial para todo o conjunto de dados, o que é útil na caracterização da região de estudo como um todo. Quando lidamos com um grande número de áreas, é muito provável que ocorram diferentes regimes de associação espacial e que apareçam máximos locais de autocorrelação espacial, onde a dependência espacial é ainda mais pronunciada. De forma geral, o índice global de Moran presta-se a um teste cuja hipótese nula é de independência espacial. Neste caso, seu valor seria zero. Valores positivos entre zero e 1 indicam uma correlação direta, já os valores negativos (entre zero e -1) não indicam correlação espacial. Tendo em vista o valor do índice, é de suma relevância assegurar sua validade estatística. Para estabelecer o nível de significância do índice (podendo utilizar-se do p-valor ou *p-value*), é preciso agregar a este uma distribuição estatística, sendo a mais utilizada a relação estatística de teste de distribuição normal. No caso do índice de Moran, os valores significantes são considerados acima de 95% (p-valor < 0,05).

Para localizar aglomerados e quantificar estes regimes espaciais que dependem da definição de uma vizinhança adotada, pode-se utilizar também os índices locais de autocorrelação espacial, também conhecido como LISA (*Local Indicator for Spatial Autocorrelation*) e o diagrama de espalhamento de Moran. Entre os LISAs mais utilizados, está o Índice Local de Moran que pode ser entendido através da equação abaixo:

$$I_i(d) = (X_i - X_m) \sum_j W_{ij} \frac{(d)(X_j - X_m)}{s^2} \quad pa \quad (1)$$

Onde:

$W_{ij}(d)$ = ponderador na matriz de vizinhança W para as localizações i e j ;

d = medida de distância estabelecida pelo modelo de vizinhança;

X_i e X_j = valores encontrados na posição i e suas vizinhanças js ;

X_m = média amostral global;

s^2 = variância amostral global.

A matriz de vizinhança, ou matriz de proximidade espacial, representa uma medida de proximidade entre duas áreas. Segundo Ramos (2002), algumas possibilidades de formalizações espaço-temporal para definir essa vizinhança foram discutidas e a forma mais utilizada é a referente à topologia. Portanto, utiliza-se uma matriz binária, onde os valores 1 são associados às células correspondentes às áreas contíguas.

O ponderador $w_{ij}(d)$ é obtido através da normalização da matriz W , em que cada elemento de uma linha i qualquer, com valor original igual a 1, é dividido pela quantidade de elementos não nulos presentes na mesma linha. Se a matriz de proximidade representar topologia, todos os valores não nulos serão iguais a 1 (NEVES *et al*, 2000).

Portanto, a equação 1 também pode ser representada na maneira da equação 2:

$$I(d) = z_i \cdot Wz_i / s^2 \quad (2)$$

Onde:

$Z_i = (X_i - X_m)$ que é o valor do desvio do atributo no polígono i em relação à média;

$W_{zi} = \sum_j w_{ij} (d) (x_j - x_m)$ que é o valor médio dos desvios dos objetos vizinhos a i ;

s^2 é a variância amostral global.

Outra maneira de visualizar a dependência espacial é através do Diagrama de Espalhamento de Moran que nada mais é do que um gráfico de regressão linear simples (Figura 3) onde são plotados os valores dos desvios dos atributos (Z_i) em relação à média dos desvios (W_{zi}) são associados ao eixo X e ao eixo Y, respectivamente.

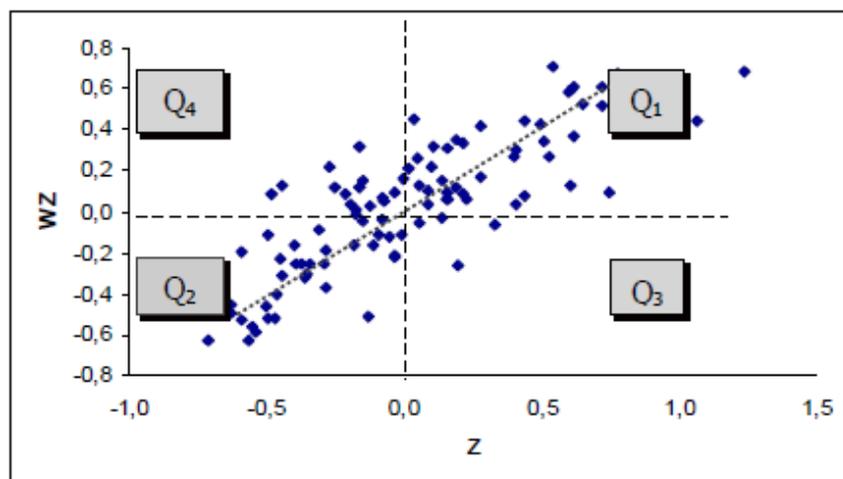


Figura 3 – Diagrama de Espalhamento de Moran
Fonte: Câmara (2004)

Percebe-se na figura 3 que os pares presentes no quadrante Q1 revelam o padrão alto-alto (HH), ou seja, valores altos de Z_i e W_{zi} . O quadrante Q2 indica um padrão baixo-baixo (LL), Q3 indica padrão alto-baixo (HL) e Q4 indica padrão baixo-alto (LH). Portanto, os valores de Q1 e Q2 indicam pontos de associação espacial positiva, no sentido de que uma localização possui vizinhos com valores semelhantes. Já os quadrantes Q3 e Q4 demonstram pontos de associação espacial negativa, no sentido de que uma localização possui vizinhos com valores diferentes (CÂMARA, 2004).

O diagrama de espalhamento de Moran ratifica os resultados apresentados, onde indica que o índice global de Moran apresenta valores estatisticamente significativos. O diagrama não mede diretamente a correlação espacial, mas aponta padrões desta correlação.

Para uma abordagem mais aprofundada nesse assunto, recomenda-se a leitura dos trabalhos de Anselin (1996, 1998), Ramos (2002), Genovez (2002) e Feitosa (2005).

2.6.2. Teste Qui-quadrado e Coeficiente de Determinação

Segundo Pereira (2004) uma forma de análise que se apresenta para estabelecer a existência de associação é o teste Qui-quadrado. É interessante observar como pode ser mensurada a associação entre duas variáveis. O teste indica a medida que os valores observados se desviam do valor esperado, caso as duas variáveis não estivessem correlacionadas.

Quanto maior o Qui-quadrado, mais significativa é a relação entre a variável dependente e a variável independente (MAGALHÃES e LIMA, 2008).

Para tanto, pode-se utilizar uma medida de associação Qui-Quadrado (denotado por χ^2) para uma tabela de dupla entrada. Esta (de modo geral) é dada pela equação:

$$\chi^2 = \sum_{i,j} \frac{(O_{ij} - E_{ij})^2}{E_{ij}} \quad (3)$$

Onde:

O_{ij} = frequência observada

E_{ij} = frequência esperada

Observando-se a expressão acima, pode-se perceber que esta encontra base na distância entre as informações observadas e as esperadas, representadas pelas suas respectivas frequências.

De acordo com Pereira (2004), haverá associação quando as distâncias estiverem com grandes valores, ou seja, quando houver discrepâncias que levem a acreditar que haja associação entre as variáveis.

O coeficiente de determinação (R^2) indica quanto da variação total é comum aos elementos que constituem os pares analisados. Assim, a qualidade da regressão é indicada por este coeficiente (BUSSAB e MORETTIN, 1987).

O R^2 varia entre 0 e 1, indicando, em percentagem, o quanto o modelo consegue explicar os valores observados. Quanto maior o R^2 , mais explicativo é modelo, melhor ele se ajusta à amostra. Por exemplo, se o R^2 de um modelo é 0,87456, isto significa que 87,45% da variável dependente consegue ser explicada pelos regressores presentes no modelo.

Partindo de y_i que é o valor observado e \bar{y} que é a média das observações, a equação 4 ilustra a Soma Total dos Quadrados (SQ_{tot}), ou seja, a soma dos quadrados das diferenças entre a média e cada valor observado (FERREIRA e OLIVEIRA, 2008).

$$SQ_{tot} = \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2 \quad (4)$$

Onde:

n = número de observações

A Soma dos Quadrados (SQ_{exp}) indica a diferença entre a média das observações e o valor estimado para cada observação, e soma os respectivos quadrados. Quanto menor for a diferença, maior poder explicativo detém o modelo. Conforme a equação 5 a seguir (FERREIRA e OLIVEIRA, 2008).

$$SQ_{exp} = \sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - \bar{y})^2 \quad (5)$$

Onde:

\hat{y}_i = valor estimado de y_i

A parte que não é explicada pelo modelo é calculada pela soma dos quadrados dos resíduos (SQ_{res}), cuja equação é ilustrada a seguir (FERREIRA e OLIVEIRA, 2008).

$$SQ_{res} = \sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - y_i)^2 \quad (6)$$

Então, sabendo que $SQ_{tot} = SQ_{exp} + SQ_{res}$ e normalizando essa equação, temos a equação final que estabelece o coeficiente de determinação, demonstrada a seguir (FERREIRA e OLIVEIRA, 2008).

$$R^2 = \frac{SQ_{exp}}{SQ_{tot}} = 1 - \frac{SQ_{res}}{SQ_{tot}} \quad (7)$$

2.7. Modelos Existentes

Nesta etapa serão relacionados os pesos e coeficientes pertinentes às metodologias utilizadas por Ribeiro *et. al* (2008), Chuvieco *et. al* (2010) e modelagem do próprio autor utilizando a lógica *fuzzy*.

No entanto, antes de se aprofundar nas metodologias, se faz uma fundamentação teórica de fatores que influenciam no risco de incêndio, como é o caso do uso e ocupação do solo, da rede viária, da declividade, da densidade demográfica e da hidrografia para a metodologia proposta por Ribeiro *et. al* (2008); da vegetação, da declividade, da orientação das encostas, da proximidade com estradas e da elevação para a metodologia proposta por Chuvieco *et. al* (2010); e do uso e ocupação do solo, da pluviometria, da densidade demográfica, da declividade, da rede viária, da hidrografia e dos aglomerados subnormais para a metodologia proposta pelo próprio autor.

A escolha das metodologias de Ribeiro *et. al* (2008) e Chuvieco *et. al* (2010) se deu em função de serem os estudos mais recentes desenvolvidos na área de geração de mapas de risco de incêndio no Brasil e no exterior, respectivamente.

Escolheu-se a modelagem por lógica *fuzzy* pelo fato de que as metodologias citadas anteriormente caracterizam e classificam as classes como limites rígidos entre elas. Porém na lógica *fuzzy*, possibilita trabalhar com valores que não têm limites rígidos definidos entre as classes.

2.7.1. Metodologia Proposta por Ribeiro *et. al* (2008)

2.7.1.1. Uso e Ocupação do Solo

De acordo com a metodologia proposta por Ribeiro *et. al* (2008), o mapa de uso e ocupação do solo avalia o peso da contribuição da cobertura vegetal predominante na região para o risco potencial de incêndio. Para tanto, é necessária a classificação das áreas cobertas por vegetação de acordo com as espécies, como também a avaliação do perímetro urbano e a existência de recursos hídricos na região, para a identificação de riscos pelos quais os sistemas estão sujeitos. A tabela de ponderação desse critério é composta por quatro classes de risco, como ilustra a Tabela 1 a seguir.

Tabela 1 – Classificação do risco segundo o uso do solo

Classes de Risco	Uso do Solo	Pesos
Baixo	Hidrografia	1
Moderado	Vegetação	2
Alto	Área Urbana	3
Muito Alto	Parque	4

Fonte: Ribeiro *et. al* (2008)

Os pesos atribuídos ao uso do solo foram definidos com base no potencial de riscos de cada tipo de uso. A hidrografia não possui perigo de incêndio, exceto as ocasiões especiais como atividades de recreação a margens dos rios, por exemplo. A vegetação apresenta riscos iminentes de incêndios por formação de clareiras oriunda da retirada de madeira, construção de estradas em seu interior e proximidade com a vizinhança - fazendas e assentamentos, cuja principal atividade

e a pastagem, logo, o uso do fogo (RIBEIRO *et. al*, 2008). A área urbana concentra-se atividades diversas da pressão antrópica caracterizando um risco alto de incêndio, e as áreas de parque incide em risco extremo, devido a alta concentração de vegetação densa, além de realização de atividades que se possa utilizar o fogo.

2.7.1.2. Rede Viária

A proximidade às estradas principais e caminhos agrícolas e florestais são dois fatores que interferem no perigo de incêndio florestal, pois grande número de incêndios é provocado por descuido ou desleixo (e mesmo intencionais) iniciam-se perto das vias de comunicação confirmando que a proximidade a uma estrada pode aumentar o potencial. (ALMEIDA *et. al* 1995).

A rede viária apresenta-se como um dos elementos a ser considerado na problemática da prevenção e combate a incêndios florestais, pois permite visibilidade as pessoas que circulam nas vias, permitem acesso às viaturas de combate e pode também funcionar como corta fogos.

O acesso de pessoas e veículos causa risco de incêndio por vários fatores, como incêndios criminosos, prática de cultos religiosos, cigarros e práticas de pequenas fogueiras, entre outras ocorrências (FERRAZ e VETORAZZI, 2003).

O raio de influência definido foi de 50 m a partir do eixo de logradouros. Esse valor foi considerado devido à malha viária possuir tráfego contínuo. As áreas delimitadas pelos raios de influência foram consideradas sob risco pelo potencial de ignição de incêndios próximos à estrada. Portanto, as classes de riscos avaliadas nesse critério são ilustradas na tabela a seguir.

Tabela 2 – Classificação do risco segundo a Rede Viária

Classes	Risco	Pesos
Sob Influência	Sim	1
Sem Influência	Não	0

Fonte: Ribeiro *et. al* (2008)

2.7.1.3. Declividade

A declividade influencia também no comportamento do fogo, sendo que em aclives o fogo se propaga muito mais rapidamente do que em declives, pois o vento é mais forte nos aclives, particularmente os ventos convectivos, quando os aclives são bem acentuados (RIBEIRO *et. al*, 2008).

Quanto mais inclinado for o terreno mais se dobram as chamas no sentido da propagação. Por esse motivo, o declive exerce grande influência no desenvolvimento das colunas de convecção, afetando, deste modo, a velocidade de propagação. Um aclive acentuado tem tendência a favorecer a propagação do fogo (dependendo da direção dos ventos), quer seja pela aproximação dos combustíveis das chamas, devido ao preaquecimento favorecido pela continuidade vertical dos combustíveis, devido à presença de fortes ventos ascendentes já que as depressões com grandes declives dão origem a ventos ascendentes intensos, ou por proporcionar o desenvolvimento rápido de uma corrente de chamas (BOTELHO, 1992). Segundo Soares e Batista (2007), um incêndio se propagando em um aclive acentuado se assemelha a um incêndio se propagando no plano, sob efeito de forte vento, sendo que à medida que o grau de inclinação aumenta a velocidade de propagação também aumenta. De acordo com o exposto, a tabela a seguir, exemplifica o modelo de ponderação dessa variável.

Tabela 3 – Classificação do risco segundo a Declividade

Declividade (%)	Risco	Pesos
Até 15	Baixo	1
16 - 25	Moderado	2
26 - 35	Alto	3
36 - 45	Muito Alto	4
≥ 46	Extremo	5

Fonte: Ribeiro *et. al* (2008)

2.7.1.4. Densidade Demográfica

Os procedimentos para elaboração do critério baseiam-se em primeiro lugar no cálculo da densidade demográfica da região através dos setores censitários e a ponderação dessa variável. Esse parâmetro considera que uma elevada densidade

populacional irá promover o aumento do risco de incêndio florestal devido à possibilidade de descuidos (em zonas de lazer) ou intencionalmente (fogo posto).

Considera-se também, que a ausência de população pode se caracterizar também como um fator que potencializa o risco de incêndio, podendo estar associado ao abandono da propriedade (ALMEIDA *et. al* 1995). Por outro lado, o vazio populacional pode inibir o surgimento de novas chamas. Para a ponderação desse critério, usa-se a tabela de pesos abaixo, segundo a metodologia proposta.

Tabela 4 – Classificação do risco segundo a Densidade Demográfica

Densidade (hab/Km ²)	Riscos	Pesos
Até 250	Baixo	1
Entre 250 e 1500	Moderado	2
Acima 1500	Alto	3

Fonte: Ribeiro *et. al* (2008)

2.7.1.5. Hidrografia

A proximidade com corpos de água pode ser considerada tanto positiva como negativa. Em termos positivos se baseia no fato da hidrografia, em geral, servir como barreira à propagação do fogo. Já em termos negativos quando recebem visitação humana, seja para fins de recreação, pesca ou realização de rituais religiosos (geralmente, a causa de muitos incêndios florestais iniciados em margens de rios é decorrente desse tipo de visitante).

As áreas delimitadas pelos raios de influência de 50 m (o que foi definido nessa metodologia) são consideradas como de risco, devido à maior proximidade dos corpos de água, enquanto as demais são consideradas sem risco, como ilustra a tabela de ponderação a seguir:

Tabela 5 – Classificação do risco segundo a Hidrografia

Classes	Risco	Pesos
Sob Influência	Sim	1
Sem Influência	Não	0

Fonte: Ribeiro *et. al* (2008)

2.7.1.6. Modelo de Ponderação proposto por Ribeiro *et. al* (2008)

A metodologia proposta por Ribeiro *et. al* (2008) baseia-se na avaliação multicritério, onde os fatores de análise deverão ser representativos de acordo com as variáveis que poderão contribuir para o aumento do risco de incêndio, devendo ser independentes entre si. Após a escolha dos critérios representativos das várias vertentes do problema, estes são quantificados e qualificados de acordo com os seus atributos. Assim, cada atributo deve quantificar o desempenho de determinado critério de acordo com o objetivo, que neste caso é a determinação do potencial risco de incêndio florestal numa determinada região geográfica. Os critérios selecionados são: ocupação do solo, rede viária, declividade, densidade demográfica e hidrografia. As ponderações dadas a cada critério traduzem os juízos de valor de cada mapa sobre o grau de importância das variáveis.

A técnica utilizada para a agregação dos critérios designa-se na soma dos mesmos e em seguida procede-se ao somatório dos critérios, expressa pela equação 7. De acordo com essa agregação é que pode-se quantificar o risco em: Nulo, Baixo, Moderado, Alto, Muito Alto e Extremo. A Tabela 6 ilustra as classes de pesos de acordo com as potencialidades.

$$RISCO = US + RV + DV + DD + HD \quad (7)$$

Em que:

US: coeficiente de risco segundo o Uso do Solo;

RV: coeficiente de risco segundo a Rede Viária;

DV: coeficiente de risco segundo a Declividade;

DD: coeficiente de risco segundo a Densidade Demográfica;

HD: coeficiente de risco segundo a Hidrografia.

Tabela 6 – Classes de risco de incêndios segundo metodologia proposta

Classes de Pesos	Classes de Riscos
0 - 3	Nulo
4 - 8	Baixo
9 - 12	Moderado
13 - 16	Alto
17 - 20	Muito Alto
21 - 22	Extremo

Fonte: Ribeiro *et. al* (2008)

2.7.2. Metodologia proposta por Chuvieco *et. al* (2010)

Nesta segunda metodologia utilizam-se técnicas de Sensoriamento Remoto e dados vetoriais para o mapeamento de riscos de incêndios objetivando apoiar medidas de prevenção e controle de incêndios florestais.

De acordo com a metodologia proposta, para cada nível de informação além de se atribuir o peso, recebe um coeficiente de 0, 1 e 2 com base em um *ranking* de risco alto, médio e baixo, respectivamente. Portanto, quanto menor o índice, maior o risco de incêndio na determinada área. E por último, realiza-se o cruzamento das informações para a criação do mapa de risco de incêndios.

2.7.2.1. Vegetação

A vegetação, dependendo da estrutura, espaçamento e senescência, é um dos principais fatores que influenciam a propagação de um incêndio florestal. Nesse método, todo tipo de vegetação tem o mesmo peso. Portanto, a classe de peso tem valor 100 e coeficiente 1 (risco médio).

2.7.2.2. Declividade

Os dados topográficos também influenciam no risco de incêndio. Entre eles, a declividade é considerada um fator crítico por ter um efeito importante na supressão do fogo. O mapa de declividade apresenta peso 30 e coeficientes: 2 (baixo: 0% a 12%), 1 (médio: 13% a 40%) e 0 (alto: acima de 41%), conforme Tabela 7.

Tabela 7 – Classe de pesos segundo a declividade

CLASSES	RISCO	COEFICIENTE	PESO
0 - 12 %	baixo	2	30
13 - 40 %	médio	1	
> 41 %	alto	0	

Fonte: Chuvieco *et. al* (2010)

2.7.2.3. Orientação das Encostas

A orientação das encostas influencia na intensidade de radiação solar que incide sobre o terreno, havendo efeito sobre a umidade do ar e do material combustível. No hemisfério norte as faces sul e oeste, dependendo da verticalização, relevo e época do ano, recebem maior quantidade de radiação solar e por isto elas são muito mais aquecidas e secas do que as exposições norte, que recebem menor quantidade de incidência de luz. Exposições sul e oeste têm uma estação normal de incêndios mais longa, um maior período diário de queima e estatisticamente um maior registro de incêndios do que as inclinações norte, sendo que a maioria dos incêndios que se iniciam nestas faces atinge grandes proporções (FULLER, 1991).

No hemisfério sul, dependendo da época do ano, relevo e verticalização, a radiação solar incide mais diretamente sobre faces voltadas para o norte e conseqüentemente transmitem mais calor para essa exposição que para qualquer outra. A face oeste é a segunda a receber maior quantidade de energia seguida da leste e, finalmente, a que menos se aquece é a face sul. Inclusive, em latitudes maiores do que $23^{\circ}27'S$, a face sul nunca recebe insolação direta, nem mesmo no verão, devido à inclinação do eixo da terra em relação ao sol. Portanto, o efeito da exposição aumenta de acordo com o aumento da latitude (SOARES, 2000).

Apesar da quantidade de radiação solar que atinge as exposições leste ser a mesma que atinge as exposições oeste, a temperatura na face oeste é mais elevada que na face leste, a não ser quando possíveis variações diurnas de cobertura de nuvens e de turbidez da atmosfera ocorrem. Isto porque durante a tarde, quando a radiação incide sobre a face oeste, dependendo das edificações e da vegetação existente, o terreno já está pré-aquecido pelo ar cuja temperatura vem aumentando desde o nascer do sol. O aquecimento de uma face leste, por outro lado, tem início a partir de superfícies com temperaturas mais baixas, ocasionadas pela perda de energia durante a noite anterior.

Outro fator que favorece as temperaturas máximas mais altas ao longo da inclinação oeste é a evaporação. Especialmente no início da manhã, uma parte

considerável da radiação solar é gasta na evaporação da água existente no terreno que está ainda úmido pela redução da temperatura na noite anterior.

Mais tarde, o terreno já se tornou mais seco e então o calor gasto na evaporação é consideravelmente menor (HAURWITZ e AUSTIN, 1944). Fuller (1991) afirma que esta variação na taxa de radiação significa que todas as inclinações têm diferentes microclimas, implicando em variações de quantidade e diversidade da vegetação ocorrente.

De acordo com Oliveira (2002) *apud* Ferraz e Vetorazzi (2003), foram adaptadas as condições de risco em função da orientação das encostas para o hemisfério sul. As encostas (intervalos angulares) foram distribuídas em seis classes apresentadas na Tabela 8. As regiões planas foram classificadas como risco nulo. Para cada uma destas classes foi atribuído um coeficiente que traduz o nível de risco e é a base para as operações algébricas posteriores. As seis orientações são classificadas de acordo com o ângulo de inclinação das vertentes com relação ao norte geográfico, sendo: Sul (157,5° a 202,5°), Sudeste/Sudoeste (112,5° a 157,5° e 202,5° a 247,5°), Leste (67,5° a 112,5°), Nordeste (22,5° a 67,5°), Noroeste/Oeste (292,5° a 337,5° e 247,5° a 292,5°) e Norte (337,5° a 22,5°). Segundo Barbosa (2007), as vertentes recebem massas de ar com diferentes teores de umidade relativa carregados pelos ventos vindos do oceano, sendo Sudoeste (100% UR – Umidade Relativa do Ar), Sudeste (70% UR), Norte (80% UR).

Tabela 8 – Classe de pesos segundo a orientação das encostas

CLASSES	RISCO	COEFICIENTE	PESO
Sul	Nulo	5	10
Sudeste/Sudoeste	Baixo	4	
Leste	Moderado	3	
Nordeste	Alto	2	
Noroeste/Norte	Muito Alto	1	
Norte	Extremo	0	

Fonte: Chuvieco *et. al* (2010)

2.7.2.4. Proximidade com Estradas

A proximidade com as estradas e trilhas apresenta um importante fator de risco para a vegetação. Primeiramente, podem servir como quebra fogos ou caminhos para supressão do fogo, que nesse sentido, são um fator de redução do risco de incêndio. Entretanto, segundo o autor, são rotas potenciais para caminhadas ou áreas de camping. Nesse contexto, eles aumentam o perigo de risco de incêndio por causa da atividade intensa do ser humano.

Assim, se cria um *buffer* de 50 m para estradas (que são feitas de asfalto ou paralelepípedo) e um *buffer* de 150 m para trilhas (que são feitas de terra). De acordo com autor e a tabela apresentada, a classe de peso é 5 e adota-se coeficiente 0 (risco alto) para áreas dentro do *buffer* e coeficiente 1 (risco baixo) para áreas localizadas fora da zona de influência.

Tabela 9 – Classe de pesos segundo a Proximidade com Estradas

CLASSES	RISCO	COEFICIENTE	PESO
Dentro do <i>buffer</i>	alto	0	5
Fora do <i>buffer</i>	baixo	1	

Fonte: Chuvieco *et. al* (2010)

2.7.2.5. Elevação

A elevação considera que altitudes mais elevadas estão relacionadas com maior disparidade de chuvas acarretando menos gravidade de incêndios em altitudes mais elevadas. No entanto, em áreas na qual a altitude varia pouco, podem-se obter valores fixos e iguais. Por exemplo, para áreas com peso 2 e coeficiente 1 (baixo), onde se encontram altitudes de 0 a 6 m e coeficiente 0 (alto) para áreas com altitudes acima de 398 m.

Tabela 10 – Classe de pesos segundo a Elevação

CLASSES	RISCO	COEFICIENTE	PESO
0 - 3 m	baixo	1	2
3 - 6 m	baixo	1	
398 - 400 m	alto	0	
401 - 404 m	alto	0	
405 - 407 m	alto	0	

Fonte: Chuvieco *et. al* (2010)

2.7.2.6. Método de Agregação das Variáveis

Chuvieco *et. al* (2010) baseia-se na análise multicritério através da soma das ponderações das variáveis. Procedese ao produto entre o peso e o respectivo coeficiente (critério). Por fim, soma-se os critérios, expresso pela equação 8, de modo que se quantifica o risco em: Muito Alto (0-30), Alto (31-60), Moderado (61-160), Baixo (161-190), Muito Baixo (191-230) e Nulo (231-255). Os pesos foram atribuídos a fim de dimensionar o mapa final entre 0 e 255 (Tabela 11). Embora seja uma escala arbitrária de pesos, eles levam em conta a importância relativa de cada variável como um fator de risco de incêndio.

$$RISCO = 1 + 100V + 30D + 10 OE + 5ET + 2EL \quad (8)$$

Em que:

V = coeficiente de risco da vegetação,
 D = coeficiente de risco da declividade,
 OE = coeficiente de risco da orientação das encostas,
 ET = coeficiente de risco da proximidade a estradas e trilhas,
 EL = coeficiente de risco da elevação.

Tabela 11 – Classes de risco de incêndios proposto por Chuvieco *et. al* (2010)

Classes de Pesos	Classes de Riscos
0 - 30	Muito Alto
31 - 60	Alto
61 - 160	Moderado
161 - 190	Baixo
191 - 230	Muito Baixo
231 - 255	Nulo

Fonte: Chuvieco *et. al* (2010)

2.8. Lógica Fuzzy

Várias metodologias de risco de incêndio são desenvolvidas em fórmulas determinísticas baseadas, muitas vezes, em fatores climáticos, porém a combinação entre esses fatores e a contribuição dos mesmos para o incêndio é fundamentada em observações e conhecimentos prévios de pesquisadores e está propensa a ter um maior grau de subjetividade (SILVA e PONTES, 2011). Por isso, resolveu-se

modelar a predição de risco de incêndio utilizando regras e variáveis linguísticas da lógica *fuzzy* influenciado pela realidade local da área de estudo.

A Lógica *Fuzzy* pode ser definida como sendo uma metodologia de caracterização de classes, que por várias razões não tem ou não pode definir limites rígidos entre as classes. A utilização dessa metodologia é indicada sempre que se tiver que lidar com ambigüidade, abstração e ambivalência em modelos matemáticos ou conceituais de fenômenos empíricos (BURROUGH & MCDONNELL, 1998).

Com base na teoria dos “Conjuntos Nebulosos” (*Fuzzy Set*), a Lógica *Fuzzy* tem se mostrado mais adequada para tratar imperfeições da informação do que a teoria das probabilidades.

Uma das principais potencialidades da Lógica *Fuzzy*, quando comparada com outros esquemas que tratam com dados imprecisos como redes neurais, é que suas bases de conhecimento, as quais estão no formato de regras de produção, são fáceis de examinar e entender. Este formato de regra também torna fácil a manutenção e a atualização da base de conhecimento (BARROS e BASSANEZI, 2006).

O que está por trás de toda essa versatilidade da utilização desta teoria *fuzzy* é a possibilidade de modelar e manipular matematicamente informações vagas e imprecisas, naturais da linguagem humana e, portanto, as fornecidas pelos especialistas (não matemáticos) ao caracterizar os processos estudados. Esta manipulação é feita a partir da composição de variáveis escolhidas para modelar matematicamente o processo em questão, quando a implicação das variáveis independentes nas dependentes é estabelecida por um conjunto de regras linguísticas baseadas no conhecimento de especialistas (CASTANHO, 2005).

Os conjuntos *fuzzy* não possuem fronteiras definidas e são utilizados como um contraponto à limitação que os conjuntos clássicos apresentam ao serem aplicados em problemas cujas transições entre as classes acontecem de maneira suave (SILVA *et. al*, 2011). Um exemplo dessa transição é descrito na Figura 4.

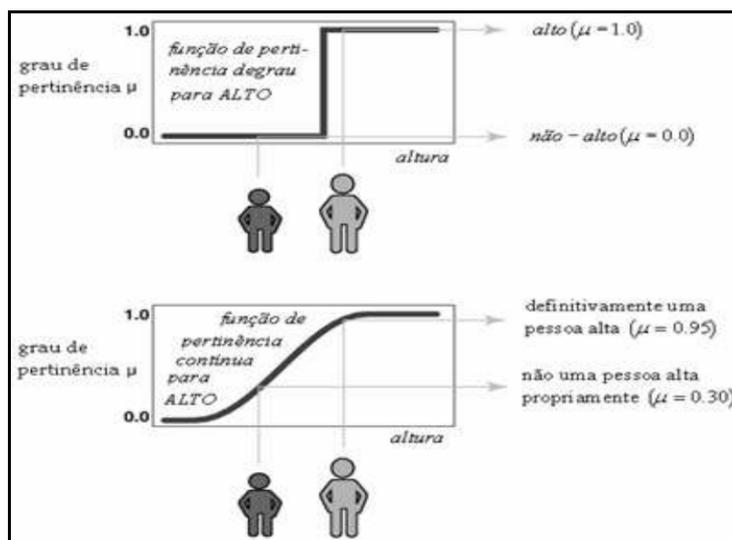


Figura 4 – Comparação entre o pertencimento clássico e o fuzzy
 Fonte: SILVA et. al (2011)

Para caracterizar formalmente um conjunto, de acordo com Burrough & McDonnel (1998), pode-se recorrer ao conceito de pertinência, que é uma função onde dado o valor de um atributo X, ela determina se o elemento avaliado pertence ou não a um determinado conjunto em análise.

A definição de conjuntos *fuzzy* é dada de forma que um subconjunto A de um conjunto U é considerado subconjunto *fuzzy* de U se for descrito como um conjunto de pares ordenados segundo o que segue (SILVA et. al, 2011):

$$A = \{(x, \mu_A(x)); \quad x \in U \quad \mu_A(x) \in [0,1] \} \tag{9}$$

Onde:

$\mu_A(x)$ é uma função de pertinência que determina com que grau x está em A:

- $\mu_A(x) = 1$ *x* pertence totalmente ao conjunto A;
- $0 < \mu_A(x) < 1$ *x* pertence parcialmente ao conjunto A;
- $\mu_A(x) = 0$ *x* não pertence ao conjunto A.

Sendo assim, a álgebra entre os conjuntos *fuzzy* não segue a teoria clássica usual, em especial devido ao fato de que as operações de união e de intersecção de um conjunto e seu complementar são diferentes de 1 e vazio respectivamente, e

portanto operações específicas entre os conjuntos *fuzzy* devem ser estabelecidas (SILVA *et. al*, 2011).

Outro conceito essencial é o reconhecimento desta caracterização de variáveis da existência do que consiste uma base de regras entre as mesmas. Isto se estabelece a partir do conhecimento do especialista na forma de proposições do tipo “se E1 e/ou E2 então S1”, onde E1 e E2 referem-se a classificações lingüísticas das variáveis de entrada e S1 a de saída, as quais, a partir do uso desta teoria, se mostra como consequência das operações “e/ou” algébricas acima referidas, onde “e” designa união e “ou” intersecção. Para Cecconello (2006), nas operações entre conjuntos *fuzzy* é comum utilizar-se as variáveis lingüísticas, que podem ser qualitativas ou quantitativas, cujos valores assumidos são subconjuntos *fuzzy*. A variável lingüística é um substantivo (qualitativo) e seus valores são adjetivos. Os conjuntos fuzzy representam os estados da variável que, em geral, são expressos por valores subjetivos como pequeno, muito, alto, etc. No exemplo da Figura 5, são utilizadas as variáveis umidade e precipitação que assumem os estados: MUITO BAIXA, BAIXA, MÉDIA, ALTA, MUITO ALTA.

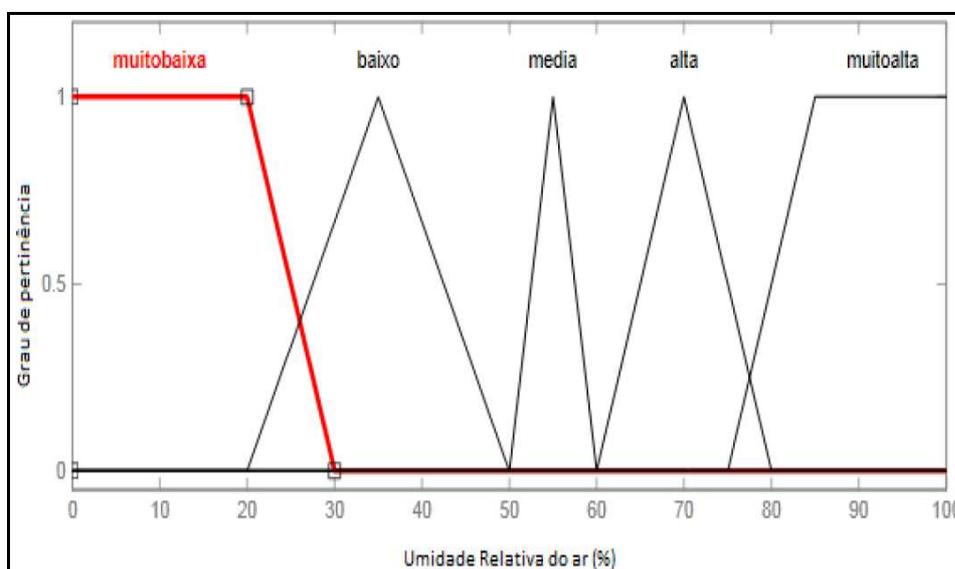


Figura 5 – Variáveis Linguísticas para a Umidade Relativa do Ar
 Fonte: Silva *et. al* (2011)

2.8.1. Funções de Pertinência

Um conjunto *fuzzy* é caracterizado por uma função de pertinência que assume valores dentro do intervalo $[0,1]$. Enquanto na teoria de conjuntos clássica, a função de pertinência assume apenas os valores zero indicando que o elemento não pertence ao conjunto-, ou um- indicando que o elemento pertence ao conjunto-, na teoria de conjuntos *fuzzy*, os elementos podem estar associados a graus de pertinência entre zero e um indicando que os mesmos podem pertencer parcialmente a um conjunto (SILVA *et. al*, 2011).

A princípio, qualquer função que associe valores entre zero e um a elementos de um dado conjunto, pode ser tomada como função de pertinência. Entretanto, na escolha de tais funções, deve-se levar em conta o contexto em que estas serão utilizadas na representação das variáveis lingüísticas. Neste sentido, tanto o número quanto o formato das funções de pertinência devem ser escolhidos de acordo com o conhecimento sobre o processo que se quer estudar.

2.8.1.1. Função de Pertinência Triangular (trimf)

As funções de pertinência triangulares são caracterizadas por uma terna (a , b , c), onde a e c determinam o intervalo dentro do qual a função de pertinência assume valores diferentes de zero, e b é o ponto onde a função de pertinência é máxima. A Figura abaixo exhibe uma função de pertinência triangular onde são destacados a , b e c (SILVA *et. al*, 2011). Na Figura 6 encontram-se no eixo vertical os valores da função de pertinência e no eixo horizontal os valores da variável que se quer estudar.

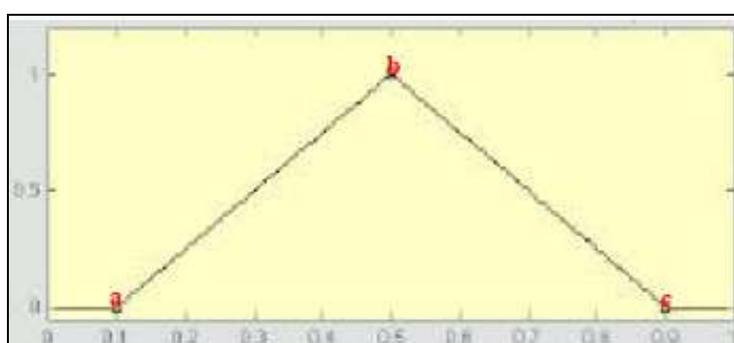


Figura 6 – Função de Pertinência Triangular

O que de fato é acionada a função:

$$a \leq m \leq b$$

$$\mu_p(x) = \begin{cases} 0 & \text{se } x \leq a \\ \frac{x-a}{m-a} & \text{se } a < x \leq m \\ \frac{b-x}{b-m} & \text{se } m < x \leq b \\ 0 & \text{se } x > b \end{cases}$$

2.8.1.2. Funções de Pertinência Gaussiana (gaussmf)

As funções de pertinência Gaussianas são caracterizadas pela sua média e seu desvio padrão. Este tipo de função de pertinência tem um decaimento suave e tem valores diferentes de zero para todo domínio da variável estudada (SILVA *et. al*, 2011). Na Figura 7 exibe uma função de pertinência Gaussiana. Nesta figura encontram-se no eixo vertical os valores da função de pertinência e no eixo horizontal os valores da variável que se quer estudar.

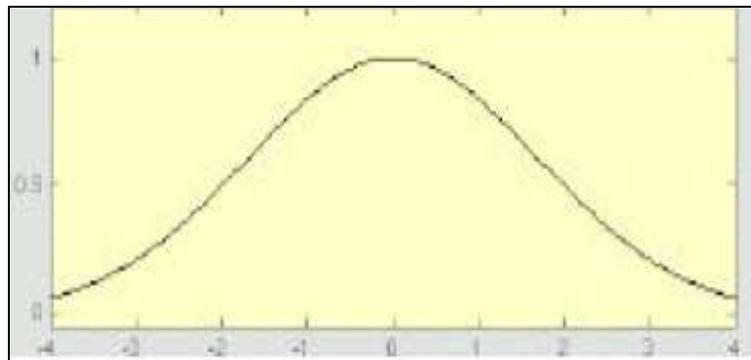


Figura 7 – Função de Pertinência Gaussiana

Nesse caso, a função acionada é:

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 0 & \text{se } x \text{ está fora do domínio} \\ \exp(-(x-\nu)^2) / 2\sigma^2 & \end{cases}$$

2.8.1.3. Funções de Pertinência Trapezoidal (trapmf)

As funções de pertinência trapezoidais são caracterizadas por um conjunto de quatro valores de a , b , c e d , onde a e d determinam o intervalo dentro do qual a função de pertinência assume valores diferentes de zero, e b e c determinam o intervalo dentro do qual a função de pertinência é máxima e igual a 1 (SILVA *et. al*, 2011). A Figura 8 exibe uma função de pertinência trapezoidal onde podem ser destacados os pontos a , b , c e d . Nesta figura encontram-se no eixo vertical os valores da função de pertinência e no eixo horizontal os valores da variável que se quer estudar.

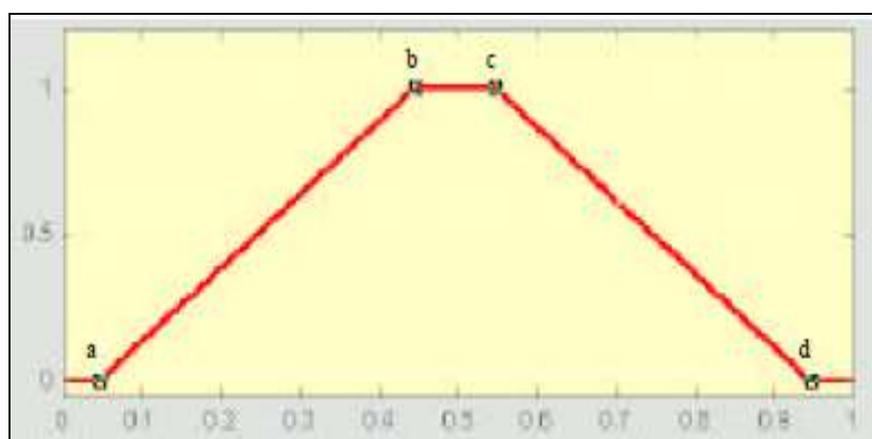


Figura 8 – Função de Pertinência Trapezoidal

Nesse caso, é ativada a função:

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 0 & \text{se } x \leq a \\ \frac{x-a}{b-a} & \text{se } a < x \leq b \\ 1 & \text{se } b \leq x \leq c \\ \frac{d-x}{d-c} & \text{se } c < x \leq d \\ 0 & \text{se } x > d \end{cases}$$

2.8.2. Sistemas de Controle Fuzzy

A estrutura de um processo controlado por um controlador *fuzzy* é mostrada na Figura 9, enfatizando-se seus componentes básicos: a interface de fuzzyficação, a base de conhecimento, a base de dados, o procedimento de inferência e a interface de defuzzyficação.

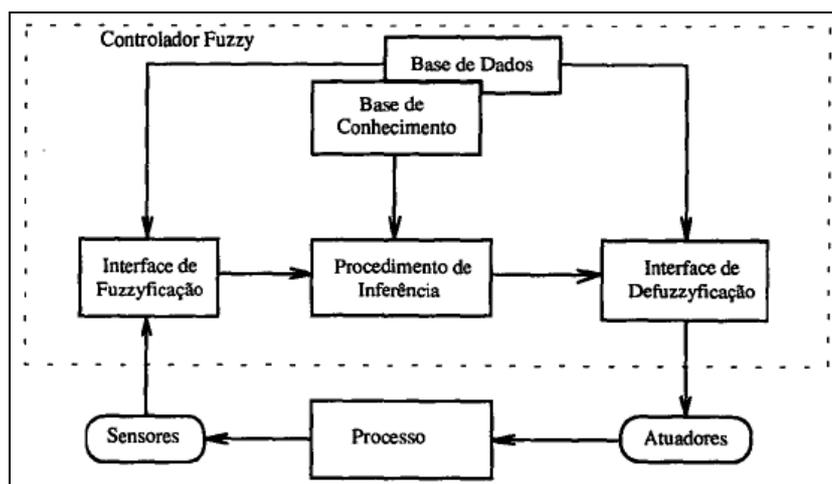


Figura 9 – Estrutura Básica de um controlador *Fuzzy*
 Fonte: GOMIDE (1998) Adaptado

Ribaconka (1998) *apud* Peixoto (2008) afirma que a interface de fuzzyficação toma os valores das variáveis de entrada, faz um escalonamento para condicionar os valores aos universos de discurso normalizados e fuzzyfica os valores, transformando números em conjuntos *fuzzy*, de modo que possam se tornar instâncias de variáveis linguísticas. A base de conhecimento consiste de uma base de regras, caracterizando a estratégia de controle e suas metas. A base de dados armazena as definições necessárias sobre discretizações e normalizações dos universos de discurso, as partições *fuzzy* dos espaços de entrada e saída e as definições das funções de pertinência. O procedimento de inferência processa os dados *fuzzy* de entrada, junto com as regras, de modo a inferir as ações de controle *fuzzy*, aplicando o operador de implicação *fuzzy* e as regras de inferência da lógica *fuzzy*. A interface de defuzzyficação transforma as ações de controle *fuzzy* inferidas em ações de controle não-*fuzzy*. Em seguida, efetua um escalamento, de modo a compatibilizar os valores normalizados vindos do passo anterior com os valores dos universos de discurso reais das variáveis.

Após a inferência da ação de controle *fuzzy*, é necessária a determinação de uma ação de controle não *fuzzy* que melhor represente a decisão *fuzzy*, para ser efetivamente enviada ao controle. Apesar de não haver nenhum procedimento sistemático para a escolha da estratégia de defuzzyficação, as mais comuns incluem: o critério do máximo (MAX), que escolhe o ponto onde a função inferida tem seu máximo, a média dos máximos (MDM), que representa o valor médio dentre todos os pontos de máximo quando existe mais de um máximo, e o método do centro de área (CDA), que retoma o centro de área da função inferida.

2.8.3. Regras da Lógica Fuzzy

Segue basicamente as seguintes etapas (RIBACONKA, 1999 apud PEIXOTO, 2008):

- Combinação das variáveis de entrada utilizando os conectivos *and* (mínimo) e *or* (máximo);
- Cada conjunto de regras deve ter uma saída correspondente, mas não é necessário as saídas serem distintas;
- Duas ou mais regras com as mesmas entradas devem ter saídas mutuamente exclusivas. Caso contrário, as regras são inconsistentes.

2.8.3.1 Modelos de Sistema de Controle Fuzzy

a) Modelo Mamdani: Tanto o antecedente como o conseqüente são proposições nebulosas (MAMDANI e ASSILIAN, 1975). Esse modelo utiliza conjuntos nebulosos também nos conseqüentes das regras nebulosas (RENÉ, 1995; CASTANHO, 2005). A saída final é representada por um conjunto nebuloso resultante da agregação da saída inferida de cada regra. Para se obter uma saída final não nebulosa, adota-se um dos métodos e transformação da saída nebulosa em não nebulosa.

b) Modelo de Larsen: Deriva do modelo Mamdani (MACHADO *et al.*, 2006). Ao invés de utilizar-se do operador de Mamdani nas implicações das regras nebulosas, é utilizado o operador produto. Dessa forma, o modelo nebuloso de

Mamdani pode ter variações se forem feitas diferentes escolhas para o conectivo *AND* e *OR*.

c) Modelo de Takagi-Sugeno: O antecedente é uma proposição nebulosa e o conseqüente consiste em uma expressão funcional das variáveis lingüísticas definidas no antecedente. A saída final é obtida pela média ponderada das saídas inferidas de cada regra (TAKAGI e SUGENO, 1985; REYES, 2002). Os coeficientes da ponderação são dados pelos graus de ativação das respectivas regras (ABONUUYI *et al.*, 2002).

d) Modelo de Tsukamoto: Utiliza funções de pertinência no conseqüente. Assim como no modelo Takagi-Sugeno, é inferido um valor não nebuloso induzido pelo nível de ativação da regra. A saída final do sistema é obtida por média ponderada das saídas inferidas de cada regra (MACHADO *et al.*, 2006).

Para uma abordagem mais detalhada dos modelos apresentados, recomenda-se consultar as seguintes bibliografias: Babuska, 1998; René, 1995; Sugeno, 1999; Gorp, 2000; Viljamaa, 2000; Abonuyi, 2002; Mamdani e Assilian, 1975; Castanho, 2005; Machado, 2006; Takagi e Sugeno, 1985; Reyes, 2002.

2.9. Modelo de Precipitação Mensal

A variável precipitação é de grande importância para analisar o risco de incêndio, tendo em vista que eleva a quantidade de umidade no solo e nos materiais combustíveis, dificultando ou até mesmo impossibilitando o início e a propagação das chamas. Dessa forma, as precipitações mensais inferiores a 25 mm recebem peso 3 (alto risco de incêndio), conforme recomendações de Assunção e D´Almeida (2004) *apud* Prudente (2010). A Tabela 12 apresenta as classes de risco e os coeficientes de precipitação utilizados nesta pesquisa.

Tabela 12 – Classes, risco e coeficientes de precipitação mensal

PRECIPITAÇÃO MENSAL	RISCO	COEFICIENTE
< 25 mm	Alto	3
25 - 75 mm	Moderado	2
> 75 mm	Baixo	1

Fonte: PRUDENTE (2010) Adaptado

3. METODOLOGIA

A metodologia dos modelos de predição dos mapas de risco de incêndios segue o seguinte fluxograma (Figura 10), onde cada uma das etapas serão descritas a seguir.

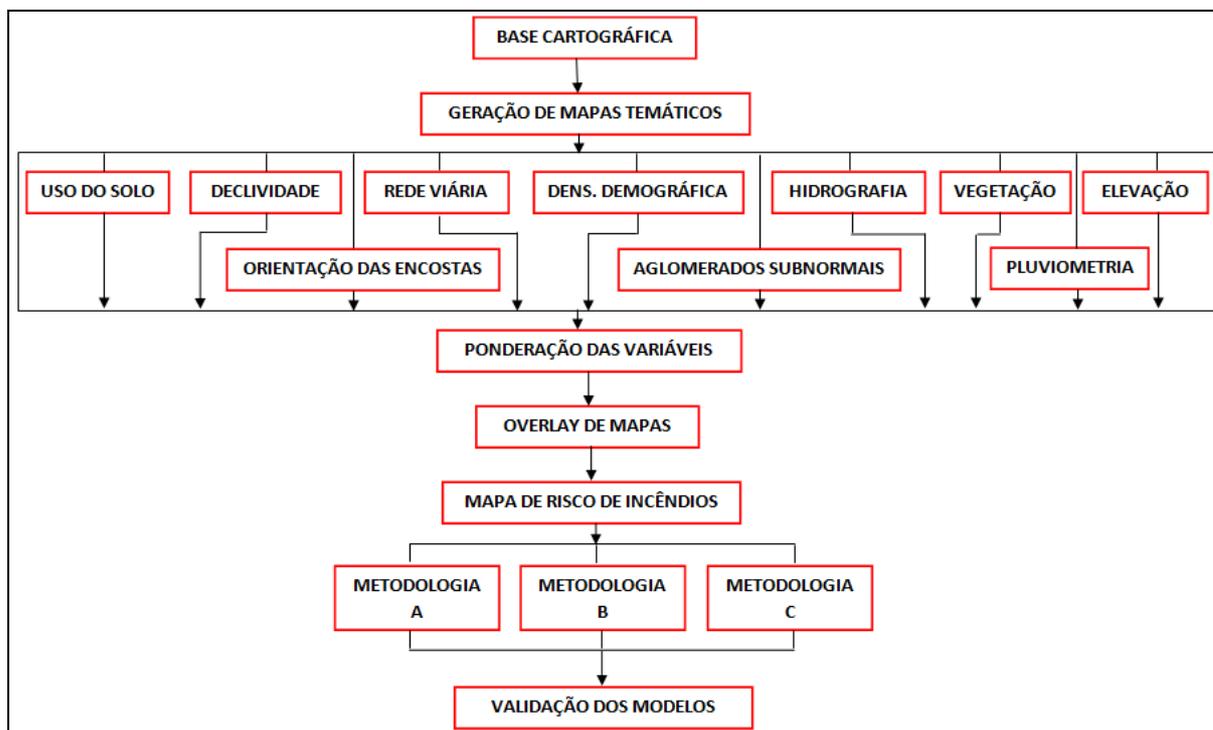


Figura 10 – Fluxograma de execução geral da elaboração dos modelos de predição de riscos de incêndios

Tomando como ponto inicial a inserção e visualização da base cartográfica no SIG, realizou-se a identificação e separação das camadas correspondentes às variáveis utilizadas.

Para o mapa de uso do solo identificaram-se e separaram-se as áreas nos quais se apresentam as classes de uso e ocupação do solo na área de estudo. Após esse procedimento, foi atribuído o quantitativo de classes apresentadas no referencial teórico para a configuração de legenda do mapa.

O mapa de declividade foi gerado a partir da seleção do *layer* das curvas de nível da área de estudo, equidistantes de 1 em 1 metro, foi gerado uma grade irregular (TIN – *Triangular Irregular Network*) que possibilitou a organização dos pontos de acordo com sua porcentagem de aclives e declives no terreno, gerando

um mapa temático da declividade. De acordo com as metodologias relacionadas no referencial teórico dessa pesquisa, foram estabelecidas as classes de risco de incêndio propostas para essa variável, relacionando o grau de inclinação do terreno em função da sua influência na propagação do fogo.

Para o mapa temático da rede viária, baseou-se na proximidade à estradas, numa área de influência de 100 m, sendo 50 m de raio para cada lado do eixo de logradouro. Portanto, após definição desse parâmetro foi gerado um *buffer* de 100 m de diâmetro no SIG. Após essa análise de proximidade, para gerar a área sem influência da rede viária, foi necessário extrair uma zona de interesse, que possibilitou limitar a região entre os *layers* do *buffer* e do limite municipal. Ressalta-se que, para essa análise, foi considerada toda a área de estudo como plana.

O mapa temático da densidade demográfica foi gerado a partir da malha de setores censitários e os dados da população do Censo Demográfico 2010 do IBGE, onde foi utilizado apenas o número de habitantes por setor dividido pela sua área em Km² e foi adicionada a coluna DENSIDADE no banco de dados do limite municipal e classificado de acordo com a Tabela 4, apresentada no referencial teórico.

O mapa de influência da hidrografia foi estabelecido um raio de influência de 50 m para todos os corpos de água presentes na área. Foi repetido o mesmo procedimento usado na geração do mapa de influência viária. Dentro do SIG foi gerado um *buffer* de raio de 50 m. Após essa análise de proximidade, para gerar a área denominada sem influência da hidrografia, foi necessário extrair uma zona de interesse, que possibilitou limitar a região entre os *layers* dos *buffers* gerados e do limite municipal. As áreas delimitadas pelos raios de influência foram consideradas com riscos, devido à maior proximidade aos corpos de água, enquanto as demais foram consideradas sem risco. Ressalta-se que, para essa análise, foi considerada toda a área de estudo como plana.

Para o mapa temático de vegetação, Chuvieco *et. al* (2010) realizou uma operação de classificação supervisionada de imagem de satélite LANDSAT TM, com resolução espacial de 30 m, para extrair as informações de vegetação. No caso dessa pesquisa, não foi necessário realizar esse procedimento devido ao autor já

possuir as informações de vegetação em formato vetorial cedido pela PMJP, e foi atribuído o peso conforme ilustrado no item 2.7.2.1 do referencial teórico.

Para a geração do mapa de orientação das encostas e do mapa de elevação foi repetido o mesmo procedimento utilizado na geração do mapa de declividade, com base no nível de informação das curvas de nível e classificado conforme a incidência de ventos e umidade em três classes (sudeste, sudoeste e norte) e para o mapa de elevação foram classificadas de acordo com as classes propostas na Tabela 8 do referencial teórico.

O mapa temático de pluviometria para o risco de incêndio foi gerado a partir da malha de pontos das estações pluviométricas através do interpolador “krigagem” (*kriging*) e posteriormente gerado as classes (constantes na Tabela 12) para os intervalos de precipitações pluviométricas referente ao ano de 2010. Foram gerados mapas das médias anuais em 2010 e mensais para o período de chuvas (abril a agosto), primeiro período de estiagem (janeiro a março) e segundo período de estiagem (setembro a dezembro).

A geração do mapa temático de aglomerados subnormais foi feito com base no arquivo digital vetorial do tipo polígono cadastrado pelo IBGE em parceria com a prefeitura municipal referente ao ano de 2010, sobreposto com outras camadas de interesse, tais como malha viária, delimitação de bairros e limite municipal.

Após a geração dos mapas temáticos, foi realizado o processo de ponderação das variáveis no banco de dados que compõem os mapas, sendo que a etapa seguinte correspondeu à sobreposição dos mesmos para a geração do mapa de risco. Para tanto, foi utilizada a análise espacial *Identify*, que nada mais é uma análise espacial de sobreposição *overlay*, levando em conta os atributos. Foi adicionada uma coluna chamada PESO TOTAL no banco de dados final da sobreposição, que corresponde ao somatório de influência de cada componente utilizado no processo. Através de consultas ao banco de dados, foi possível classificar os níveis de informação pelo peso de risco na área de estudo e gerar o mapa de riscos de incêndios.

3.1. Caracterização da Área de Estudo

O município de João Pessoa, capital do Estado da Paraíba, está localizado na porção leste do Estado, tendo como o ponto central as coordenadas -34°47'30" de longitude e -07°09'28" de latitude. É integrante da mesorregião da mata paraibana e microrregião de João Pessoa (IBGE, 2010). Limita-se ao norte com o município de Cabedelo, ao leste com o Oceano Atlântico, ao sul com o município do Conde e ao oeste com os municípios de Bayeux e Santa Rita (Figura 11). Segundo os dados do Censo Demográfico 2010, realizado pelo IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, a cidade conta com uma população de 723.515 habitantes em uma área de, aproximadamente 214,052 Km², resultando em uma densidade demográfica de 3.421,3 hab/Km².

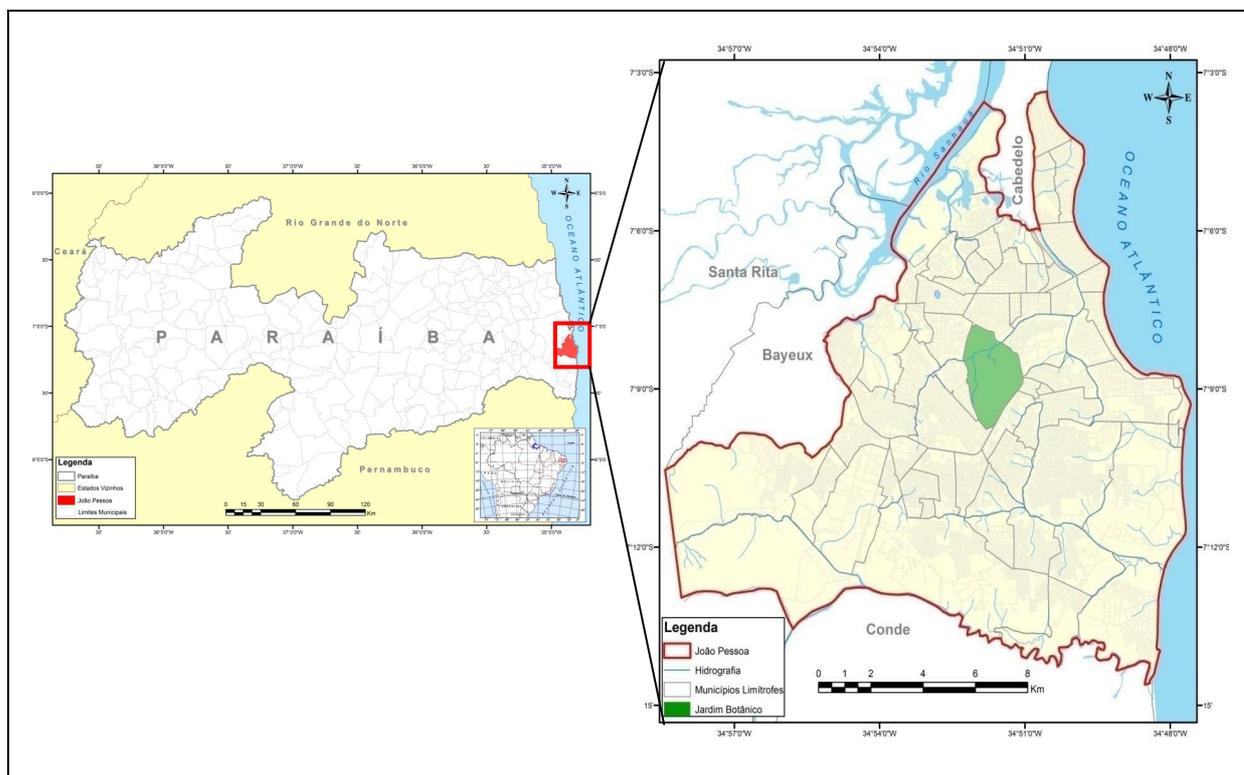


Figura 11 – Localização do Município de João Pessoa – PB

Por estar localizado próximo à Linha do Equador, o município não sofre variações climáticas muito acentuadas quando da transição de uma estação para outra.

O período da primavera, de acordo com a AESA (Agência Executiva de

Gestão das Águas do Estado da Paraíba, 2013), coincide com o período de estiagem, onde as chuvas são bastante reduzidas. Os totais de precipitação acumulados no trimestre outubro, novembro e dezembro vão de valores superiores a 100 mm.

A estação do verão é caracterizada, basicamente, por dias (períodos de claridade) mais longos que as noites e pelo aumento da temperatura do ar. Esta estação engloba também os meses de janeiro, fevereiro e março e é caracterizada pela ocorrência das temperaturas mais elevadas do ano. Em João Pessoa, os valores extremos oscilam entre 21,2 °C, a mínima, e 31,8°C, a máxima. Os maiores totais de precipitação acumulados no trimestre janeiro, fevereiro e março variam de 100mm a 200mm.

No outono, tem início o período mais chuvoso, o qual se concentra entre os meses de abril e julho. Os valores totais de precipitação média de chuva nos meses de março, abril, maio e junho oscilam, respectivamente, em torno de 138,1 mm, 155,7 mm, 157,5 mm e 161,1 mm. As temperaturas são ligeiramente mais homogêneas, onde a mínima fica em torno de 22°C e a máxima por volta de 32°C.

O inverno compreende o final de junho, os meses de julho e agosto, além de parte de setembro. Esse período representa em torno de 40% do total precipitado no ano. Os valores totais de precipitação média de chuva nos meses de junho, julho e agosto oscilam em torno de 161,1 mm, 146,8 mm e 81,0 mm, respectivamente. De acordo com a AESA (2013), neste período, o principal sistema meteorológico gerador de chuvas na Paraíba é constituído por distúrbios ondulatórios de leste (nuvens que se formam no Oceano Atlântico e se deslocam em direção à costa leste do Nordeste do Brasil, principalmente sobre as regiões do Agreste, Brejo e Litoral).

Os aglomerados subnormais (comunidades) têm localização bem determinada na geografia habitacional brasileira. De acordo com o IBGE (2010), são conjuntos constituídos por no mínimo 51 unidades habitacionais (barracos, casa, etc.), ocupando ou tendo ocupado até período recente, terreno de propriedade alheia (pública ou particular), dispostas, em geral, de forma desordenada e densa; carentes, em sua maioria, de serviços públicos essenciais. Em todo o país, o IBGE

durante o Censo Demográfico de 2010, identificou e recenseou 6.329 áreas classificadas como tal que estão em apenas 323 dos 5.565 municípios. No município de João Pessoa, foram identificadas e cadastradas 108 áreas nessa situação.

3.2. Recursos de *Hardware* e *Software*

Os recursos de *hardware*, *software* e dados utilizados para a realização dessa pesquisa foram disponibilizados pela Secretaria da Segurança e da Defesa Social da Paraíba (SEDS/PB) integrado com a Polícia Militar da Paraíba (PMPB) e o Corpo de Bombeiros Militar da Paraíba (CBBM) através do Centro Integrado de Operações (CIOP), sítio do IBGE, sítio da AESA (Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba), sítio do INPE e Prefeitura Municipal de João Pessoa (PMJP). Além desses, também foram utilizados recursos de *hardware* do próprio autor.

Recurso de hardware utilizados: *Notebook* Toshiba® Processador Intel® Pentium® *Dual Core* T4200 1.7GHz, memória de 1,96GB DDR2, Sistema Operacional *Windows*® 7 *Ultimate*.

Os recursos de software utilizados nessa pesquisa foram: *ArcGIS*® *Desktop* 10, *MatLab*® *Starter Application* 7.11 (R2010b) e *Microsoft*® *Excel*.

3.3. Aquisição dos Dados

Para a execução dessa metodologia, os dados reais das ocorrências de incêndios no ano de 2010 foram adquiridos na SEDS/PB, através do CIOP. Os dados de densidade demográfica e malha digital de setores censitários foram coletados através do sítio do IBGE. Os dados vetoriais e tabulares das estações pluviométricas disponíveis e coletados no sítio eletrônico da AESA e, a PMJP, que cedeu gentilmente a base cartográfica digital do município em formato *shapefile* no sistema de projeção UTM (Universal Transverso de Mercator), Fuso 25 Sul, Sistema Geodésico de Referência SIRGAS 2000 (Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas - 2000), oriunda de um vôo aerofotogramétrico na escala de 1:8.000 com escala de restituição em 1:2.000, atualizada no ano de 2010.

3.4. Edição de dados

O processo de edição de dados é necessário para restaurar a integridade geométrica das feições. Com isto, torna-se possível, as análises espaciais.

Assim sendo, após a obtenção da base cartográfica digital, foi realizada uma triagem dos dados do município e verificação da integridade geométrica, utilizando-se apenas os níveis de informação necessários para a geração dos mapas temáticos propostos nas metodologias. Após as mesmas serem armazenadas no banco de dados geográfico, foi realizada uma verificação prévia, no qual se percebeu a necessidade de uma edição de geométrica e verificação da topologia referente a adjacência entre polígonos. Neste, as linhas quebradas foram incorporadas em um único segmento, e fechados todos os polígonos que se encontravam abertos, onde foram excluídos polígonos e linhas sobrepostos.

3.5. Configurações para a Lógica Fuzzy

Para Koproski *et al* (2007) cada área tem características próprias de risco e isto deve ser considerado adequadamente no momento da escolha das variáveis para elaboração dos mapas de risco, bem como das medidas cabíveis de prevenção para cada região específica. É por esta razão que levou, na visão do autor dessa pesquisa, a elaborar uma terceira metodologia utilizando a lógica *fuzzy*, levando em consideração as variáveis que influenciam fortemente para o perigo de incêndio na área de estudo.

A teoria dessa metodologia foi exposta anteriormente e aqui se apresenta a descrição prática aplicada nesse trabalho, a qual consistiu em criar as regras *fuzzy* com a utilização do *software* MatLab, empregando a ferramenta *Toolboxes – Fuzzy Logic – FIS Editor*. Apesar do ArcGIS possuir uma ferramenta de modelagem *fuzzy*, o autor preferiu a utilização do MatLab devido ao autor possuir um conhecimento técnico específico de uso e manipulação do *software* para fins de viabilização técnica e produção de resultados em um tempo mais reduzido.

A variável “Uso do Solo” assim como demonstrada na metodologia de Ribeiro *et al* (2008), avalia o peso da contribuição da cobertura vegetal predominante na

região para o risco potencial de incêndio. Para tanto, foi necessária a classificação das áreas cobertas por vegetação, como também a avaliação do perímetro urbano e a existência de recursos hídricos na região, para a identificação de riscos pelos quais os sistemas estão sujeitos. O grau de pertinência desse critério foi composto por três classes de risco, como ilustra a Figura 12, a seguir.

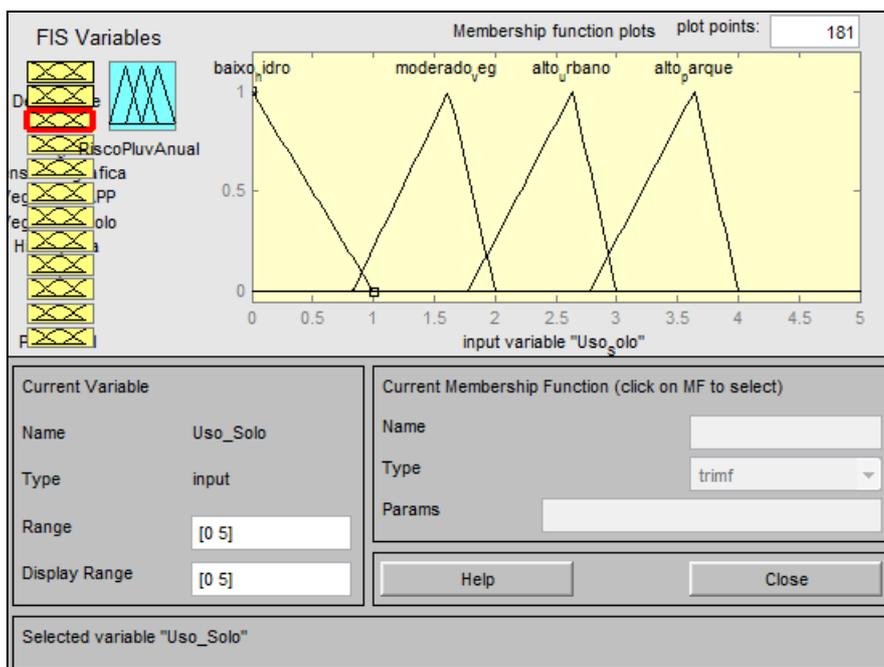


Figura 12 – Grau de Pertinência para a variável “Usosolo”

A função de pertinência utilizada foi a Linear decrescente e a Triangular (trimf) que definiu os intervalos dentro dos quais a função de pertinência assume valores diferentes de zero, como também o ponto onde a função de pertinência é máxima. Então, pode-se conferir os valores adotados na Tabela 13.

Tabela 13 – Valores de Pertinência dos números fuzzy para o Uso do Solo

Uso do Solo	Risco	Função de Pertinência	Valores Fuzzy		
			$\mu = 0$	$\mu = 1$	$\mu = 0$
Hidrografia	Baixo	Linear Decrescente	-	0	1
Vegetação	Moderado	Triangular	0,8	1,5	2
Área Urbana	Alto	Triangular	1,7	2,5	3
Parque	Muito Alto	Triangular	2,7	3,5	4

Na avaliação do efeito da precipitação, considerou-se não apenas a quantidade de chuvas, mas também sua distribuição estacional. Se a distribuição das chuvas em um determinado local é uniforme durante todo o ano, sem uma estação seca definida, o potencial de ocorrência e propagação dos incêndios é menor do que um local onde a estação chuvosa está concentrada em alguns meses, com longos períodos de estiagem durante os outros meses. Assim, a distribuição da precipitação foi fator fundamental na definição do início, término e duração da estação de perigo do fogo, conforme recomendação de Soares (1985). Assim, o grau de pertinência dessa variável é ilustrado na Figura 13, a seguir.

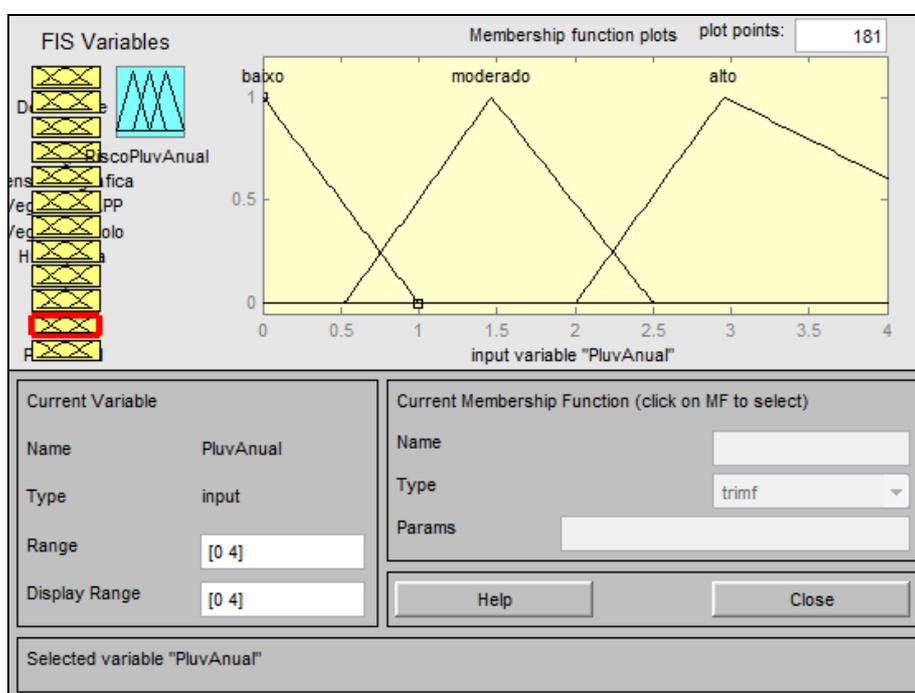


Figura 13 – Grau de Pertinência para a variável “Pluviometria”

A função de pertinência utilizada foi a Linear decrescente e a Triangular (trimf). Os valores adotados nessa função podem-se conferir na Tabela 14.

Tabela 14 - Valores de Pertinência dos números *fuzzy* para a Pluviometria

Risco	Função de Pertinência	Valores Fuzzy		
		$\mu = 0$	$\mu = 1$	$\mu = 0$
Baixo	Linear Decrescente	-	0	1
Moderado	Triangular	0,8	1,5	2
Alto	Triangular	1,7	2,5	3

A rede viária conforme já apresentado pela metodologia de Ribeiro *et al* (2008), permitiu visibilidade às pessoas que circulam nas vias, além do acesso às viaturas de combate e pôde também funcionar como corta fogos. O acesso de pessoas e veículos aumenta o risco de incêndio. O grau de pertinência desse critério foi composto por três classes de risco, como ilustra a Figura 14, a seguir.

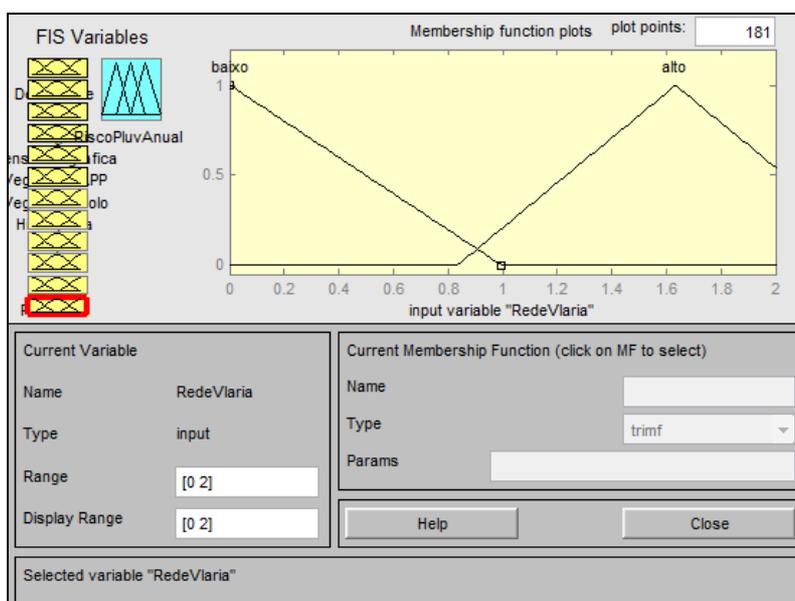


Figura 14 – Grau de Pertinência para a variável “Rede Viária”

A função de pertinência utilizada foi a Linear decrescente e a Triangular (trimf). Os valores adotados nessa função podem-se conferir na tabela abaixo.

Tabela 15 - Valores de Pertinência dos números *fuzzy* para a Rede Viária

Risco	Função de Pertinência	Valores Fuzzy		
		$\mu = 0$	$\mu = 1$	$\mu = 0$
Baixo	Linear Decrescente	-	0	1
Alto	Triangular	0,8	1,6	3

Para a declividade, conforme exposto por Ribeiro *et al* (2008), foi aplicado de modo adaptado à lógica *fuzzy*, o modelo de pertinência dessa variável ilustrado na Figura 15, a seguir.

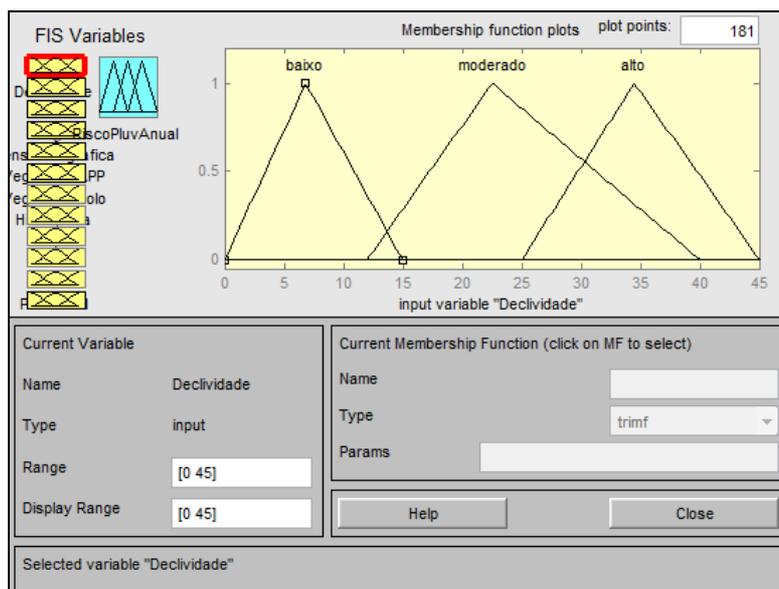


Figura 15 – Grau de Pertinência para a variável “Declividade”

A função de pertinência utilizada foi a Triangular (trimf) e os valores adotados nessa função podem-se conferir na tabela abaixo.

Tabela 16 - Valores de Pertinência dos números *fuzzy* para a Declividade

Risco	Função de Pertinência	Valores Fuzzy		
		$\mu = 0$	$\mu = 1$	$\mu = 0$
Baixo	Triangular	0	7,5	15
Moderado	Triangular	12,5	24	40
Alto	Triangular	25	35	45

A definição da modelagem *fuzzy* para a densidade demográfica considerou o mesmo princípio teórico abordado por Ribeiro *et. al* (2008). Portanto, o grau de pertinência desse critério, utilizou o modelo apresentado na Figura 16, a seguir.

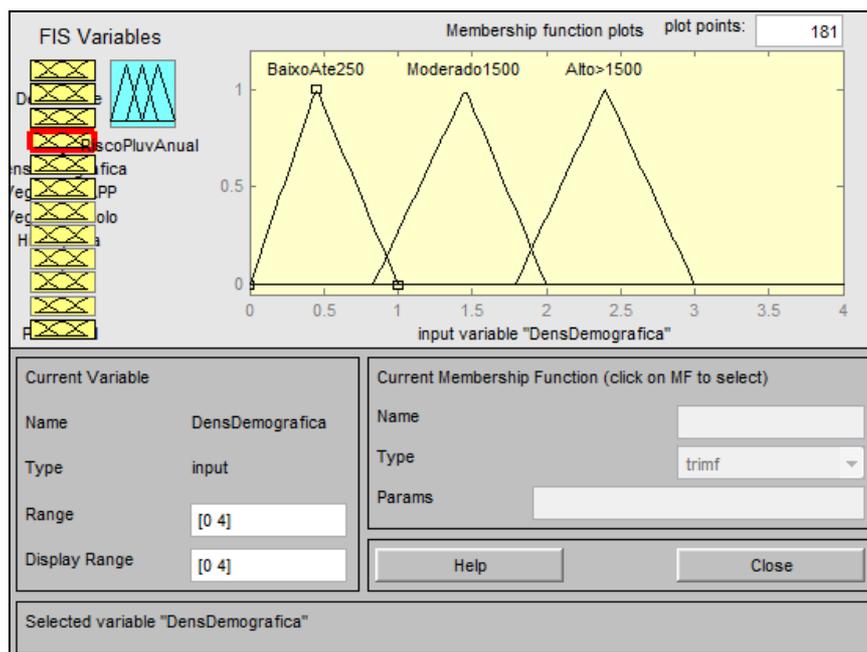


Figura 16 – Grau de Pertinência para a variável “Densidade Demográfica”

A função de pertinência utilizada foi a Triangular (trimf) e os valores adotados nessa função podem-se conferir na Tabela 17.

Tabela 17 - Valores de Pertinência dos números *fuzzy* para a Densidade Demográfica

Risco	Função de Pertinência	Valores Fuzzy		
		$\mu = 0$	$\mu = 1$	$\mu = 0$
Baixo	Triangular	0	0,5	1
Moderado	Triangular	0,8	1,4	2
Alto	Triangular	1,8	2,4	3

A hidrografia seguiu a mesma metodologia adotada por Ribeiro *et. al* (2008) onde as áreas delimitadas pelos raios de influência foram consideradas como de risco, devido à maior proximidade aos corpos de água, enquanto as demais são consideradas sem risco, como ilustra o modelo *fuzzy*, apresentado na Figura 17, a seguir.

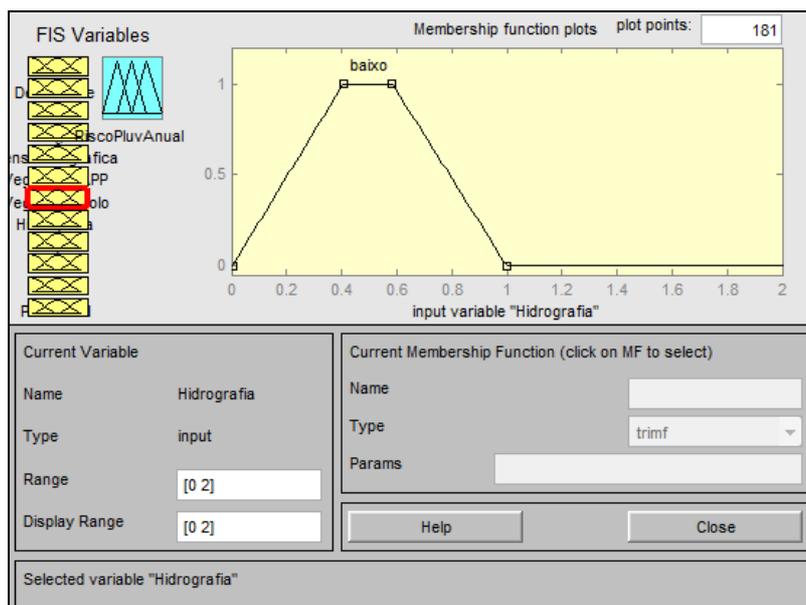


Figura 17 – Grau de Pertinência para a variável “Hidrografia”

A função de pertinência utilizada foi a Trapezoidal (trapmf) pela razão de os limites máximos determinaram o intervalo dentro do qual a função de pertinência é máxima e igual a 1. Portanto, os valores adotados nessa função podem-se conferir na Tabela 18.

Tabela 18 - Valores de Pertinência dos números *fuzzy* para a Hidrografia

Risco	Função de Pertinência	Valores Fuzzy		
		$\mu = 0$	$\mu = 1$	$\mu = 0$
Baixo	Trapezoidal	0	0,4 – 0,6	1

A frequência de incêndios em comunidades gera compreensíveis preocupações e até suspeitas, não necessariamente fundamentadas. Inicialmente, no contexto mais apropriado das condições fisicamente adversas e impróprias de localização dos aglomerados subnormais. O clima seco favorece esses desastres porque, na maioria dos casos, as habitações são construídas com materiais de fácil combustão, como madeira e papelão, são geminadas, possuem ligações elétricas clandestinas com fios expostos, botijões de gás, fogões acesos, velas e fósforos ao alcance de crianças abandonadas na própria residência cujos responsáveis, frequentemente, estão ausentes em busca de recursos para sobrevivência e manutenção da família.

Para os aglomerados subnormais atribuiu-se risco alto para as áreas delimitadas por esta variável. Portanto, grau de pertinência desse critério foi composto por uma classe de risco apenas, como ilustra a Figura 18, a seguir.

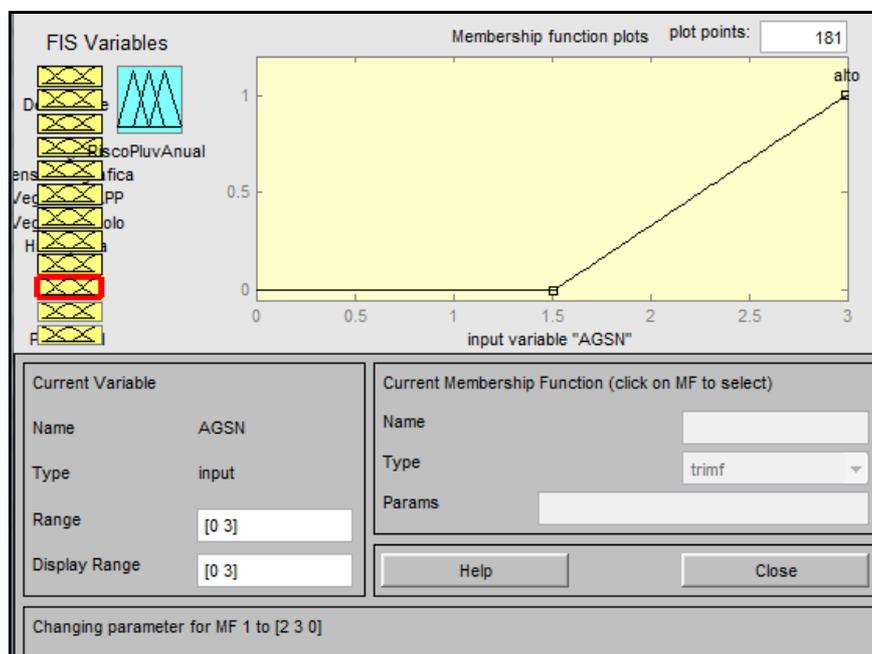


Figura 18 – Grau de Pertinência para variável “Aglomerado Subnormal”

A função de pertinência utilizada foi a Sigmóide (smf) pela razão de os limites máximos determinaram o intervalo dentro do qual a função de pertinência é máxima e igual a 1. Portanto, os valores adotados nessa função podem-se conferir na Tabela 19.

Tabela 19 - Valores de Pertinência dos números *fuzzy* para os AGSN

Risco	Função de Pertinência	Valores Fuzzy		
		$\mu = 0$	$\mu = 1$	$\mu = 0$
Alto	Linear Crescente	1,5	3	0

3.5.1. Modelagem para o Cálculo de Risco de Incêndio

Cada grau de risco foi definido de acordo com o seu impacto sobre o aumento do risco de incêndio. Os pesos foram atribuídos na dimensão para o mapa final entre 0 e 25 (Figura 19) levando em conta a importância relativa de cada variável como um fator de risco de incêndio.

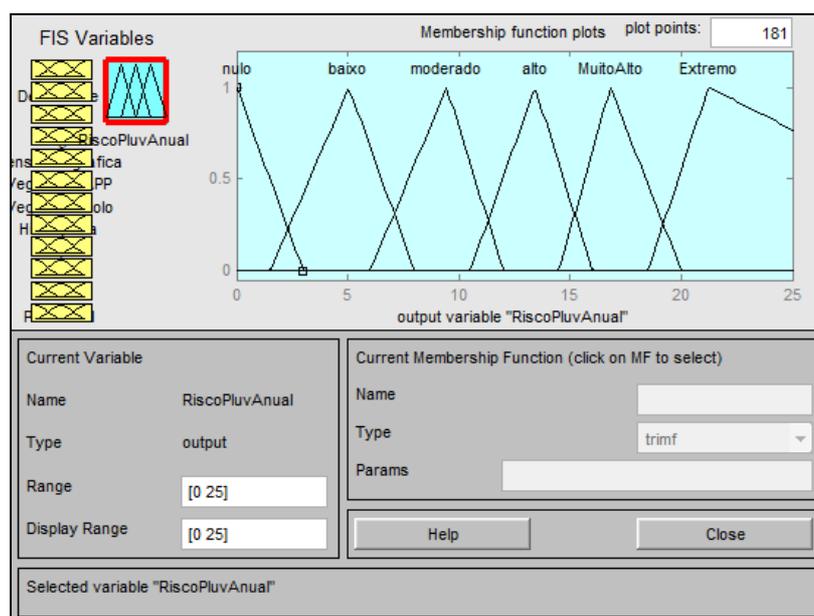


Figura 19 – Definição para o cálculo de risco de incêndio

A função de pertinência utilizada foi a Trapezoidal (trapmf) pela razão de os limites máximos determinaram o intervalo dentro do qual a função de pertinência é máxima e igual a 1. Portanto, os valores adotados nessa função podem-se conferir na Tabela 20.

Tabela 20 - Valores de Pertinência dos números *fuzzy* para a o Cálculo Final do Risco de Incêndio

Risco	Função de Pertinência	Valores Fuzzy		
		$\mu = 0$	$\mu = 1$	$\mu = 0$
Nulo	Triangular	-	0	3
Baixo	Triangular	1,5	5	8
Moderado	Triangular	6	9	12
Alto	Triangular	10,5	13	16
Muito Alto	Triangular	14,5	16	20
Extremo	Triangular	18,5	21	29

A definição das classes de risco baseou-se em dois tipos de dados, sendo eles os dados qualitativos (que podem ser mensurados de forma subjetiva) e quantitativos (que podem ser medidos e têm valor numérico). Com isso, a construção dos valores de pertinência da tabela acima foram definidas com base na tabela de risco proposta por Ribeiro *et. al* (2008) e posterior aplicação de regras e modelagem do cálculo do valor *fuzzy* estabelecido pelo modelo Mamdani-Larsen.

3.5.2. Construção das Regras

As regras foram definidas de acordo com o grau de vulnerabilidade das variáveis utilizadas para essa modelagem, de modo que o valor final resultasse no fator de risco também definido pelas variáveis lingüísticas: Nulo, Baixo, Moderado, Alto, Muito Alto e Extremo. Foram criadas, no total, 406 regras e para essa definição foi utilizado o modelo Mamdani-Larsen por se utilizar mais de uma variável linguística e através do operador booleano *AND* foi efetuado o produto dessas variáveis, por exemplo: SE (Declividade é baixa) E (Uso do Solo é baixo) E (Densidade Demográfica é baixa) E (Hidrografia é baixa) E (AGSN é baixo) E (Pluviometria é alta) E (Rede Viária é baixa) ENTÃO (Risco é Nulo). Na Figura 20 apresenta-se a configuração da definição dessas regras.

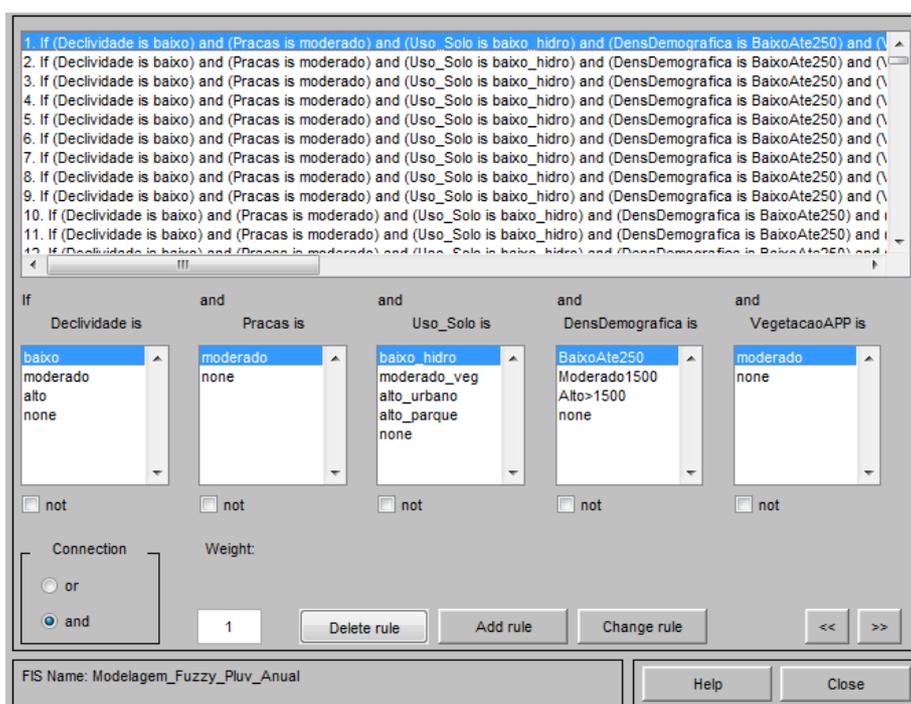


Figura 20 – Definição das Regras

3.5.3. Visualização do Modelo *Fuzzy* para os valores iniciais (*input*)

Após a elaboração das regras que definiram as classes de risco de incêndio, foi exportado o banco de dados contendo os atributos no SIG com os valores definidos nessa modelagem. Esses valores foram alimentados no MatLab (*input*) e o valor *fuzzy* calculado (Figura 21) foi alimentado nesse mesmo banco de dados e

importado novamente para o SIG através da junção das tabelas (Figura 22), possibilitando assim, a geração do mapa de risco.

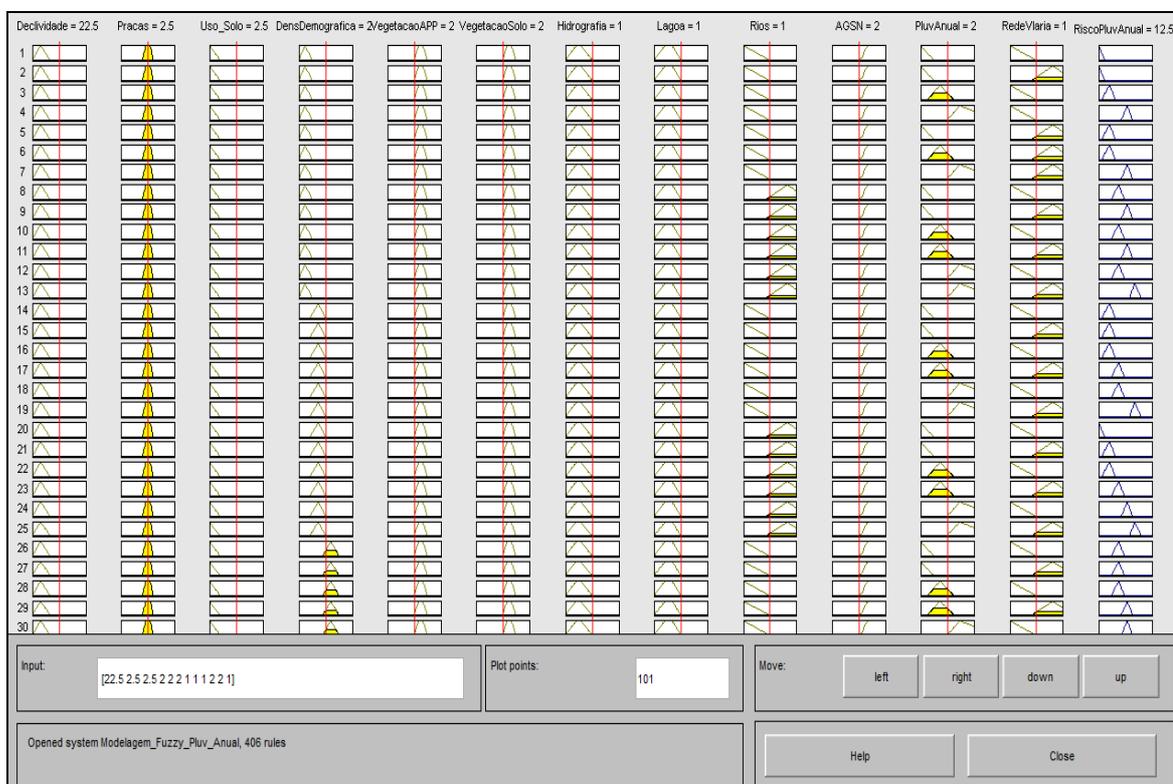


Figura 21 – Cálculo do Risco de Incêndio

Shape_Risco_Fuzzy								
FID	Shape *	OBJECTID	PESO DEC	PESO B	PESO L	PESO H	VALOR FUZZY	
686	Polygon	687	4	1	3	0	0.998	
687	Polygon	688	4	1	3	0	0.998	
688	Polygon	689	4	1	3	0	0.998	
689	Polygon	690	4	1	3	0	0.998	
690	Polygon	691	4	1	2	0	0.998	
691	Polygon	692	4	1	3	0	0.998	
692	Polygon	693	4	1	1	0	0.998	
693	Polygon	694	4	1	1	0	0.998	
694	Polygon	695	4	1	1	0	0.998	
695	Polygon	696	4	1	1	0	0.998	
696	Polygon	697	4	1	1	0	0.998	
697	Polygon	698	4	1	2	0	0.998	
698	Polygon	699	4	1	3	0	0.998	
699	Polygon	700	4	1	2	0	0.998	
700	Polygon	701	4	1	3	0	0.998	
701	Polygon	702	4	1	1	0	0.998	
702	Polygon	703	5	1	3	0	1.03	
703	Polygon	704	5	1	3	0	1.03	
704	Polygon	705	5	1	3	0	1.03	
705	Polygon	706	5	1	3	0	1.03	
706	Polygon	707	5	1	3	0	1.03	
707	Polygon	708	5	1	3	0	1.03	
708	Polygon	709	5	1	3	0	1.03	
709	Polygon	710	5	1	3	0	1.03	
710	Polygon	711	5	1	3	0	1.03	
711	Polygon	712	5	1	3	0	1.03	
712	Polygon	713	5	1	3	0	1.03	
713	Polygon	714	5	1	3	0	1.03	
714	Polygon	715	5	1	2	0	1.03	
715	Polygon	716	5	1	3	0	1.03	
716	Polygon	717	5	1	3	0	1.03	
717	Polygon	718	5	1	3	0	1.03	
718	Polygon	719	5	1	3	0	1.03	
719	Polygon	720	5	1	2	0	1.03	

Figura 22 – Tabela Defuzzificada importada para o ArcGIS

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir do trabalho desenvolvido, atingiram-se resultados visualizados através dos mapas de risco e sendo possível a avaliação dos modelos de predição de risco de incêndio.

4.1. Análise da Metodologia proposta por Ribeiro *et al* (2008)

4.1.1. Mapa de Influência do Uso e Ocupação do Solo para o risco de incêndio

Analisando o mapa de uso e ocupação do solo, ilustrado pela Figura 23 e melhor visualizado no Anexo 01, de acordo com as classes definidas por Ribeiro *et al* (2008), é possível concluir que apesar de existência de várias classes de ocupação, há uma predominância das classes referentes à áreas urbanizadas e à áreas de preservação ambiental, tais como manguezais e vegetação nativa. Assim, interpretando o mapa para essa variável, constata-se que área de estudo está classificada no padrão de risco de incêndio de peso Baixo a Moderado.

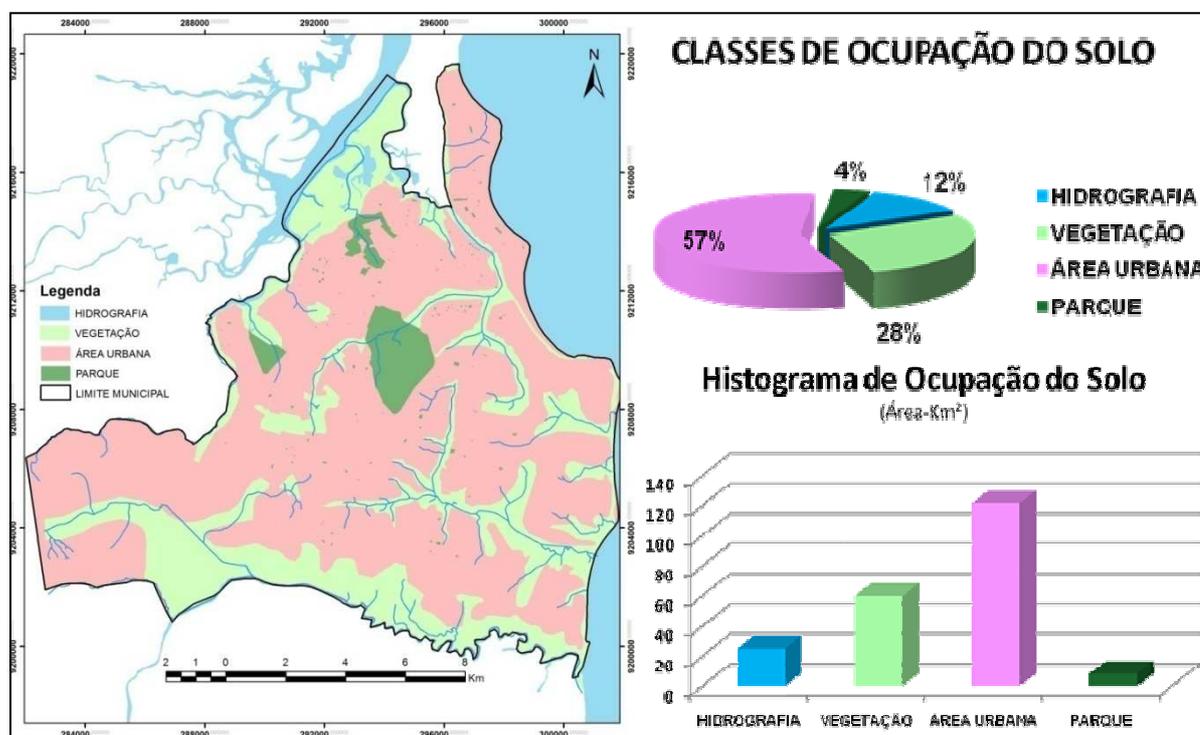


Figura 23 - Mapa de Influência do Uso e Ocupação do Solo para o risco de incêndio

4.1.2. Mapa de Influência da Rede Viária para o risco de incêndio

A área de estudo é composta por vias de grande circulação, pois toda a malha de logradouros se concentra em área urbana. Como é proposta na metodologia, a área de influência é de 100 m a partir dos *layers* dos eixos de logradouros. Vale ressaltar que essa análise de *buffer* considerou toda a área de estudo como sendo plana. Assim, pode-se que a área de influência viária em João Pessoa, ocupa aproximadamente 58% da área municipal sob influência e 42% de área sem influência (Figura 24, e melhor visualizado no Anexo 02). Apesar de a metodologia proposta tratar do comportamento de rede viária em área florestal e rural, não prejudica a análise se aplicado o método para área urbana porque, independente da situação, a estrada serve como corta-fogo e permite a circulação de veículos, pessoas e materiais combustíveis.

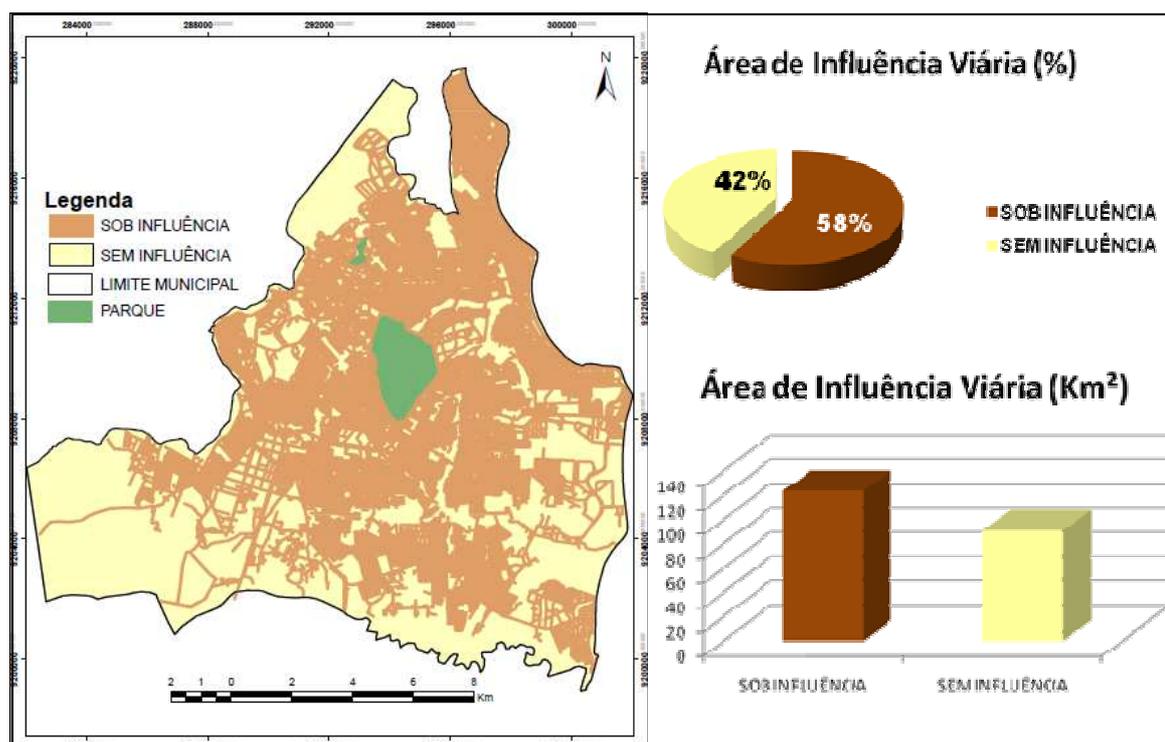


Figura 24 – Mapa da Influência da Rede Viária no município de João Pessoa

4.1.3. Mapa de Influência da Declividade para o risco de incêndio

De acordo com o mapa, apesar de a altitude variar de 1 a 71 m, a área apresenta declividade bastante variada, possuindo cinco classes, de acordo com a

metodologia. Analisando o mapa, cujas classes de riscos têm pesos de 1 a 5, afirma-se que esse parâmetro corresponde à variação de risco baixo à extremo na tabela de ponderação, como ilustra o mapa da Figura 25 e melhor visualizado no Anexo 03.

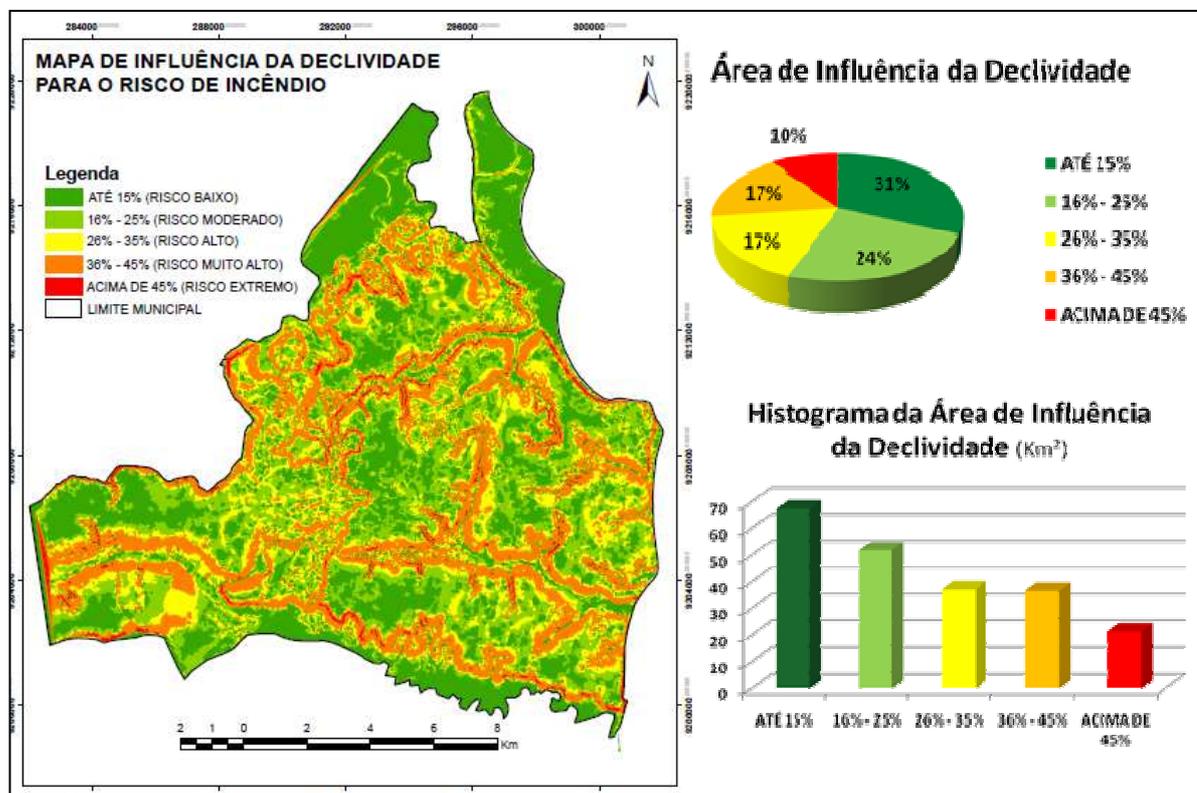


Figura 25 – Mapa da Influência da Declividade para o risco de incêndio no município de João Pessoa

4.1.4. Mapa de Influência da Densidade Demográfica para o risco de incêndio

Através do mapa temático de influência da densidade demográfica para o risco de incêndio, pode-se visualizar a distribuição espacial da população através dos setores censitários do IBGE em João Pessoa. De acordo com a tabela de ponderação, a área de influência de risco de incêndio foi dividida em 3 classes, onde percebeu-se que 41% da área territorial apresenta fator de risco Baixo, 18% Moderado e 41% Elevado, como ilustra o mapa da Figura 26 e melhor visualização no Anexo 04.

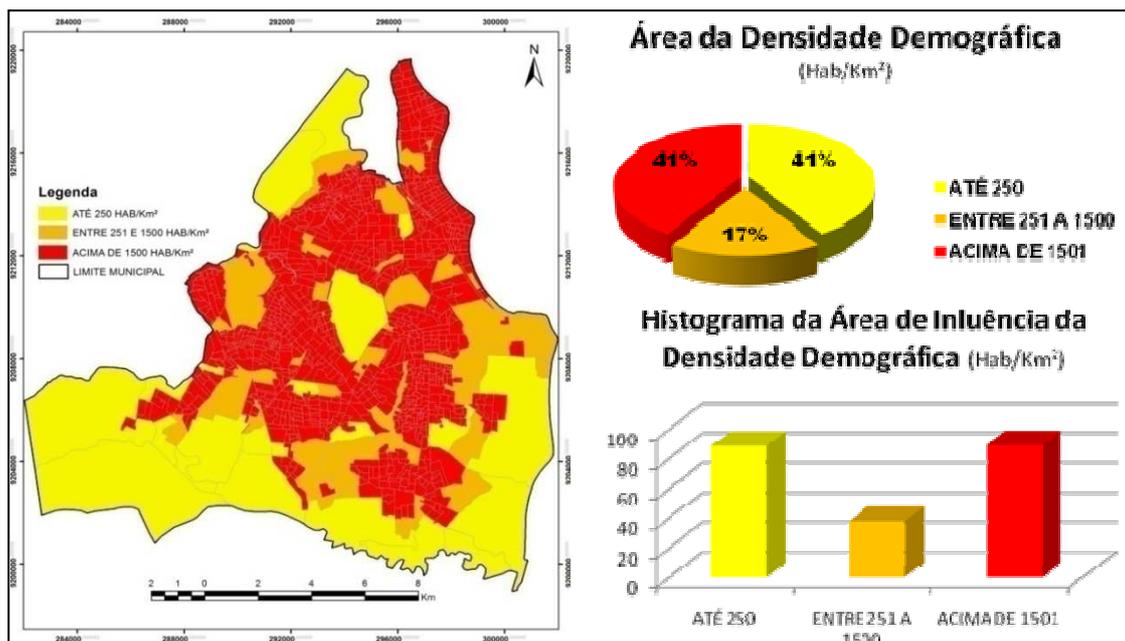


Figura 26 – Mapa de Influência da Densidade Demográfica para o risco de incêndio

4.1.5. Mapa de Influência da Hidrografia para o risco de incêndio

Com base no mapa de influência da hidrografia, o resultado apresentado é referente à rede hidrográfica levando em consideração as bacias hidrográficas e o índice de pluviometria anual média para o ano de 2010. Vale ressaltar que essa análise de *buffer* considerou toda a área de estudo como sendo plana. Pode-se visualizar a área que sofre influência da rede no município, que corresponde a 12% da área municipal, como ilustra a Figura 27 apresentada a seguir e no Anexo 05.

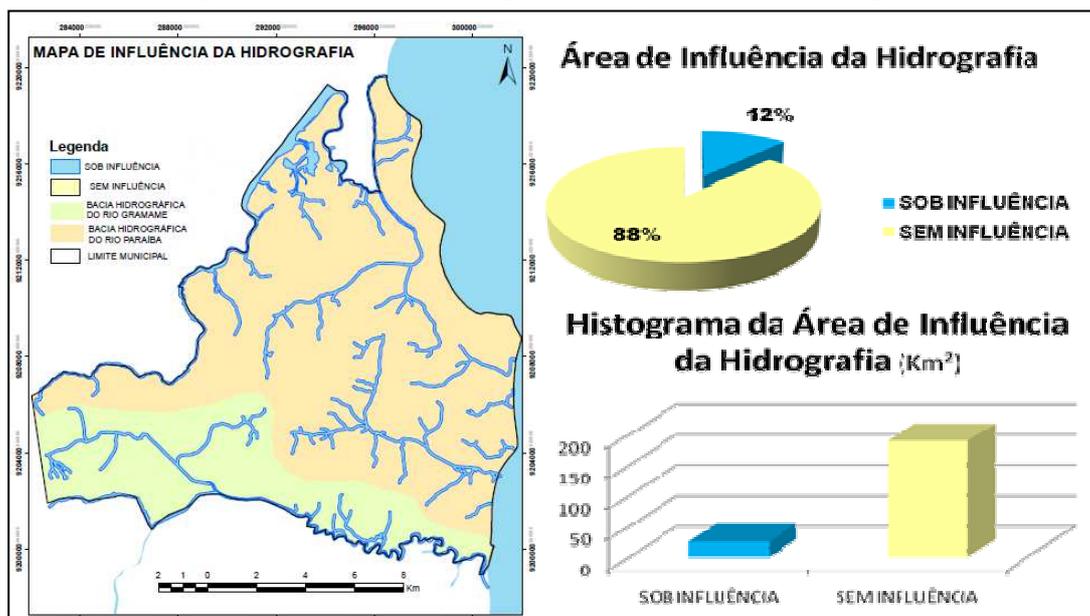


Figura 27 - Mapa de Influência da Hidrografia para o Risco de Incêndio

4.1.6. Mapa de Risco de Incêndio para o ano de 2010 de acordo com a metodologia proposta por Ribeiro *et. al* (2008)

No mapa de risco do município, resultante da integração dos mapas das variáveis apresentadas anteriormente, obteve-se uma amplitude de pesos que variou do 1 ao 19, isentando assim a área de estudo da vulnerabilidade de risco Extremo. Analisando as variáveis consideradas, observa-se na Figura 28 e melhor visualização no Anexo 06, que num cenário geral, o risco de incêndio com maior área é o de peso Baixo, seguidos do risco Moderado, Nulo, Alto e Muito Alto.

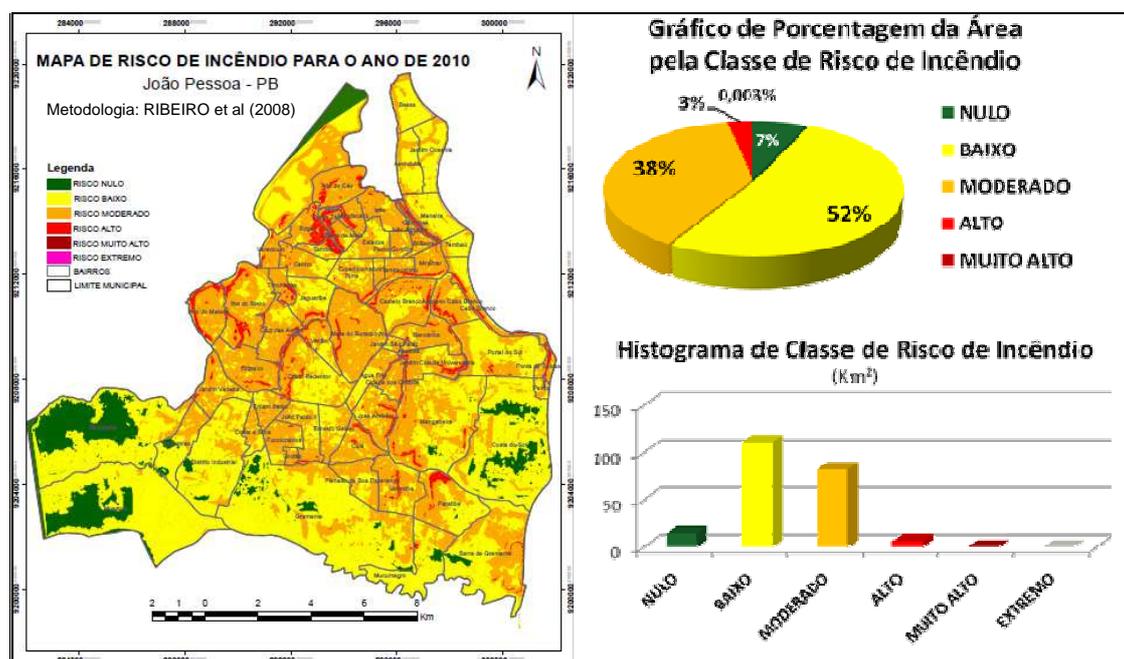


Figura 28 – Mapa de Risco de Incêndios para o ano de 2010 proposto por Ribeiro *et al* (2008)

O mapa de risco de incêndio mostra que as áreas consideradas como Risco Nulo estão, em sua maior parte, concentradas onde não há malha urbana. As áreas consideradas Risco Baixo se justificam pelo fato das vias de grande circulação de pessoas e de fluxo de carros servirem como impedimento de propagação das chamas. Porém, há uma alta densidade demográfica que eleva o risco de incêndio para risco Moderado, o que também corresponde às áreas localizadas às margens dos leitos dos rios próximos à malha urbana. Assim, devido à influência da população e da vegetação que circunda essas áreas, se estabelece esse patamar de probabilidade. As áreas de Risco Alto e Muito Alto estão concentradas ao redor dos rios, o que corresponde a uma área onde predominam altas declividades e

várias espécies de vegetação nativa, fornecendo uma maior probabilidade para a propagação de chamas e por consequência, um risco mais elevado.

4.2. Análise da Metodologia proposta por Chuvieco *et al* (2010)

4.2.1. Mapa de Influência da Vegetação para o risco de incêndio

A área que está sob influência da vegetação, seja ela densa ou não, corresponde a 47% de ocupação da área territorial do município e a 53% refere-se a área sem cobertura de vegetação. Assim, interpretando o mapa da Figura 29 (melhor visualização no Anexo 07), conforme essa variável, a área de estudo se enquadra como área de risco de incêndio Médio.

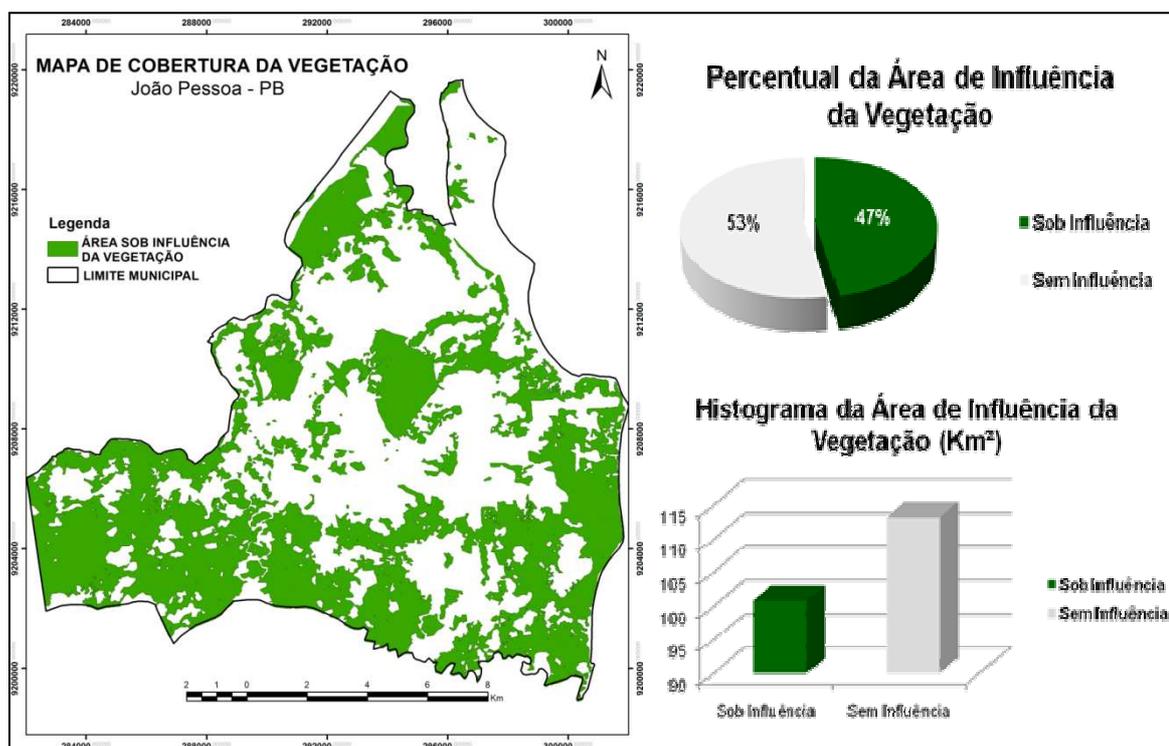


Figura 29 – Mapa de Influência da Vegetação

4.2.2. Mapa de Influência da Declividade para o risco de incêndio

Apesar de a altitude no município variar de 1 a 71 m, pode-se concluir que a área apresenta declividade bastante variada. Assim, as classes de riscos obtidas, aplicando-se os pesos de 0 a 2, atingiram o risco Baixo (27%), Médio (61%) e Alto (12%), o que pode ser observado na Figura 30 e melhor visualizado no Anexo 08.

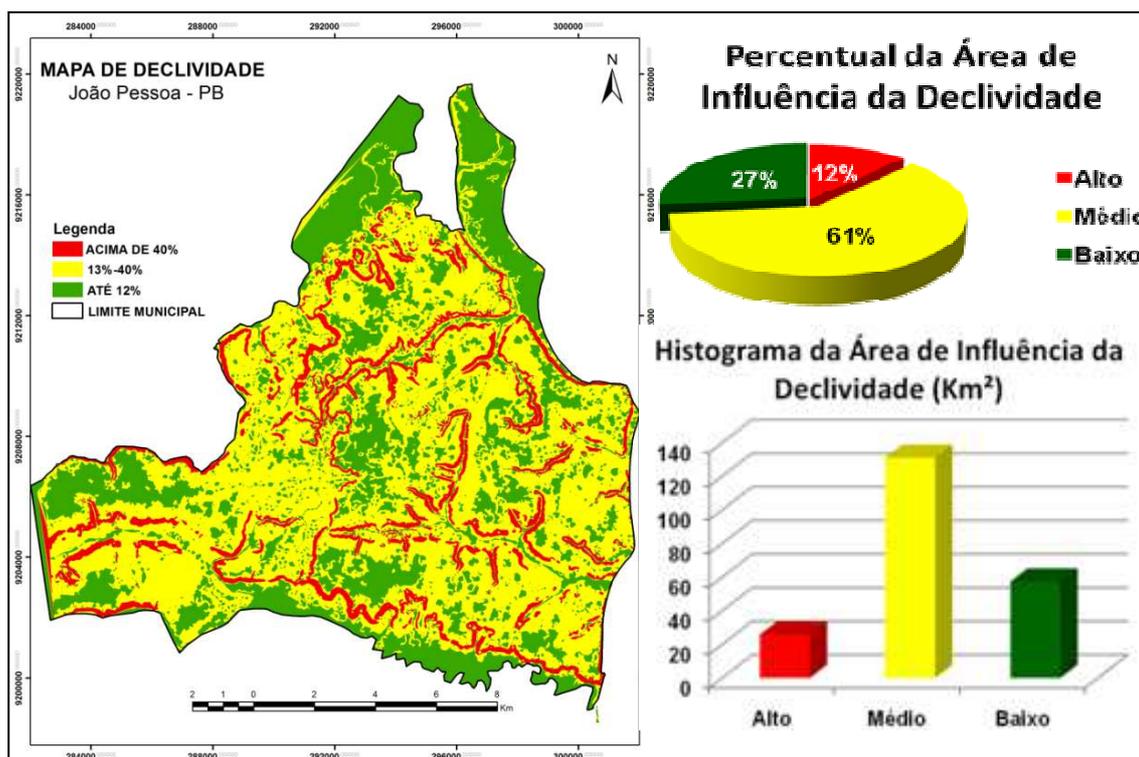


Figura 30 – Mapa de Influência da Declividade para o risco de incêndio proposto por Chuvieco *et. al* (2010)

4.2.3. Mapa de Influência da Orientação das Encostas para o risco de incêndio

Os resultados geraram um mapa temático (vide Figura 31 e melhor visualização no Anexo 09) contendo áreas de risco baixo (36%) para orientação Sudeste/Sudoeste, de risco nulo (17%) para orientação Sul, de risco muito alto (15%) para orientação Noroeste/Oeste, risco extremo (11%) para orientação ao Norte, risco moderado (11%) para orientação a Leste e risco alto (10%) para orientação a Nordeste.

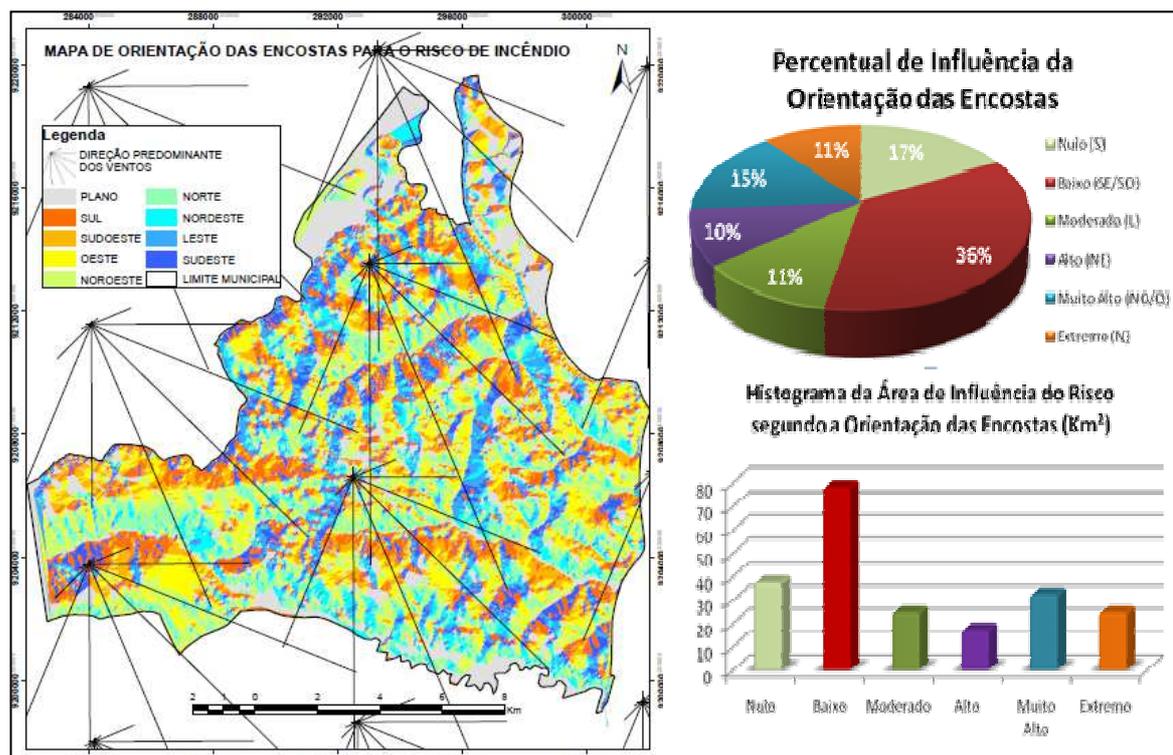


Figura 31 – Mapa de Influência da Orientação das Encostas para o risco de incêndio

4.2.4. Mapa de Influência da Proximidade a Estradas para o risco de incêndio

Os resultados apontaram os mesmos parâmetros que a metodologia de Ribeiro *et al* (2008), onde 47% da área municipal está sob influência da rede viária e 53% da área está sem influência. Isso pode ser visualizado no mapa da Figura 24 e no mapa constante no Anexo 02.

4.2.5. Mapa de Influência da Elevação para o risco de incêndio

Na área de estudo, a faixa de altitude não envolve grande diferença entre as áreas mais altas e mais baixas no tocante a disparidade de chuvas. Levando-se em consideração que a pluviometria é apenas um parâmetro para a elevação, mas a retenção da água, infiltração, umidade, evapotranspiração ou evaporação são tão importantes quanto a pluviometria em si. Com base no exposto, o mapa de elevação foi gerado apenas com uma classe pelo fato da altitude da área territorial variar de 1 a 71 m (vide Anexo 10). Portanto, atribuiu-se o risco baixo

para toda área devido ao fato de apresentar altitudes menores que 398 metros, conforme metodologia utilizada por Chuvieco *et al.* (2010).

4.2.6. Mapa de Risco de Incêndio para o ano de 2010 de acordo com a metodologia proposta por Chuvieco *et al.* (2010)

No mapa final de risco do município, resultante da composição integrada dos mapas de risco das variáveis ilustradas anteriormente de acordo com a metodologia proposta, obteve-se uma amplitude de pesos que variou de 101 a 216. Assim, na área de estudo da vulnerabilidade de risco, não foram registradas as classes de risco Nulo, Alta, Muito Alta e Extrema.

Analisando os resultados apresentados no mapa da Figura 32 (e melhor visualizado no Anexo 11), observa-se que, num cenário geral, o risco de incêndio com maior área é o de peso Baixo (41%), seguidos do risco Moderado (32%) e risco Muito Baixo (27%).

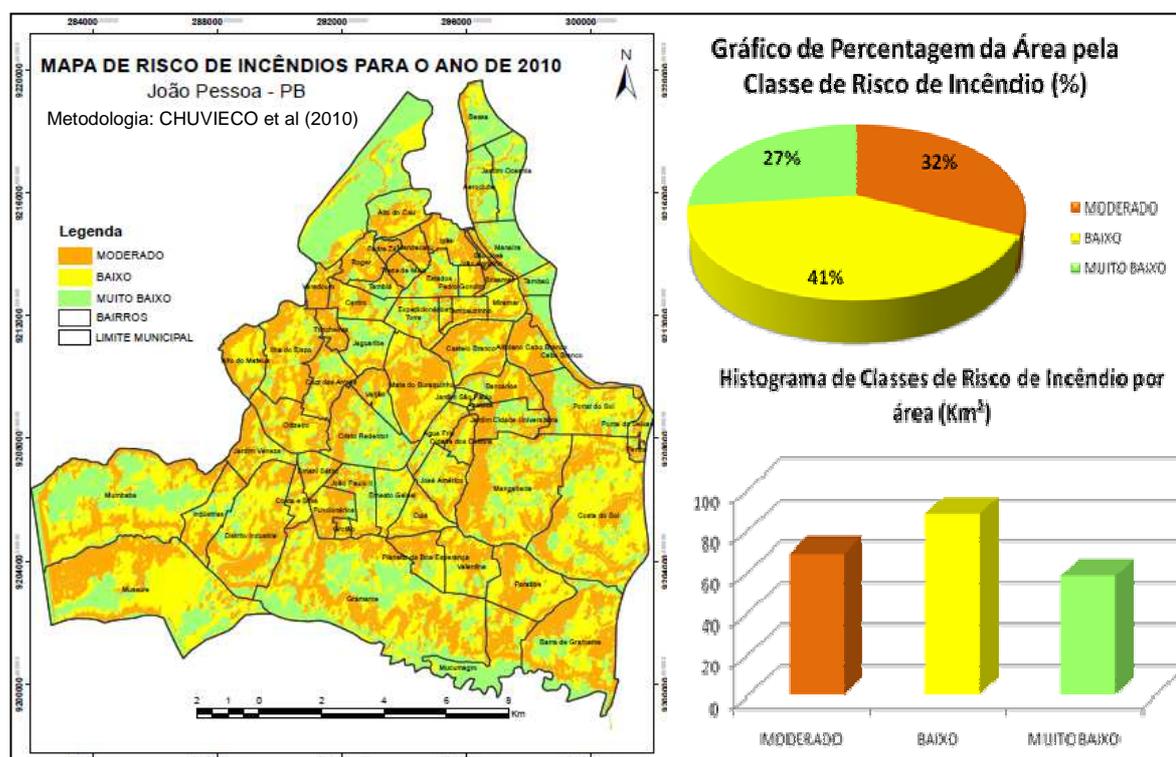


Figura 32 – Mapa de Risco de Incêndios para o ano de 2010 de acordo com Chuvieco *et al.* (2010)

O mapa de risco de incêndios mostra que as áreas consideradas como Risco Baixo estão concentradas onde não há malha urbana. As áreas consideradas como

de Risco Moderado e Alto se concentram em locais de vias de circulação de pessoas, de fluxo de carros, transporte de materiais combustíveis, transporte de explosivos e inflamáveis, mas em contrapartida as vias servem como barreira de propagação das chamas, uma vez que o incêndio fora iniciado. Além disso, as áreas em seu entorno possuem uma alta densidade demográfica (que não foi considerada nessa metodologia) que eleva o risco de incêndio. As áreas situadas às margens dos leitos dos rios próximos à malha urbana e pela vegetação que circunda essas áreas foram classificadas com Risco Moderado. Isso se justifica pelo fato de estar concentrado ao redor dos rios, levando a população à realização de práticas esportivas, lazer ou acampamento e, correspondendo a uma área onde predominam várias espécies de vegetação nativa e encostas orientadas ao sudeste.

4.3. Análise da Metodologia com a Aplicação da Lógica *Fuzzy*

Para a geração do modelo de risco de incêndio utilizando a lógica *fuzzy*, as variáveis adotadas como dados de entrada foram as de uso e ocupação do solo, pluviometria, densidade demográfica, declividade, rede viária, hidrografia e aglomerados subnormais conforme citado anteriormente. A modelagem da pluviometria foi apresentada em quatro mapas devido a variação das chuvas no decorrer do ano, sendo um mapa temático para a pluviometria anual, um para pluviometria no período chuvoso, um para o primeiro período de estiagem e um para o segundo período de estiagem. Os resultados dessa metodologia serão apresentados a seguir.

4.3.1. Mapa de Influência do Uso e Ocupação do Solo para o risco de incêndio

A modelagem do mapa de uso e ocupação do solo apresentou o mesmo resultado de acordo com as classes definidas por Ribeiro *et. al* (2008). Percebe-se que as classes referentes às áreas urbanizadas e às áreas de preservação ambiental, tais como manguezais e vegetação nativa são as que possuem maior predominância, o que classifica de acordo com o grau de pertinência *fuzzy*, a área

de estudo num padrão de risco de incêndio de peso Baixo a Moderado. Isso pode ser visualizado no mapa da Figura 23 e no Anexo 01.

4.3.2. Mapa de Influência da Pluviometria para o Risco de Incêndio

Foram gerados quatro mapas temáticos referente aos dados de pluviometria no ano de 2010. Para a classificação do risco de incêndio a partir dos dados pluviométricos, foi utilizada como referência para a modelagem *fuzzy* a Tabela 12, proposta por Assunção e D’Almeida (2004) *apud* Prudente (2010), contida no referencial teórico.

4.3.2.1. Mapa de Influência da Pluviometria Anual Média para o Risco de Incêndio

Analisando o resultado apresentado na Figura 37, observa-se que 67% da área de estudo apresentaram risco baixo, distribuído nos bairros das zonas norte, nordeste, oeste e sudoeste do município e 33% da área apresentaram risco moderado distribuídos pelas zonas leste, sudeste e sul do município. Isso pode ser observado no mapa da Figura 33 e melhor visualizado no Anexo 12.

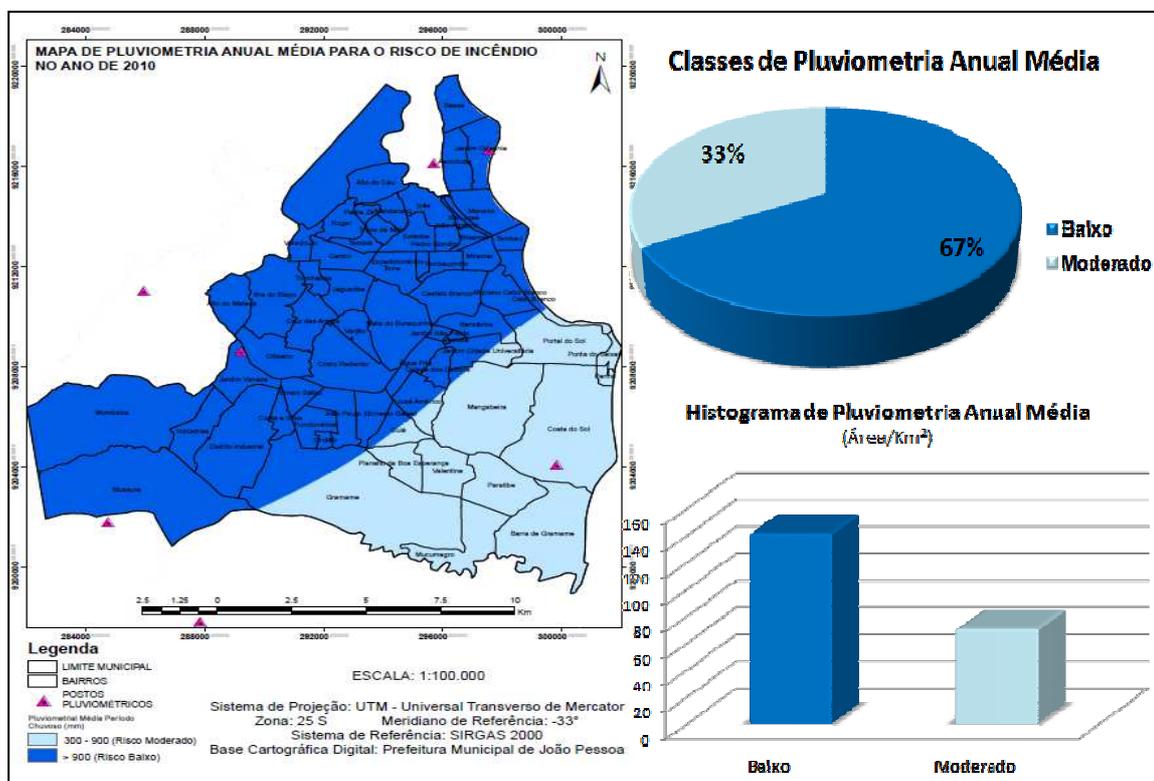


Figura 33 – Mapa de Pluviometria Anual Média para o Risco de Incêndio

4.3.2.2. Mapa de Influência da Pluviometria no Período Chuvoso para o risco de incêndio

O mapa temático gerado para o período chuvoso, que correspondeu no ano de 2010 aos meses de abril, maio, junho, julho e agosto, apresentou apenas uma classe de risco (baixo) para todo o município, onde todos os valores resultantes da interpolação apresentaram resultados inferiores a 375 milímetros. Isso pode ser observado no mapa do Anexo 13.

4.3.2.3. Mapa de Influência da Pluviometria no Primeiro período de Estiagem para o risco de incêndio

O primeiro período de estiagem correspondente aos meses de janeiro, fevereiro e março, resultou em um mapa temático ilustrando duas classes de risco onde 82% da área territorial apresentaram risco baixo enquanto que 18% apresentaram risco moderado distribuído nas porções norte e sudeste do município. Isso pode ser observado no mapa da Figura 34 e melhor visualizado no Anexo 14.

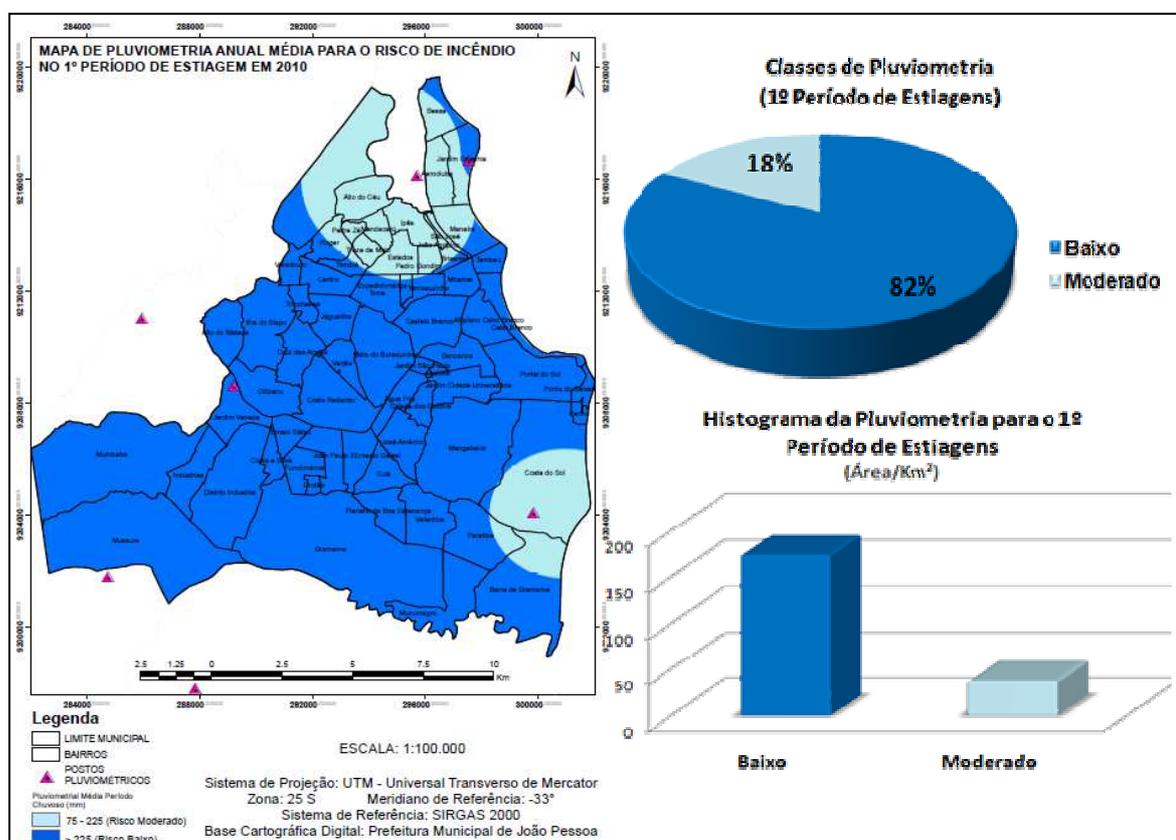


Figura 34 – Mapa de Pluviometria para o Risco de Incêndio no primeiro período de estiagens

4.3.2.4. Mapa de Influência da Pluviometria no Segundo período de Estiagem para o risco de incêndio

O mapa temático gerado referente ao segundo período de estiagem correspondente aos meses de setembro, outubro, novembro e dezembro, resultou em duas classes de risco onde 99% da área territorial apresentaram risco moderado enquanto que apenas 1% apresentou risco alto distribuído em uma pequena área na porção oeste e outra na porção sudoeste do município. Esse resultado se justifica devido ao fato de que no período de setembro a dezembro de 2010 a escassez de chuvas foi maior do que o primeiro período de estiagem, apresentando uma pluviometria média acumulada de 1.238,7mm nos quatro últimos meses do ano de 2010 enquanto que nos três primeiros meses de 2010, referente ao primeiro período de estiagem apresentou um índice pluviométrico acumulado de 2.719,0mm. Isso pode ser observado no mapa da Figura 35 e melhor visualizado no Anexo 15.

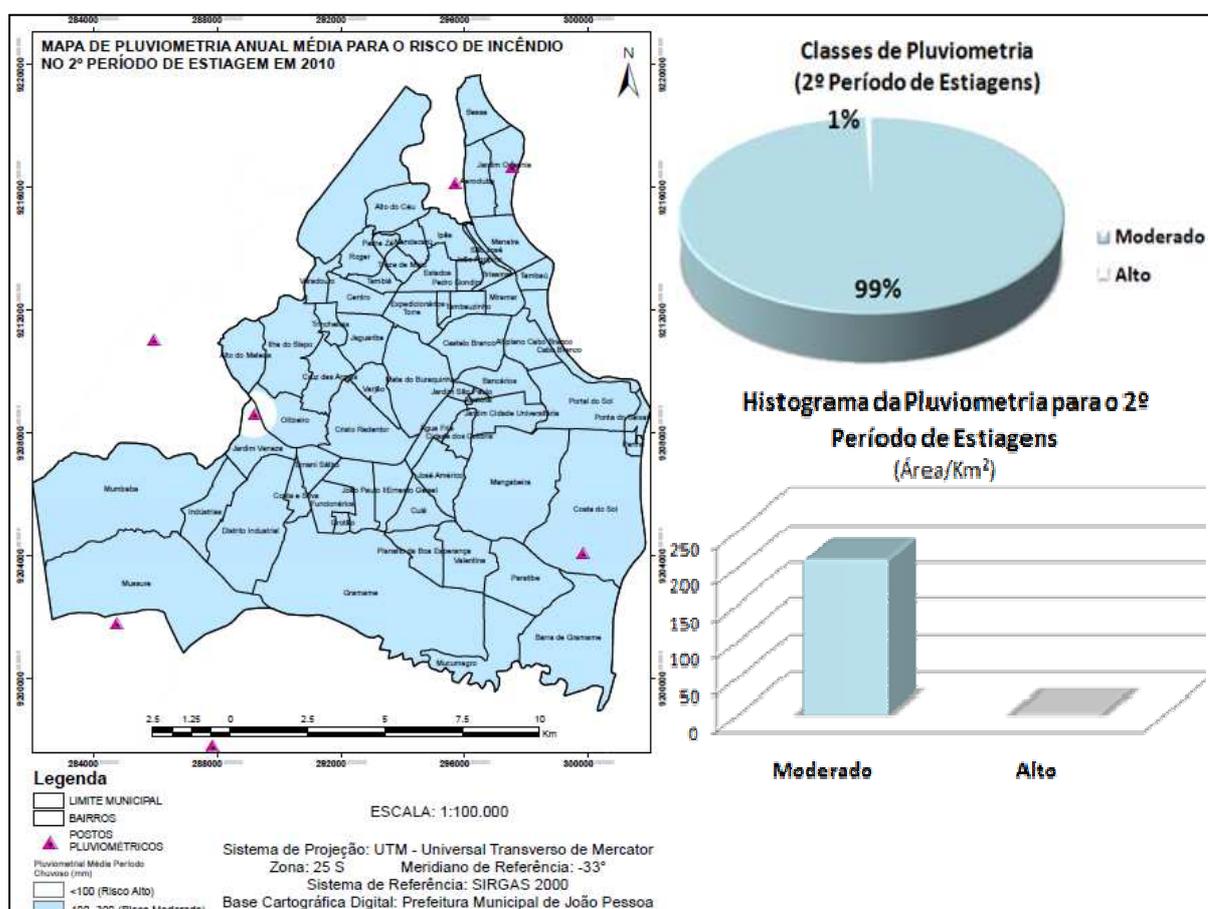


Figura 35 – Mapa de Pluviometria para o Risco de Incêndio no segundo período de estiagens

4.3.3. Mapa de Influência da Densidade Demográfica para o risco de incêndio

Através do mapa temático da densidade demográfica, gerado com base nos setores censitário, seguiu-se o mesmo critério de ponderação proposto por Ribeiro *et al* (2008), onde a área de influência de risco de incêndio foi dividida em 3 classes e percebeu-se que 41% da área territorial apresenta fator de risco Baixo, 18% risco Moderado e 41% risco Elevado, como ilustra o mapa ilustrado na Figura 26 e melhor visualizado no mapa do Anexo 04.

4.3.4. Mapa de Influência da Hidrografia para o risco de incêndio

Com base no mapa da hidrografia, visualiza-se que 12% da área do município sofrem influência da rede hidrográfica, como ilustra o mapa na Figura 27 e melhor visualizado no mapa do Anexo 05.

4.3.5. Mapa de Influência da Rede Viária para o risco de incêndio

Pode-se visualizar no mapa temático abaixo que a área de influência viária ocupa 58% da área municipal sob influência e 42% de área sem influência, como ilustra o mapa na Figura 24 e melhor visualizado no mapa do Anexo 02.

4.3.6. Mapa de Influência da Declividade para o risco de incêndio

De acordo com o mapa gerado, pode-se concluir que a área apresenta declividade bastante variada, possuindo cinco classes, de acordo com a metodologia de Ribeiro *et al* (2008). Analisando o mapa (de forma isolada), cujas classes de riscos têm pesos de 1 a 5, afirma-se que esse parâmetro corresponde a variação de risco baixo à extremo na tabela de ponderação, como ilustra o mapa na Figura 25 e melhor visualizado no mapa do Anexo 03.

4.3.7. Mapa de Influência dos Aglomerados Subnormais para o risco de incêndio

Analisando o mapa temático dos aglomerados subnormais, apesar de apresentar uma característica dinâmica, percebe-se que as áreas classificadas nessa categoria no ano de 2010 ocupam uma área descontínua de, aproximadamente, 4,8 Km², o que corresponde a 2% da área de estudo e de acordo com a classe de peso proposta os polígonos demarcadores dessas zonas estão classificados em risco alto, seguindo o grau de pertinência *fuzzy* ilustrado anteriormente. Isso pode ser visualizado no mapa da Figura 36 e no Anexo 16.

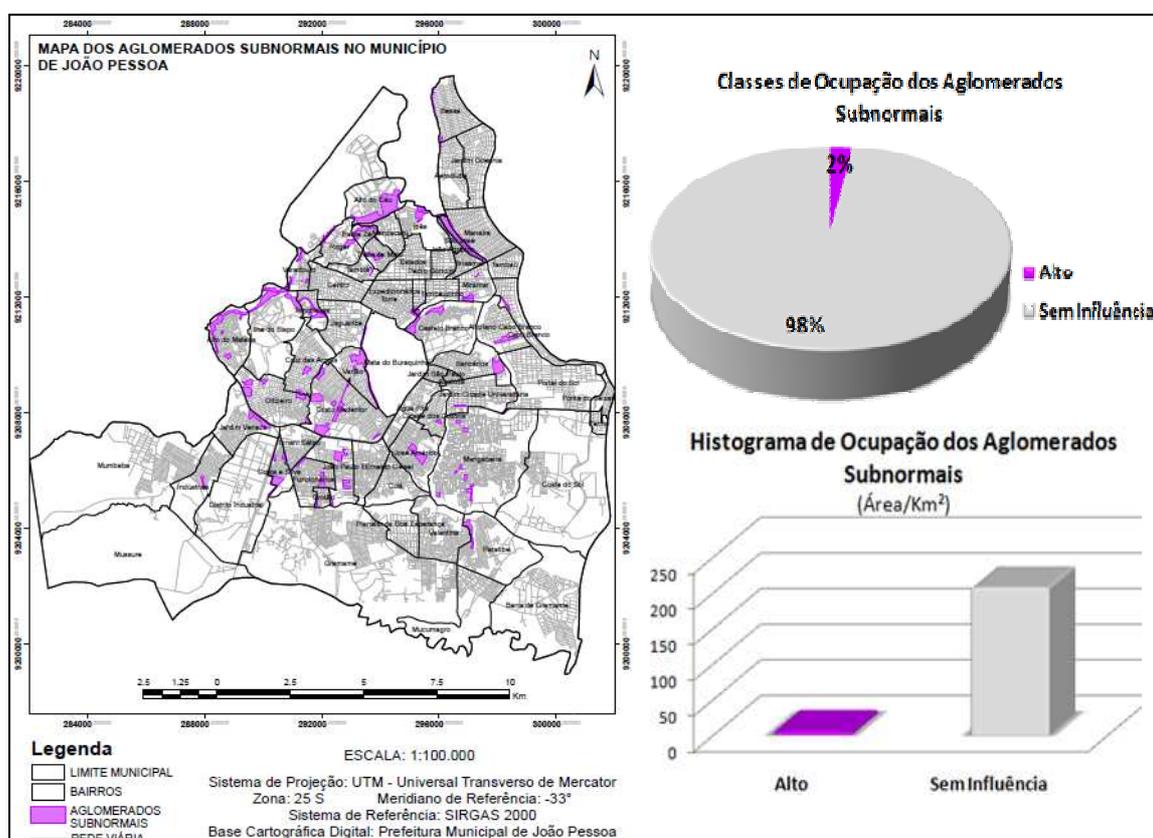


Figura 36 – Mapa de Influência dos Aglomerados Subnormais para o risco de incêndio

4.3.8. Mapas de Risco de Incêndio para o ano de 2010 conforme a Lógica Fuzzy

Foram gerados quatro mapas finais de risco do município, utilizando a lógica *fuzzy*, gerado através do *overlay* dos mapas obtidos anteriormente, separando apenas os mapas finais de pluviometria. Ou seja, os mapas de risco foram gerados

separadamente de acordo com a sazonalidade dos dados pluviométricos. Assim, foi gerado um mapa de risco de incêndio através do *overlay* dos mapas juntamente com o mapa de pluviometria anual média, um segundo mapa retirando-se o mapa de pluviometria anual e acrescentando o mapa de pluviometria no período chuvoso, um terceiro mapa retirando o mapa pluviométrico anterior e adicionando o mapa de pluviometria referente ao primeiro período de estiagem e por fim, um quarto e último mapa retirando a pluviometria do primeiro período de estiagem e acrescentando o mapa pluviométrico referente ao segundo período de secas. Pode-se conferir o resultado do *overlay* desses mapas na Figura 37 a seguir e melhor visualizado no Anexo 17.

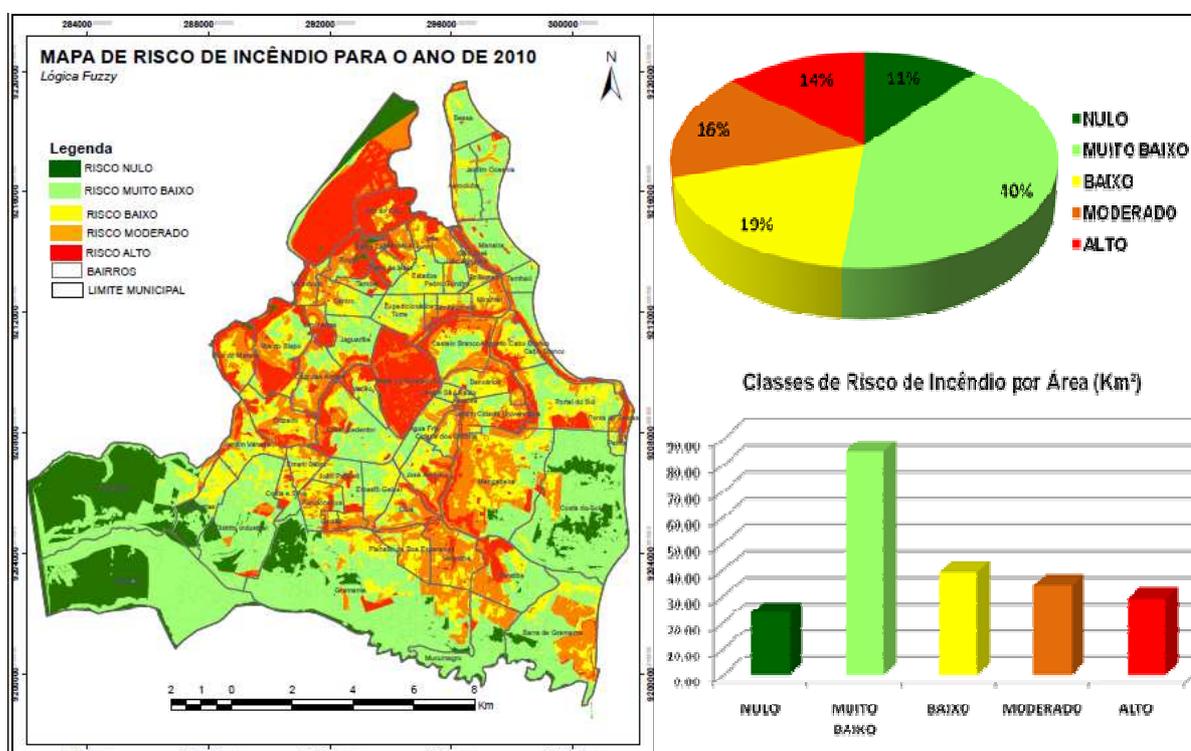


Figura 37 – Mapa de Risco de Incêndio gerado a partir do *overlay* de mapas com o mapa de pluviometria anual média

Analisando o mapa de risco de incêndio envolvendo as variáveis propostas nessa metodologia (Uso do Solo, Rede Viária, Vegetação, Densidade Demográfica, Hidrografia, Declividade, Aglomerados Subnormais, Elevação) adicionado com o mapa de pluviometria anual média em 2010 (mapa da Figura 33), observou-se que 40% da área de estudo apresentou risco muito baixo, seguido de 19% da área municipal que apresentou risco baixo, 16% com risco moderado, 14% apresentou

risco alto e 11% da área de estudo obteve um fator de risco nulo. Observa-se uma classificação de risco abrupta de Muito Baixo para Alto no bairro Ponta do Seixas que se justifica pela presença de falésias e, com isso, uma alta declividade.

O próximo mapa de risco gerado na Figura 38 a seguir (vide também no Anexo 18) refere-se à mesma integração dos planos de informação utilizados na análise anterior adicionando agora o mapa de pluviometria para a época chuvosa, que no ano de 2010 ocorreram entre os meses de abril a agosto.

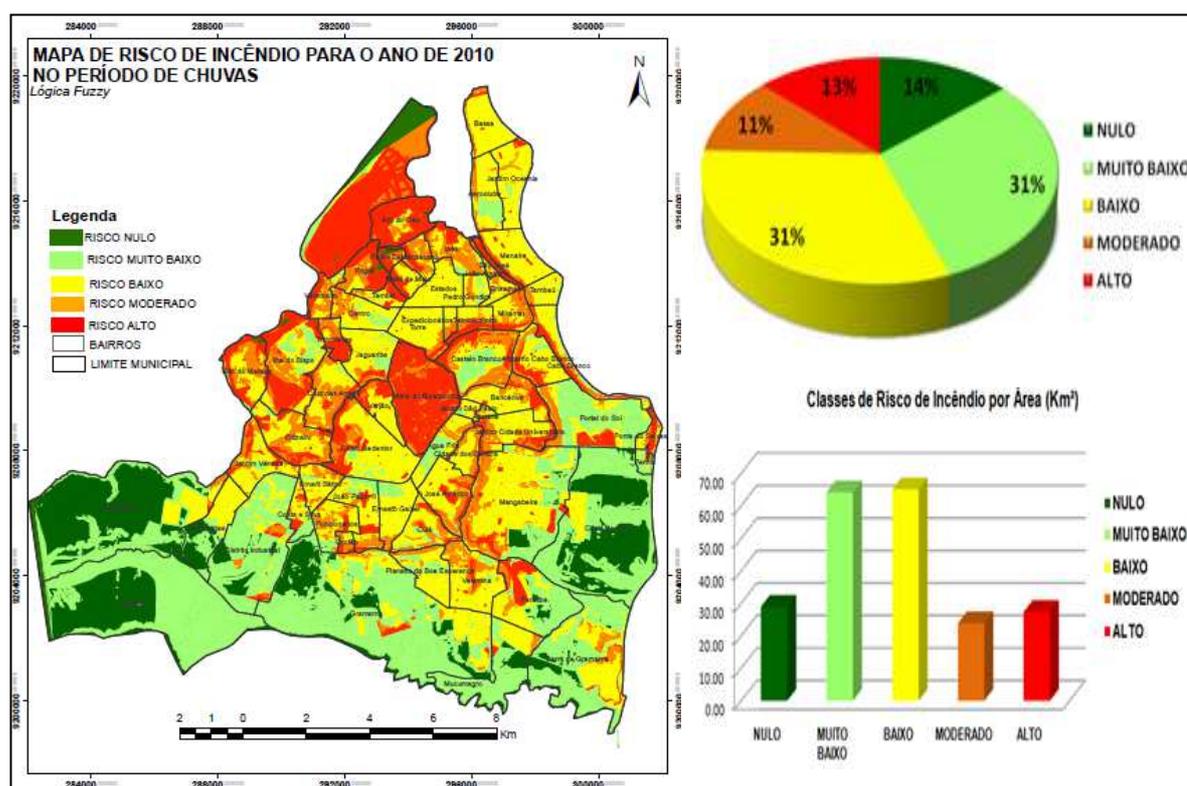


Figura 38 – Mapa de Risco de Incêndio gerado a partir do *overlay* de mapas com o mapa de pluviometria no período chuvoso

De acordo com o mapa, constatou-se que 31% da área territorial apresentou risco muito baixo e 31% da área municipal apresentou risco baixo, 11% com risco moderado, 13% apresentou risco alto e 14% da área de estudo obteve um fator de risco nulo. Comparando-se o mapa apresentado com o mapa anterior (Figura 37), observa-se que nos bairros de Tambaú, Manaíra, Aeroclube, Jardim Oceania e Bessa, situados na orla marítima, há uma transição de Risco Muito Baixo para Risco Baixo. Mas, de uma maneira geral, há uma forte mudança de risco Moderado para risco Baixo, justificado pelo alto índice de chuvas no período.

O mapa de risco gerado na Figura 39 (melhor visualizado no Anexo 19) refere-se à mesma integração dos planos de informação utilizados na análise anterior adicionado com o mapa de pluviometria para a primeira época de estiagem, que no ano de 2010 ocorreram entre os meses de janeiro a março.

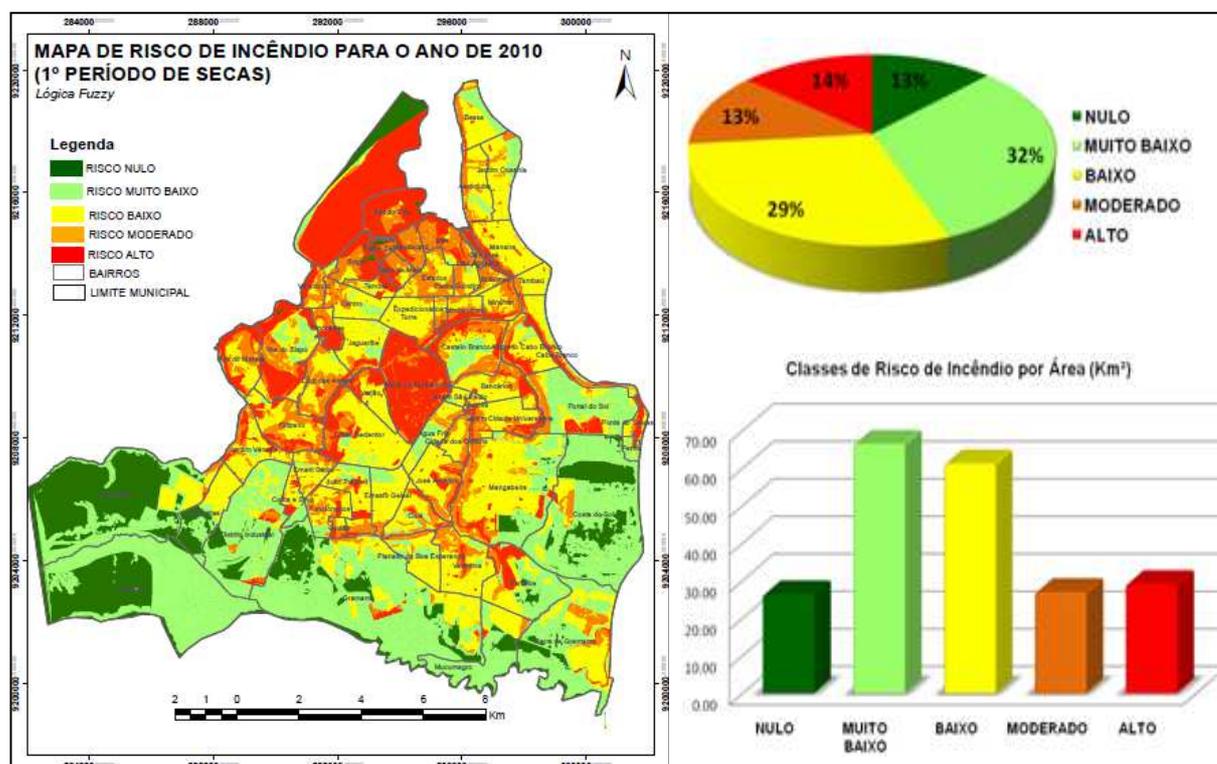


Figura 39 – Mapa de Risco de Incêndio gerado a partir do *overlay* de mapas com o mapa de pluviometria no primeiro período de estiagem

De acordo com o mapa, observou-se que 32% da área territorial obteve risco muito baixo e 29% da área municipal apresentou risco baixo, 13% com risco moderado, 14% apresentou risco alto e 13% da área de estudo resultou em um fator de risco nulo. Percebe-se no bairro do Aeroclube que há uma modificação de risco Baixo para risco Moderado em relação ao mapa da Figura 37 e 38 de forma que o solo e a vegetação apresentou um grau de umidade menor que o período chuvoso.

Analisando conjuntamente os três últimos mapas, constatou-se, de uma maneira geral, que não houve variação espacial significativa entre as classificações das áreas de risco de incêndio e verificou-se que os fatores de risco baixo e muito baixo apresentaram maior área de abrangência devido ao fato que, segundo os dados pluviométricos da AESA e de acordo com o gráfico da Figura 40, mesmo que o primeiro período de estiagem tenha apresentado um índice de chuvas menor que

o período chuvoso e que o período anual, ainda assim foram registrados altos índices de precipitação comparado com o segundo período de estiagem no município, apresentando condições ideais climáticas não propícias a ocorrência de incêndios.

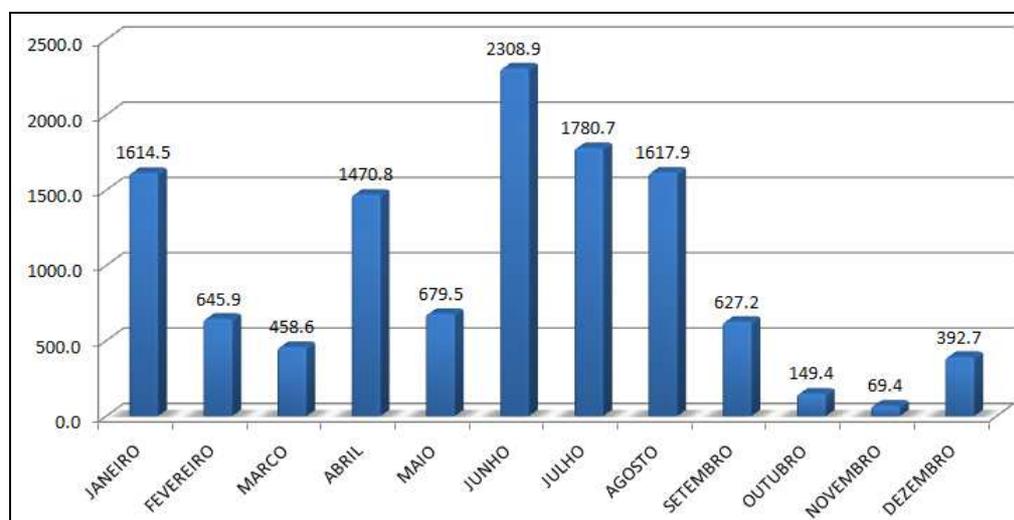


Figura 40 – Pluviometria mensal média em João Pessoa no ano de 2010
 Fonte: AESA

Constatou-se também que, basicamente, os perfis de risco Alto nos mapas apresentados se mantiveram, ou seja, não se alastraram. Porém, em relação ao mapa da Figura 37 (referente a pluviosidade anual média) a classificação de risco Alto ao longo da barreira do bairro Cabo Branco diminuiu, justificado pelo fato de o período anual também registrar baixos índices pluviométricos nos meses de fevereiro, março, maio, setembro, outubro, novembro e dezembro.

O quarto e último mapa de risco gerado ilustrado pela Figura 41 e melhor visualizado no Anexo 20, refere-se à mesma integração dos planos de informação utilizados na análise anterior adicionando agora o mapa de pluviosidade para o segundo período de estiagem, que no ano de 2010 ocorreram entre os meses de setembro a dezembro.

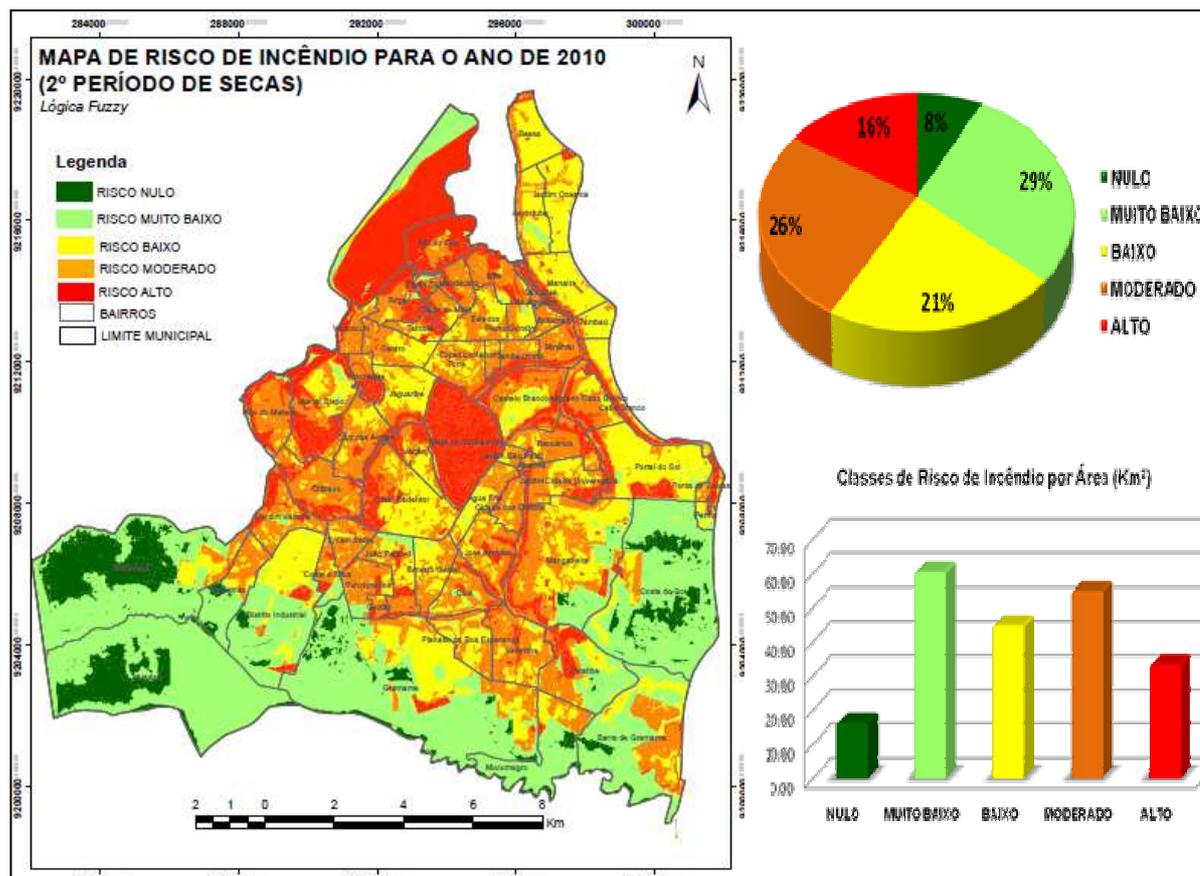


Figura 41 – Mapa de Risco de Incêndio gerado a partir do *overlay* de mapas com o mapa de pluviometria no segundo período de estiagem

De acordo com o mapa da Figura 41, observou-se que 29% da área de estudo apresentou risco muito baixo, seguido de 26% da área municipal com risco moderado, 29% com risco muito baixo, 16% apresentou risco alto e 8% da área de estudo obteve um fator de risco nulo. Constatou-se também, nos bairros situados na porção sul do município, o predomínio da classificação de risco Nulo e Muito Baixo. Essa região apesar de estar dentro do limite urbano, possui características rurais e com isso uma baixa densidade demográfica. Além disso, a região também apresenta uma baixa influência de rede viária, ausência de aglomerados subnormais e concentração de vegetação densa, em suma, a área em questão apresenta uma baixa pressão antrópica.

Nos mapas gerados com a utilização da lógica *fuzzy*, verificou-se que o segundo período de estiagem, compreendido entre os meses de setembro, outubro, novembro e dezembro, representaram as épocas mais críticas em relação ao risco de incêndio em comparação com os modelos sazonais anteriores devido ao fato do

período supracitado ocorrerem poucas chuvas em relação às demais épocas do ano. Esse resultado também se justifica pelo fato de em setembro cessar as chuvas, de maneira que a vegetação começa a apresentar deficiência hídrica. Apenas no mapa de risco de incêndio para o segundo período de estiagem o fator de risco moderado apareceu em maior percentual em relação aos demais mapas onde as classes de risco de maior abrangência ficaram entre o risco baixo e muito baixo. Também é importante ressaltar que a rede viária e a alta densidade populacional contribuem para a ocorrência de incêndio, porque embora não determinem o seu comportamento, são prováveis locais de início (PRUDENTE, 2010). A influência da declividade também é uma variável de suma importância que contribuiu significativamente para análise de riscos. Observou-se em todas as análises feitas até esse ponto da pesquisa que as áreas com alto percentual de declividade apresentaram alto risco e estão situadas, em sua maior parte, em regiões próximo a corpos d'água, falésias e áreas de preservação ambiental.

5. VALIDAÇÃO DOS MODELOS

Com a finalidade de analisar a confiabilidade dos mapas de risco de incêndio, foram realizadas diversas análises com respeito aos dados reais de ocorrências de incêndios registrados e atendidos pelo Corpo de Bombeiros no ano de 2010 e com a distribuição espacial dos mesmos, onde no total foram registradas 462 ocorrências no ano em questão. Assim, o mapa da Figura 42 (melhor visualizado no Anexo 21), apresenta o mapa de distribuição espacial dos incêndios registrados pelo Corpo de Bombeiros no ano de 2010.

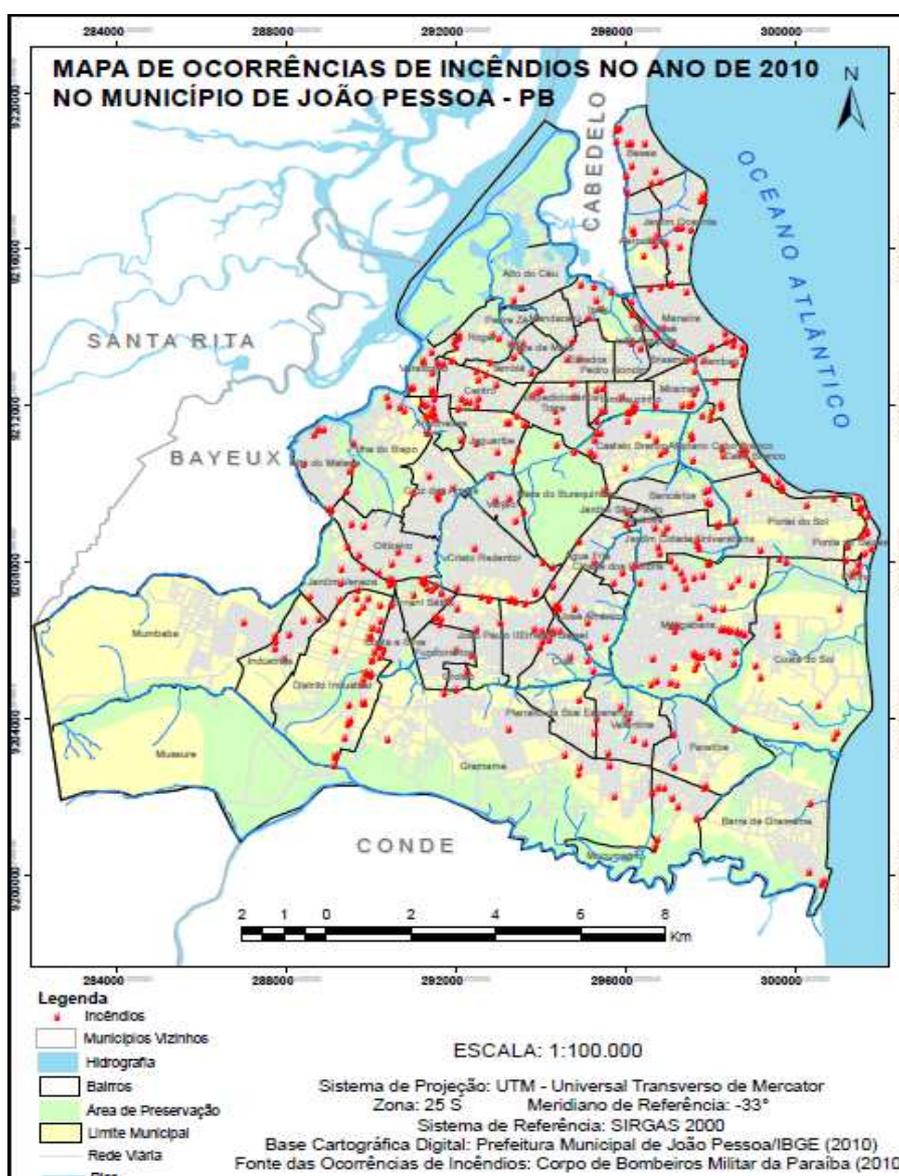


Figura 42 – Mapa dos pontos de ocorrências de incêndios atendidas pelo Corpo de Bombeiros no ano de 2010

Como a área de estudo apresenta clima tropical sazonal caracterizada por duas estações bem definidas (uma seca e outra chuvosa), o período das chuvas em 2010 iniciou-se em abril e foi até o mês de agosto e a estação seca teve duração de quatro meses e predominou nos meses de setembro a dezembro. O clima seco neste período favoreceu a ocorrência de incêndios, como ilustra o gráfico da Figura 43.

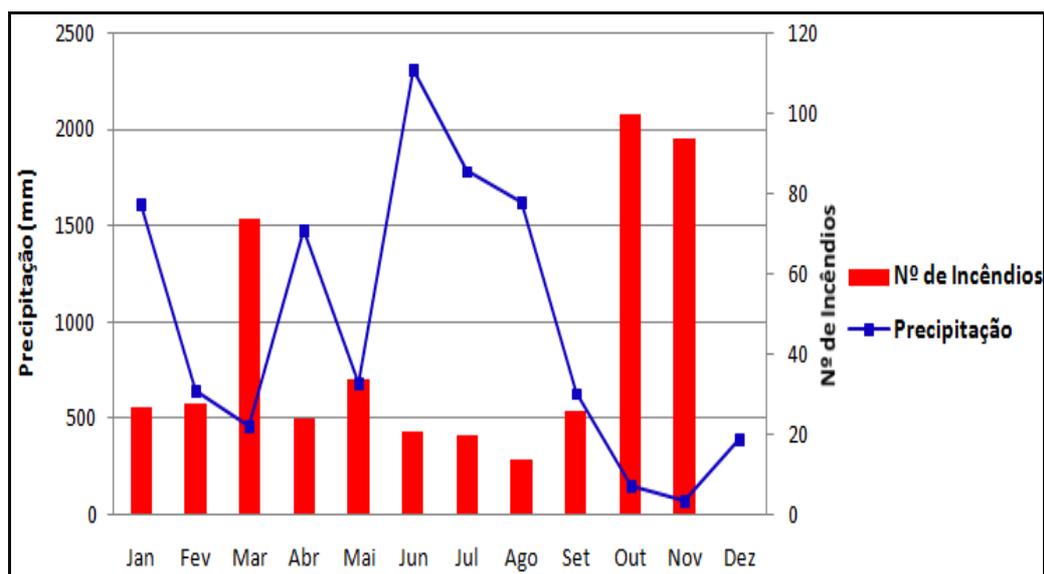


Figura 43 – Relação do número de ocorrências de incêndios mensais registrados pelo Corpo de Bombeiros com a precipitação registrados pela AESA no ano de 2010
 Fonte: CIOP/PB (2010), AESA (2013)

Verifica-se, no gráfico acima, que a maioria dos incêndios no município de João Pessoa se concentrou no mês de março (referente ao primeiro período de estiagem) e nos meses de outubro e novembro (referente ao segundo período de estiagem), uma vez que são os meses que apresentaram maior deficiência hídrica na região.

A partir da comparação entre o mapa de risco de incêndio gerado com base na metodologia de Ribeiro *et. al* (2008) e os pontos de incêndios, constataram-se os seguintes resultados ilustrados na Figura 44 e na Tabela 21 a seguir.

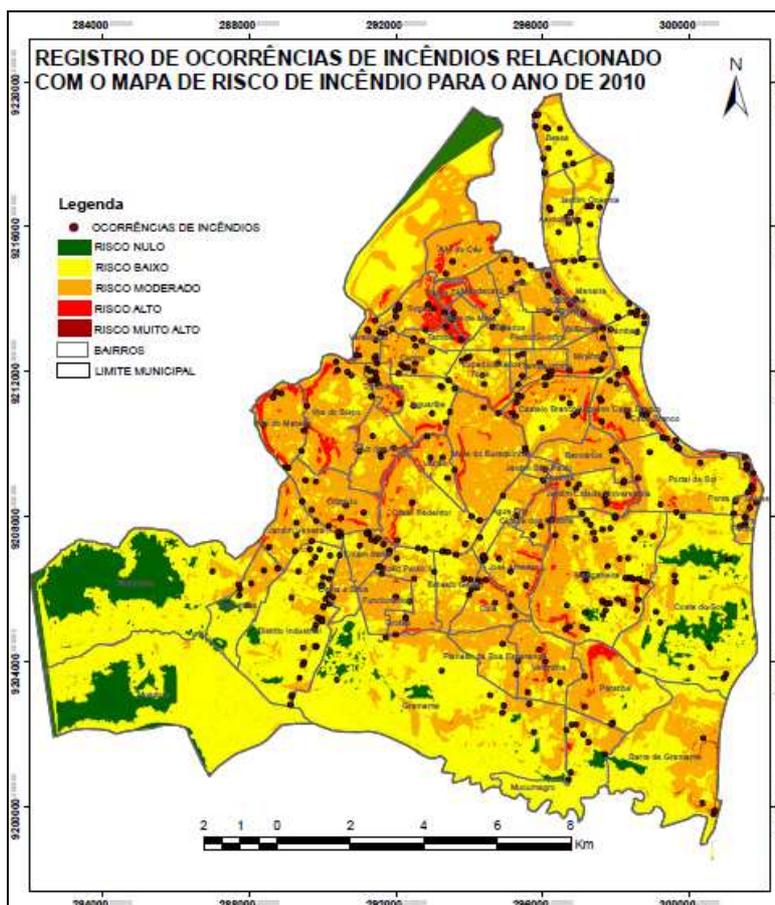


Figura 44 – Comparação do mapa de risco de incêndio com base na metodologia de Ribeiro *et. al* (2008) e a distribuição espacial das ocorrências de incêndios

Tabela 21 – Relação da classe de risco com as ocorrências de incêndios (Ribeiro *et al*, 2008)

RISCO	Nº DE OCORRÊNCIAS	% TOTAL	ÁREA (Km ²)	PONTOS POR Km ²
Nulo	4	1%	14,333	0,28
Baixo	163	35%	110,87	1,47
Moderado	263	57%	82,35	3,19
Alto	32	7%	6,5	4,92

Pode-se observar que o perfil de risco se compatibilizou com as ocorrências de incêndios, onde a maioria deles ocorreram em áreas de risco moderado, totalizando 57% das ocorrências, seguido de 35% das ocorrências localizadas em áreas de risco baixo, 7% dos incêndios em áreas de risco alto e 1% das ocorrências situadas em áreas classificadas como risco nulo. A princípio pode-se concluir que essa modelagem não é confiável tendo em vista que, logicamente, a maioria dos pontos deveriam se concentrar em áreas de risco alto. Porém, analisando a relação

da concentração de pontos por quilômetro quadrado, observa-se que a densidade de pontos concentrou-se mais nas áreas classificadas como risco alto onde apresentou-se uma concentração de aproximadamente cinco ocorrências por Km², seguido das áreas de risco moderado que obteve uma média de três ocorrências por Km², as áreas de risco baixo apresentaram o valor de 1,47 ocorrências/Km² e por fim, as áreas de risco nulo obtiveram uma média de 0,28 ocorrências/Km². Considerar apenas a densidade de pontos não valida o modelo, pois não há uma separação entre as magnitudes e as classes de incêndios, nas áreas dos incêndios e nem os prejuízos materiais.

Outra análise aplicou o teste qui-quadrado com base na densidade de pontos por quilômetro quadrado, onde se apresenta com o valor de 1,86 para 3 graus de liberdade para um grau de confiabilidade de 95% e o coeficiente de determinação (R^2) de 0,7259, ou seja, 72,59% da variação espacial é explicada pelo modelo proposto.

Verifica-se que ainda no mapa que há forte presença de autocorrelação espacial, uma vez que o índice de Moran teve valor de 0,662532 com significância de 0,01. Um índice de valor pequeno, juntamente com a significância abaixo de 0,05, traz evidências de que deve-se rejeitar a hipótese nula de que não há autocorrelação espacial. Pode-se observar que o mapa temático relativo ao risco de incêndio de acordo com Ribeiro *et. al* (2008), mostra claramente um padrão espacial, ou seja, uma alta correlação espacial. Desta forma, áreas que apresentam um determinado fator de risco similar, de uma maneira geral, estão mais próximas umas das outras no mapa apresentado.

No mapa construído com base no índice local de Moran (LISA), exposto na Figura 45, pode-se identificar o agrupamento de objetos espaciais com valores de atributos semelhantes onde somente os objetos para os quais os valores do índice local de Moran que foram considerados significantes ($p\text{-value} < 0,05$) são destacados (representados pela cor verde e vermelha), o que corresponde a 48% da área municipal com autocorrelação espacial. Esse valor foi calculado a partir de 99 permutações, acarretando em 52% da área territorial (representado pela cor cinza)

com significância abaixo de 95%, sendo considerado como não significantes, ou seja, não há autocorrelação espacial.

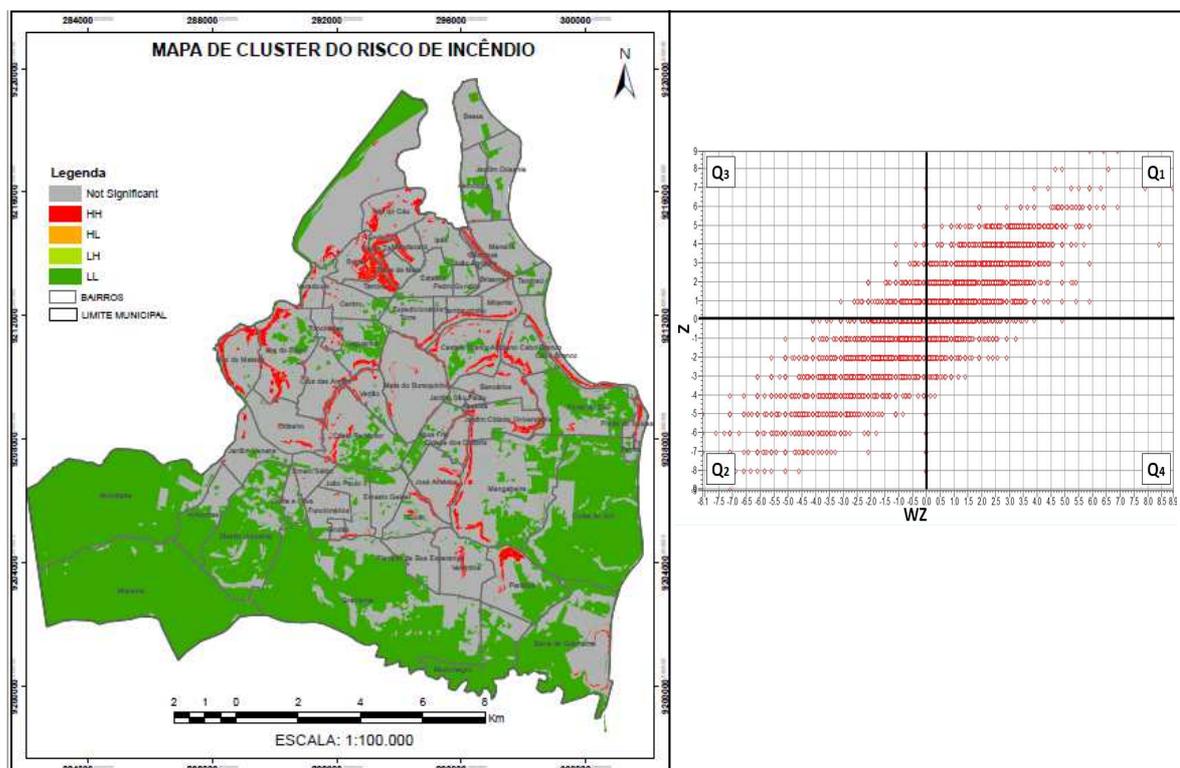


Figura 45 – Mapa de Cluster do Risco de Incêndio e Diagrama de Espalhamento de Moran para o modelo proposto por Ribeiro *et al* (2008)

Percebe-se ainda no mapa de *cluster* (Figura 45) que as regiões destacadas na cor vermelha possuem valores autocorrelacionados com alto risco de incêndio. As áreas classificadas na cor verde se autocorrelacionam com baixos padrões de risco de incêndio e o diagrama de espalhamento de Moran para o mapa temático da Figura 49, mostra a distribuição da variabilidade da dependência espacial para as classes de risco de incêndio.

Comparando-se o mapa de risco de incêndio gerado com base na metodologia de Chuvieco *et. al* (2010) e as ocorrências de incêndios, observaram-se os seguintes resultados ilustrados na Figura 46 e na Tabela 22 a seguir.

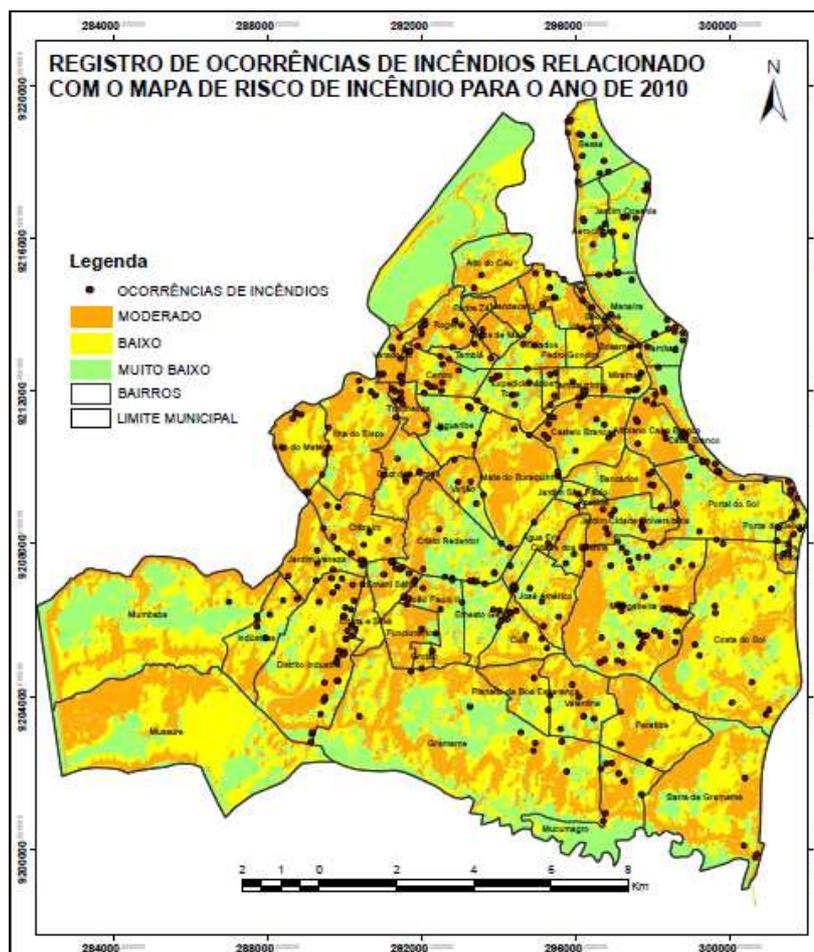


Figura 46 – Comparação do mapa de risco de incêndio com base na metodologia de Chuvieco *et al* (2010) e a distribuição espacial das ocorrências de incêndios

Tabela 22 – Relação da classe de risco com as ocorrências de incêndios (Chuvieco *et al*, 2010)

RISCO	Nº DE OCORRÊNCIAS	% TOTAL	ÁREA (Km ²)	PONTOS/ Km ²
Muito Baixo	94	20%	57,79	1,62
Baixo	177	38%	87,76	2,01
Moderado	191	41%	68,5	2,79

De acordo com a tabela anterior, observa-se que a maioria dos incêndios ocorreram em áreas de risco moderado, totalizando 41% das ocorrências, seguido de 38% das ocorrências localizadas em áreas de risco baixo e 20% dos incêndios em áreas de risco muito baixo. Analisando a relação da densidade de pontos por quilômetro quadrado, constatou-se que as ocorrências se concentraram mais nas áreas classificadas como risco moderado onde apresentou uma concentração de aproximadamente três ocorrências por Km², seguido das áreas de risco baixo com

uma média de duas ocorrências por Km² e as áreas de risco muito baixo apresentaram o valor de 1,62 ocorrências/Km².

O valor teste qui-quadrado apresenta-se com o valor de 1,55 para 2 graus de liberdade e o coeficiente de determinação (R^2) de 0,21600, ou seja, apenas 21,60% da variação espacial é explicada pelo modelo proposto. Considerando o valor alfa igual a 0,05.

O valor do índice de Moran para o mapa de risco de incêndio proposto por Chuvieco *et al* (2010) foi de 0,480379. O que indica uma moderada dependência espacial se comparado com o índice de Moran calculado para o mapa de risco proposto por Ribeiro *et al* (2008). Mesmo assim, como o índice de Moran apresentou valor positivo, o modelo proposto ainda apresenta autocorrelação espacial. O valor de significância estatística para o índice foi de 0,01 para 99 permutações realizadas, o que representa uma significância muito baixa (abaixo de 0,05). Portanto, a hipótese nula é rejeitada.

No mapa construído com base no espalhamento de Moran (Figura 47), pode-se identificar o agrupamento de objetos espaciais com valores de atributos semelhantes onde somente os objetos para os quais os valores do índice local de Moran que foram considerados significantes ($p\text{-value} < 0,05$), são destacados (representados pela cor verde e vermelha) o que corresponde a 35 % do município com existência de autocorrelação espacial. Esse valor foi calculado a partir de 99 permutações, acarretando em 56% da área territorial (representado pela cor cinza) com significância abaixo de 95%, sendo considerado como não significantes, ou seja, sem autocorrelação espacial. Também foi detectada no mapa a presença de *outliers* (representado pelas cores laranja e amarelo), ocupando apenas 9% da área municipal. Nesse caso há a necessidade de analisar se as áreas classificadas como “LH”, ou seja, baixos valores circundados de altos valores são casos isolados de risco em potencial ou se realmente são valores que estão totalmente fora do padrão de autocorrelação. Podem-se visualizar melhor os resultados através do diagrama de espalhamento de Moran.

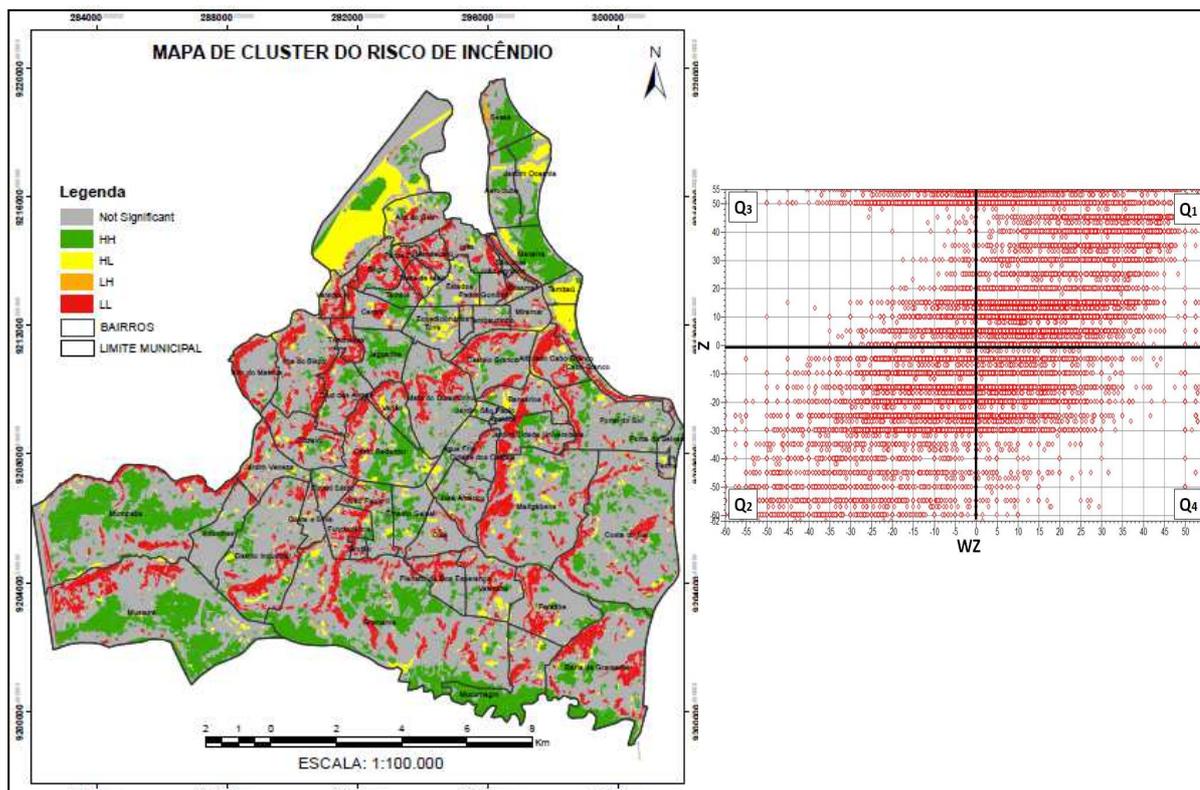


Figura 47 – Mapa de Índice Local de Moran e o Diagrama de Espalhamento de Moran para o mapa de risco de incêndio proposto por Chuvieco *et al* (2010)

Observando os mapas de risco de incêndio gerados de acordo com a metodologia que aplicou a lógica *fuzzy* e em contraponto com as ocorrências reais de incêndios, considerando o mapa temático de risco de incêndio relacionado com a pluviometria anual média, chegou-se aos seguintes resultados ilustrados na Figura 48 e na Tabela 23 a seguir.

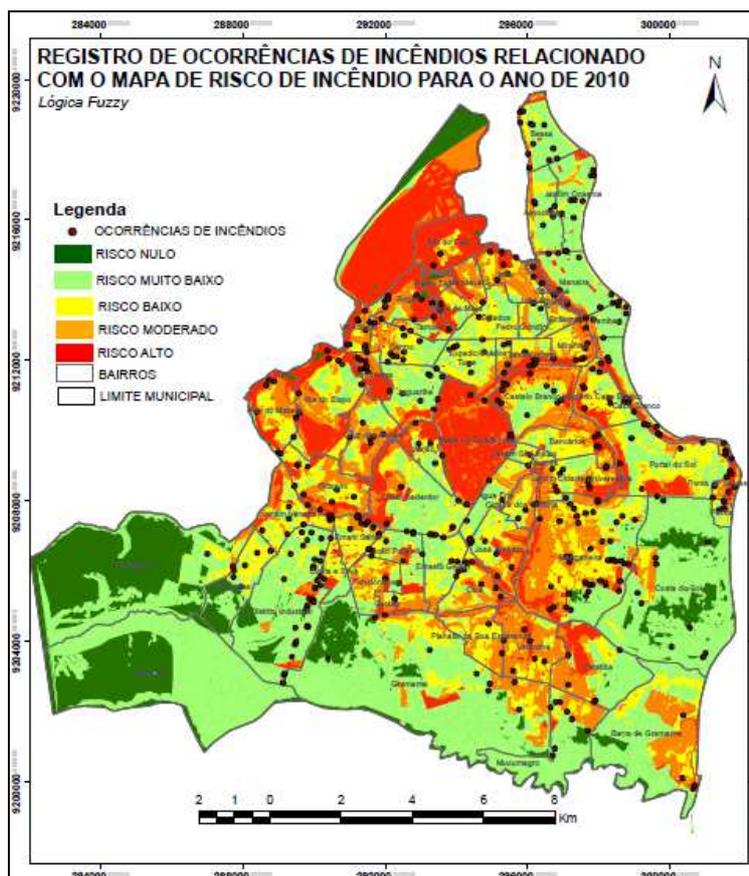


Figura 48 – Comparação do mapa de risco de incêndio anual com base na lógica *fuzzy* e a distribuição espacial das ocorrências de incêndios

Tabela 23 – Relação da classe de risco com as ocorrências de incêndios (*Fuzzy Pluviometria Anual*)

RISCO	Nº DE OCORRENCIAS	% TOTAL	ÁREA (Km²)	PONTOS/ÁREA
Nulo	7	2%	23,48	0,30
Muito Baixo	131	28%	84,89	1,54
Baixo	127	27%	38,87	3,27
Moderado	105	23%	34,05	3,08
Alto	92	20%	28,72	3,20

Nessa modelagem a maior parte dos incêndios ocorreram em áreas de risco muito baixo, representando 28% das ocorrências, seguido de 27% dos incêndios localizados em áreas de risco baixo, 23% dos incêndios em áreas de risco moderado, 20% das ocorrências em áreas de risco alto e 2% das ocorrências situadas em áreas classificadas como risco nulo. Analisando a relação da densidade de pontos por quilômetro quadrado, observa-se que os pontos de incêndios concentraram-se mais em áreas classificadas como risco baixo, onde apresentou-se

uma concentração de 3,27 ocorrências por Km², seguido das áreas de risco alto que obteve um valor de 3,2 ocorrências por Km², as áreas de risco moderado apresentaram o valor de 3,08 ocorrências/Km², as áreas de risco muito baixo tiveram um valor de 1,54 ocorrências/Km² e por fim, as áreas de risco nulo obtiveram uma média de 0,30 ocorrências/Km².

O teste qui-quadrado apresentou o valor de 0,2161 com 4 graus de liberdade para um nível de confiabilidade de 95% e o coeficiente de determinação (R^2) de 0,9383, ou seja, 93,83% da variação espacial é explicada pelo modelo proposto.

O índice de Moran obteve valor de 0,742717 com significância de 0,01. Valor esse que confirma a rejeição da hipótese nula de que não há alta presença de autocorrelação espacial. Um baixo valor no índice de significância, ficando abaixo de 0,05. Pode-se observar que o mapa temático relativo ao risco de incêndio gerado com base na lógica *fuzzy* para o ano em questão, mostra claramente um alto padrão espacial. Para tanto, as áreas que apresentam um determinado fator de risco semelhante, de uma maneira geral, estão mais dependentes espacialmente umas das outras no mapa apresentado.

Para o mapa construído com base no índice local de Moran (LISA), exposto na Figura 49 a seguir, pode-se identificar o agrupamento de objetos espaciais com valores de atributos semelhantes onde somente os objetos para os quais os valores do índice local de Moran que foram considerados significantes ($p\text{-value} < 0,05$) são destacados (representados pela cor verde e vermelho), o que corresponde a 41% da área municipal com autocorrelação espacial. Esse valor foi calculado a partir de 99 permutações, acarretando em 59% da área territorial (representado pela cor cinza) com significância abaixo de 95%, sendo considerado como não significantes, ou seja, não há autocorrelação espacial.

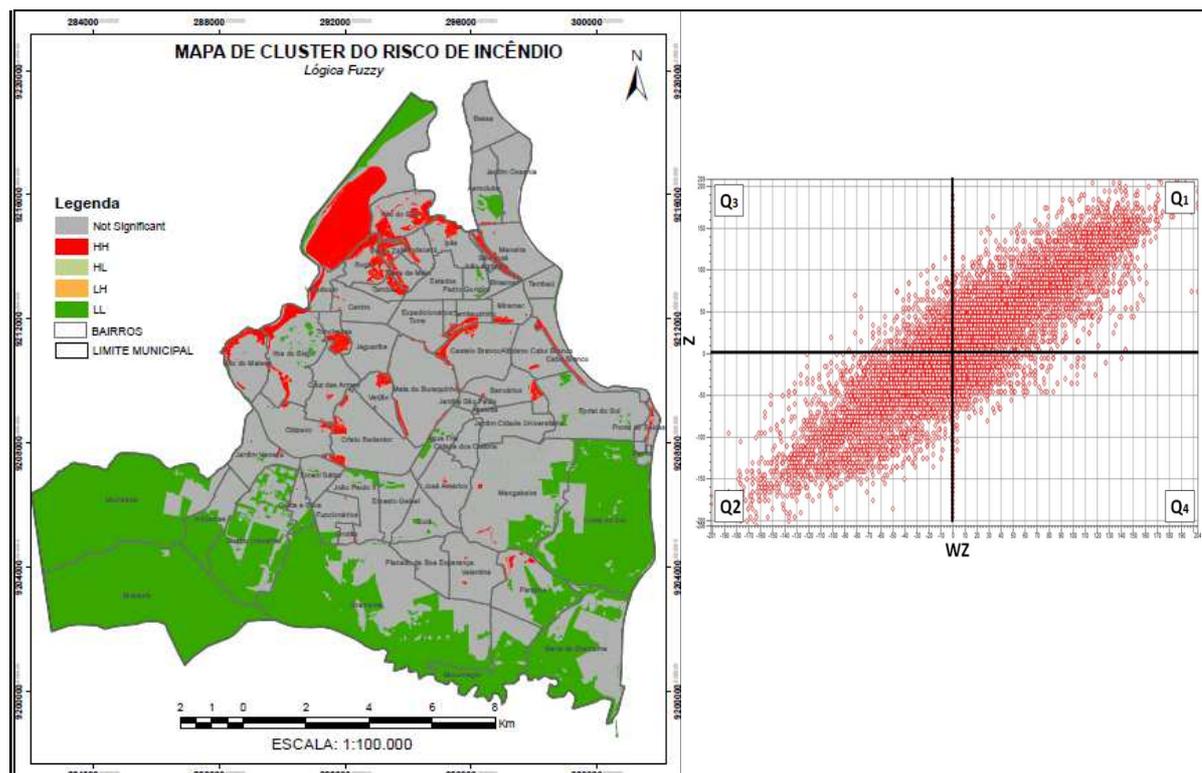


Figura 49 – Mapa de Cluster do Risco de Incêndio e Diagrama de Espelhamento de Moran para o ano de 2010 com base na lógica *fuzzy*

Percebe-se ainda no mapa de *cluster* que as regiões destacadas na cor vermelha possuem valores autocorrelacionados com alto risco de incêndio. As áreas classificadas na cor verde se autocorrelacionam com baixos padrões de risco de incêndio. O Diagrama de Espalhamento de Moran para o mapa temático da Figura 53 mostra a distribuição da variabilidade da dependência espacial para as classes de risco de incêndio.

O segundo mapa de risco de incêndio para o período chuvoso gerado com base na lógica *fuzzy* e as ocorrências de incêndios no mesmo período apresentou os seguintes resultados ilustrados na Figura 50 e na Tabela 24 a seguir.

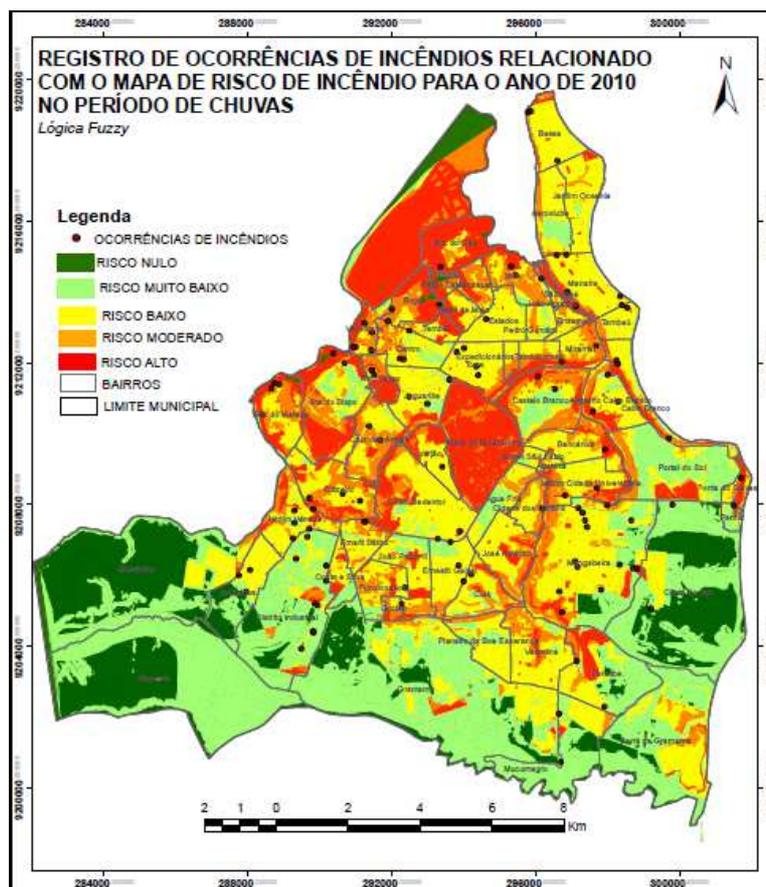


Figura 50 – Comparação do mapa de risco de incêndio para o período chuvoso e a distribuição espacial das ocorrências de incêndios para o mesmo período

Tabela 24 – Relação da classe de risco com as ocorrências de incêndios (*Fuzzy* Período Chuvoso)

RISCO	Nº DE OCORRENCIAS	% TOTAL	ÁREA (Km ²)	PONTOS/AREA
Nulo	1	1%	28,95	0,03
Muito Baixo	20	18%	64,20	0,31
Baixo	50	44%	65,12	0,77
Moderado	21	18%	23,89	0,88
Alto	22	19%	27,35	0,80

Analisando o comportamento dessa modelagem, constatou-se que a maioria dos eventos ocorreram em áreas de risco baixo, o que representa 44% das ocorrências, seguido de 19% dos incêndios localizados em áreas de risco alto, 18% dos incêndios em áreas de risco moderado e muito baixo e 1% das ocorrências situadas em áreas de risco nulo. A relação da densidade de pontos por quilômetro quadrado demonstrou que os incêndios concentraram-se mais em áreas classificadas como risco moderado onde apresentou-se uma concentração de 0,88

ocorrências por Km², seguido das áreas de risco alto que obteve um valor de 0,80 ocorrências por Km², as áreas de risco baixo apresentaram o valor de 0,77 ocorrências/Km², as áreas de risco muito baixo tiveram um valor de 0,31 ocorrências/Km² e por fim, as áreas de risco nulo obtiveram uma média de 0,03 ocorrências/Km².

O teste qui-quadrado apresentou-se com o valor de 0,0184 para 4 graus de liberdade e o coeficiente de determinação (R^2) igual a 0,9919, ou seja, 99,19% da variação espacial é explicada pelo modelo proposto. Considerando o valor de alfa igual a 0,05.

O valor do índice de Moran para o mapa de risco de incêndio no período chuvoso foi de 0,747741. O que indica uma ampla dependência espacial. Reforçado ainda pelo valor do índice ser positivo. O valor de significância estatística para o índice foi de 0,01 para 99 permutações realizadas, o que representa uma significância muito baixa, não ultrapassando o p-valor de 0,05. Portanto, a hipótese nula é rejeitada.

No mapa construído com base no espalhamento de Moran (Figura 51), pode-se identificar o agrupamento de objetos espaciais com valores de atributos semelhantes onde somente os objetos para os quais os valores do índice local de Moran que foram considerados significantes ($p\text{-value} < 0,05$), são destacados (representados pela cor verde e vermelha) o que corresponde a 63 % do município com existência de autocorrelação espacial. Esse valor foi calculado a partir de 99 permutações, acarretando em 57% da área territorial (representado pela cor cinza) com significância abaixo de 95%, sendo considerado como não significantes, ou seja, sem autocorrelação espacial. Podem-se visualizar melhor os resultados através do diagrama de espalhamento de Moran, também ilustrado a seguir.

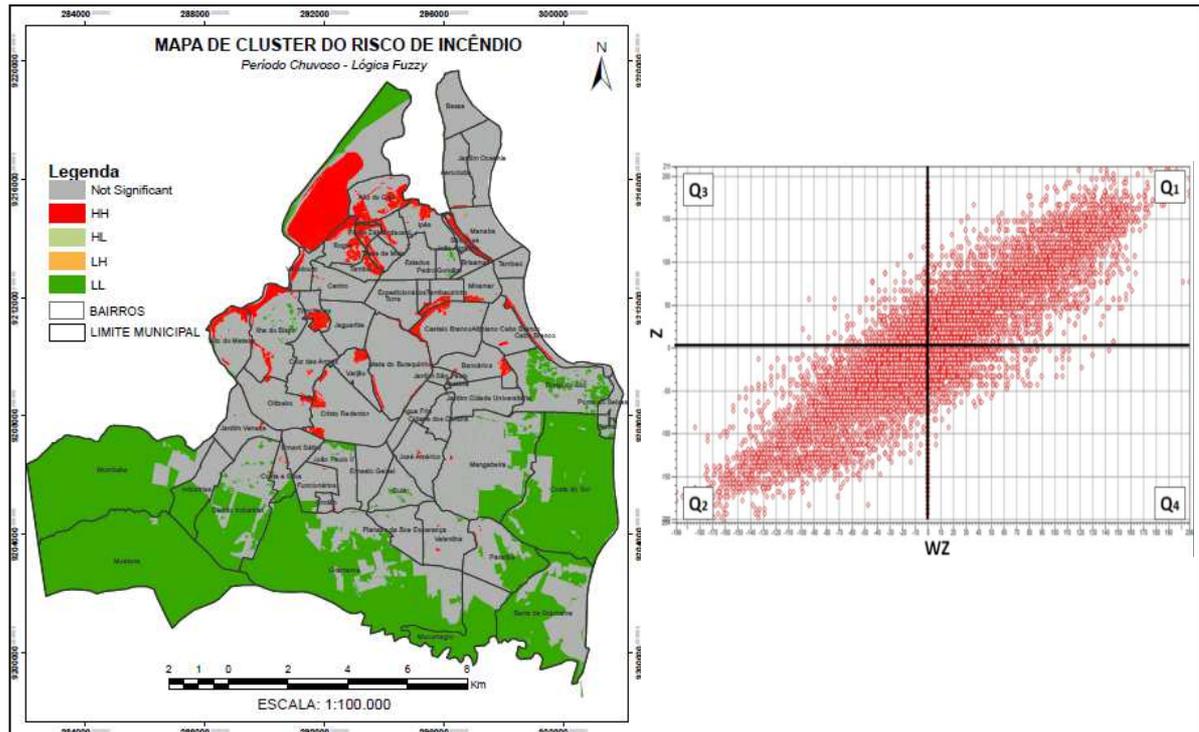


Figura 51 – Mapa de Índice Local de Moran e Diagrama de Espalhamento de Moran para o mapa de risco de incêndio no período chuvoso

O terceiro mapa gerado de risco de incêndio para o primeiro período de estiagem com base na lógica *fuzzy* e as ocorrências de incêndios registradas no mesmo período apresentou os seguintes resultados ilustrados na Figura 52 e na Tabela 25 a seguir.

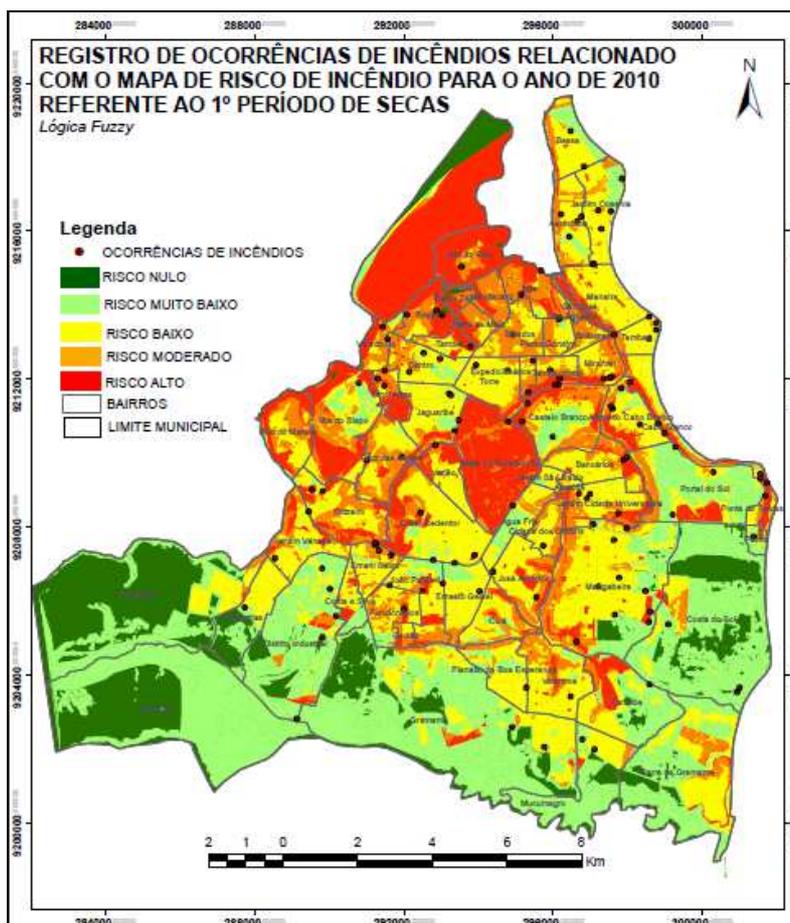


Figura 52 – Comparação do mapa de risco de incêndio para o primeiro período de estiagem e a distribuição espacial das ocorrências de incêndios registrados no mesmo período

Tabela 25 – Relação da classe de risco com as ocorrências de incêndios (Fuzzy 1º Período de Estiagem)

RISCO	Nº DE OCORRENCIAS	% TOTAL	ÁREA (Km²)	PONTOS/ÁREA
Nulo	2	2%	26,28	0,08
Muito Baixo	18	14%	66,39	0,27
Baixo	56	43%	61,17	0,92
Moderado	21	16%	26,89	0,78
Alto	32	25%	29,03	1,10

Constatou-se no mapa de risco de incêndios para o primeiro período de estiagem que grande parte dos incêndios registrados no período ocorreram em áreas de risco baixo, representando 43% das ocorrências, seguido de 25% dos incêndios registrados em áreas de risco alto, 16% dos incêndios em áreas de risco moderado, 14% em áreas de risco muito baixo e 2% das ocorrências situadas em áreas de risco nulo. A densidade de pontos por quilômetro quadrado mostrou que os

incêndios concentraram-se mais em áreas classificadas como risco alto apresentando uma concentração de 1,10 ocorrências por Km², depois as áreas de risco baixo que obteve um valor de 0,92 ocorrências por Km², as áreas de risco moderado apresentaram o valor de 0,78 ocorrências/Km², as áreas de risco muito baixo tiveram um valor de 0,27 ocorrências/Km² e por fim, as áreas de risco nulo obtiveram uma média de 0,08 ocorrências/Km².

O valor do teste qui-quadrado com base na densidade de pontos por quilômetro quadrado, foi 0,1182 com 4 graus de liberdade e para um grau de confiança de 95% e o coeficiente de determinação (R^2) de 0,8663, ou seja, 86,63% da variação espacial é explicada pelo modelo proposto.

Uma forte existência de autocorrelação espacial é observada no mapa. O índice global de Moran teve valor de 0,755966 com significância de 0,01. Para tanto, rejeita-se a hipótese nula de que não há autocorrelação espacial. Nota-se claramente no mapa temático relativo ao risco de incêndio para o primeiro período de estiagem um padrão de uma alta correlação espacial.

No mapa de dependência espacial construído com base no LISA, exposto a seguir na Figura 53, identifica-se aglomeração de objetos espaciais com valores de atributos similares onde somente os objetos para os quais os valores do nível de significância que ficaram abaixo do $p\text{-value} = 0,05$ foram selecionados (representados pela cor verde e vermelho), o que corresponde a 43% da área municipal com autocorrelação espacial. Esse valor foi calculado a partir de 99 permutações, acarretando em 57% da área territorial (representado pela cor cinza) com significância abaixo de 95%, ou seja, acima do $p\text{-value}$ de 0,05. Sendo considerado como não significantes, concluindo-se enfim que não há autocorrelação espacial.

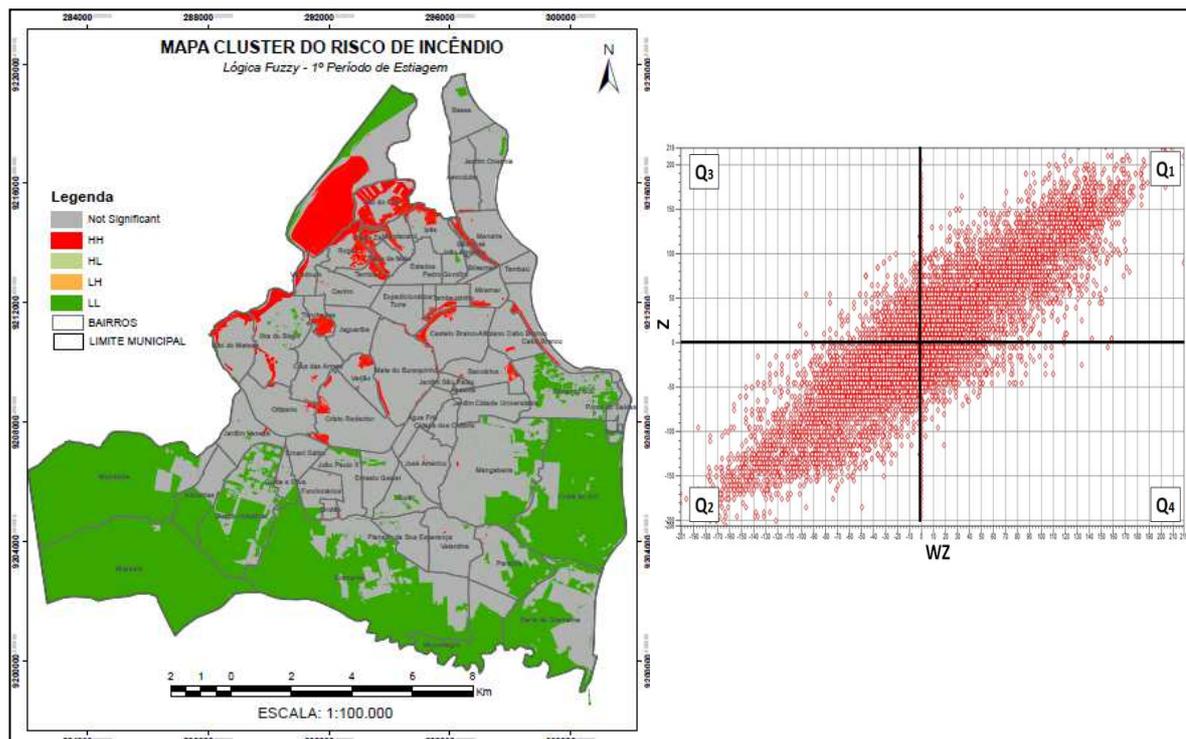


Figura 53 – Mapa de *Cluster* e Diagrama de Espalhamento de Moran do Risco de Incêndio para o primeiro período de estiagem

Percebe-se ainda no mapa de *cluster* que as regiões destacadas na cor vermelha possuem valores autocorrelacionados com alto risco de incêndio. As áreas classificadas na cor verde se autocorrelaciona com baixos padrões de risco de incêndio. O Diagrama de Espalhamento de Moran para o mapa temático da Figura 57 mostra a distribuição da variabilidade da dependência espacial para as classes de risco de incêndio.

O quarto e último mapa apresentado refere-se ao risco de incêndio para o segundo período de estiagem gerado com base na lógica *fuzzy* e as ocorrências de incêndios registradas no mesmo período apresentando os seguintes resultados ilustrados na Figura 54 e na Tabela 26 a seguir.

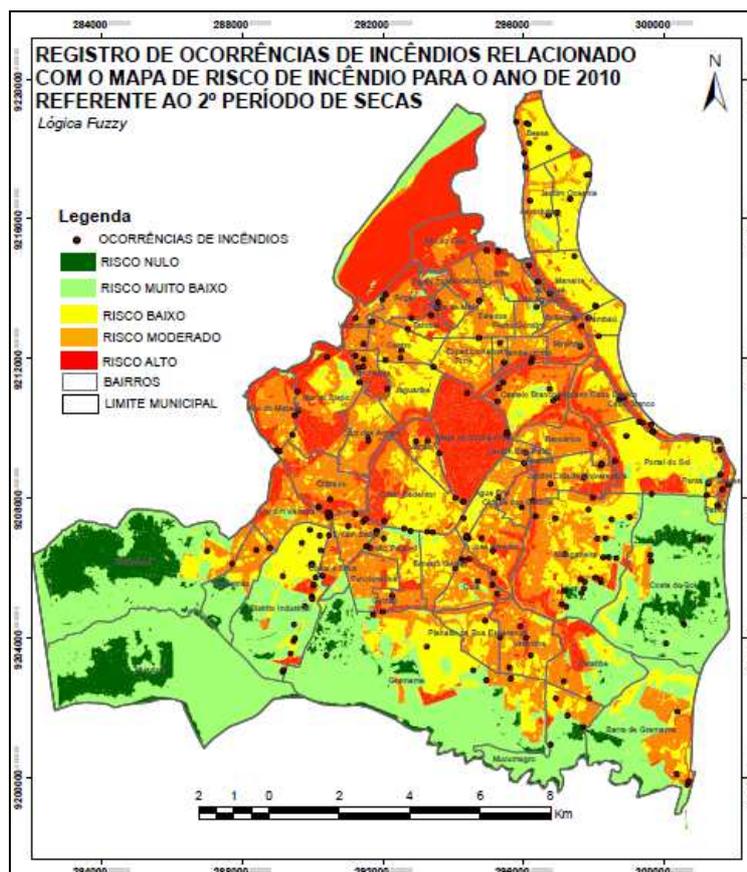


Figura 54 – Comparação do mapa de risco de incêndio para o segundo período de estiagem e a distribuição espacial das ocorrências de incêndios registrados no mesmo período

Tabela 26 – Relação da classe de risco com as ocorrências de incêndios (*Fuzzy 2º Período de Estiagem*)

RISCO	Nº DE OCORRENCIAS	% TOTAL	ÁREA (Km²)	PONTOS/ÁREA
Nulo	3	1%	16,27	0,18
Muito Baixo	28	13%	60,45	0,46
Baixo	60	27%	44,69	1,34
Moderado	87	40%	54,72	1,59
Alto	42	19%	33,36	1,26

De acordo com a tabela acima, observa-se que a maioria dos incêndios ocorreram em áreas de risco moderado totalizando 40% das ocorrências, seguido de 27% das ocorrências localizadas em áreas de risco baixo, 19% dos incêndios em áreas de risco alto, 13% das ocorrências registradas em áreas de risco muito baixo e 1% dos incêndios foram localizados em áreas de risco nulo. Analisando a relação da densidade de pontos por quilômetro quadrado, constatou-se que as ocorrências se concentraram mais nas áreas classificadas como risco moderado onde apresentou

uma concentração de 1,59 ocorrências por Km², seguido das áreas de risco baixo com 1,34 ocorrências por Km², as áreas de risco alto obtiveram uma densidade de 1,26 ocorrências/Km², seguido de 0,46 ocorrências/Km² em áreas de risco muito baixo e as áreas de risco nulo apresentaram o valor de 0,18 ocorrências/Km².

O teste qui-quadrado apresentou o valor de 0,0887 para 4 graus de liberdade e o coeficiente de determinação (R^2) igual a 0,9672, ou seja, 96,72% da variação espacial é explicada pelo modelo proposto. Considerando o valor de alfa igual a 0,05.

O valor do índice de Moran para o mapa de risco de incêndio no período chuvoso foi de 0,747065. O que indica uma ampla dependência espacial. Reforçado ainda pelo valor do índice ser positivo. O valor de significância estatística para o índice foi de 0,01 para 99 permutações realizadas, o que representa uma significância muito baixa, não ultrapassando o p-valor de 0,05. Portanto, rejeita-se a hipótese nula.

No mapa construído com base no espalhamento de Moran (Figura 55), pode-se identificar o agrupamento de objetos espaciais com valores de atributos semelhantes onde somente os objetos para os quais os valores do índice local de Moran que foram considerados significantes ($p\text{-value} < 0,05$), são destacados (representados pela cor verde e vermelha) o que corresponde a % do município com existência de autocorrelação espacial. Esse valor foi calculado a partir de 99 permutações, acarretando em 58% da área territorial (representado pela cor cinza) com significância abaixo de 95%, sendo considerado como não significantes, ou seja, sem autocorrelação espacial. Podem-se visualizar melhor os resultados através do diagrama de espalhamento de Moran, também ilustrado na Figura 55 a seguir.

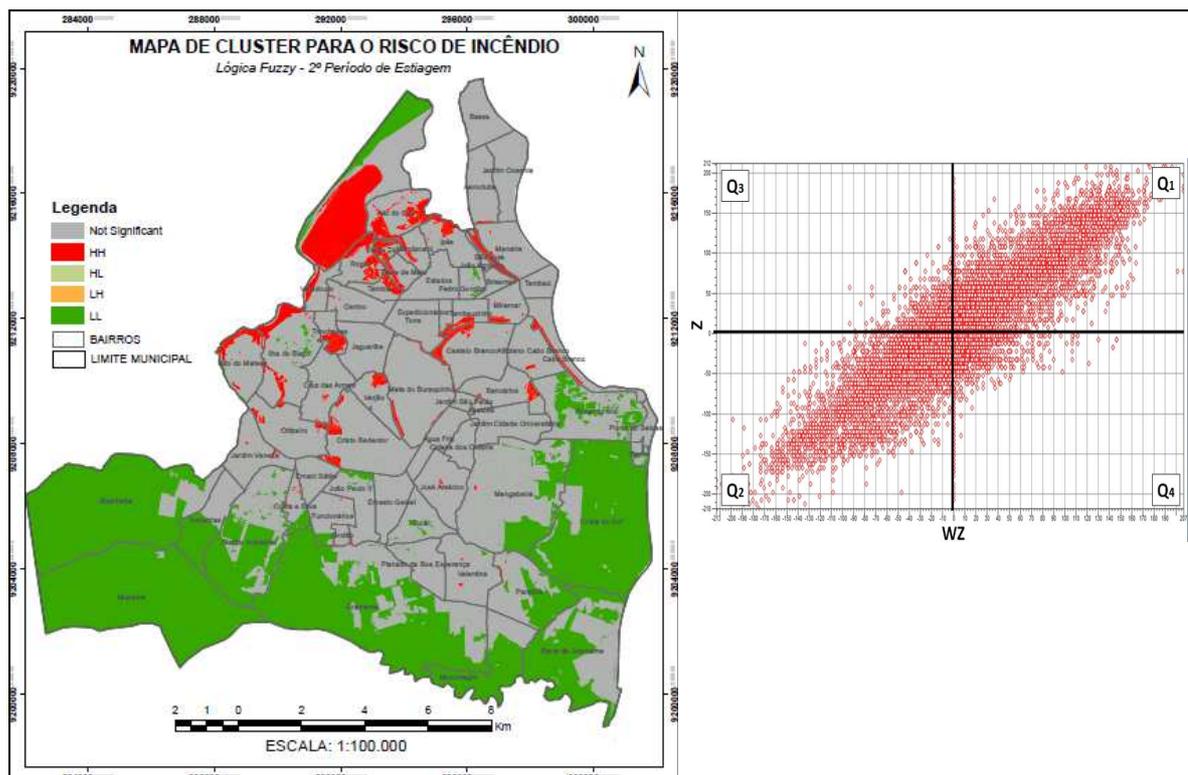


Figura 55 – Mapa LISA e Diagrama de Espalhamento de Moran para o mapa de risco de incêndio no segundo período de estiagem

As Tabelas 27, 28, 29 e 30 mostram um quadro-resumo comparando os modelos apresentados com os valores percentuais da classificação do risco na área de estudo, um quadro comparativo da relação entre a densidade de ocorrências de incêndios registradas no ano de 2010 por quilômetro quadrado, o cálculo do valor esperado para cada classe de risco e a classificação das áreas de risco, e os valores do índice global de Moran com seus respectivos níveis de significância, teste qui-quadrado e o coeficiente de determinação (R^2).

Tabela 27 – Comparativo entre os modelos apresentados de acordo com o percentual de ocupação no município

METODOLOGIA	RISCO NULO	RISCO MUITO BAIXO	RISCO BAIXO	RISCO MODERADO	RISCO ALTO
Ribeiro <i>et al</i> (2008)	1%	-	35%	57%	7%
Chuvieco <i>et al</i> (2010)	-	20%	38%	41%	-
Fuzzy (Anual)	2%	28%	27%	23%	20%
Fuzzy (Per. Chuvoso)	1%	18%	44%	18%	19%
Fuzzy (1ª Estiagem)	2%	14%	43%	16%	25%
Fuzzy (2ª Estiagem)	1%	13%	27%	40%	19%

Tabela 28 – Comparativo da densidade de pontos/Km² e classificação das áreas de risco

METODOLOGIA	RISCO NULO	RISCO MUITO BAIXO	RISCO BAIXO	RISCO MODERADO	RISCO ALTO
Ribeiro <i>et al</i> (2008)	0,28	-	1,47	3,19	4,92
Chuvieco <i>et al</i> (2010)	-	1,63	2,02	2,79	-
Fuzzy (Anual)	0,30	1,54	3,27	3,08	3,20
Fuzzy (Período Chuvoso)	0,03	0,31	0,77	0,88	0,80
Fuzzy (1º Período Estiagem)	0,08	0,27	0,92	0,78	1,10
Fuzzy (2º Período Estiagem)	0,18	0,46	1,34	1,59	1,26

Tabela 29 – Cálculo da frequência esperada da densidade de pontos/Km² e classificação das áreas de risco

METODOLOGIA	RISCO NULO	RISCO MUITO BAIXO	RISCO BAIXO	RISCO MODERADO	RISCO ALTO
Ribeiro (2008)	0,22	-	2,51	3,16	2,90
Chuvieco <i>et al</i> (2010)	-	0,70	1,63	2,06	-
Fuzzy (Anual)	0,26	1,25	2,90	3,65	3,34
Fuzzy (Período Chuvoso)	0,06	0,31	0,71	0,90	0,82
Fuzzy (1º Período Estiagem)	0,07	0,34	0,80	1,01	0,92
Fuzzy (2º Período Estiagem)	0,11	0,53	1,23	1,55	1,42

Tabela 30 – Cálculos do Índice Global de Moran, p-valor, teste Qui-quadrado e Coeficiente de Determinação para os modelos apresentados

METODOLOGIA	ÍNDICE GLOBAL DE MORAN	p-value	TESTE QUI-QUADRADO	R ²
Ribeiro (2008)	0,66532	0,01	1,86558464	0,725964408
Chuvieco <i>et al</i> (2010)	0,480379	0,01	1,553942374	0,216005095
Fuzzy (Anual)	0,742717	0,01	0,216109778	0,938394256
Fuzzy (Período Chuvoso)	0,747741	0,01	0,018440374	0,991974981
Fuzzy (1º Período Estiagem)	0,755966	0,01	0,1182216	0,866397594
Fuzzy (2º Período Estiagem)	0,747065	0,01	0,088785111	0,967266107

Foi efetuada a análise de tendência das classes de risco nos modelos propostos e todos eles mostraram que existem tendências, levando a crer que as amostras não são viciadas e são livres de erros sistemáticos. Com exceção ao modelo proposto por Chuvieco *et. al* (2010), que apresentaram as curvas do gráfico não tão sinuosas, o que indica que o modelo quase não contém tendência. Se as

linhas no plano x (valores da média) e y (valores dos desvios em relação a média) estivessem totalmente horizontais, poderia se afirmar com certeza de que a amostra não existiria tendência alguma. Então, de acordo com a Figura 56, quanto mais acentuada estiver a curva no gráfico, mais se apresenta tendência.

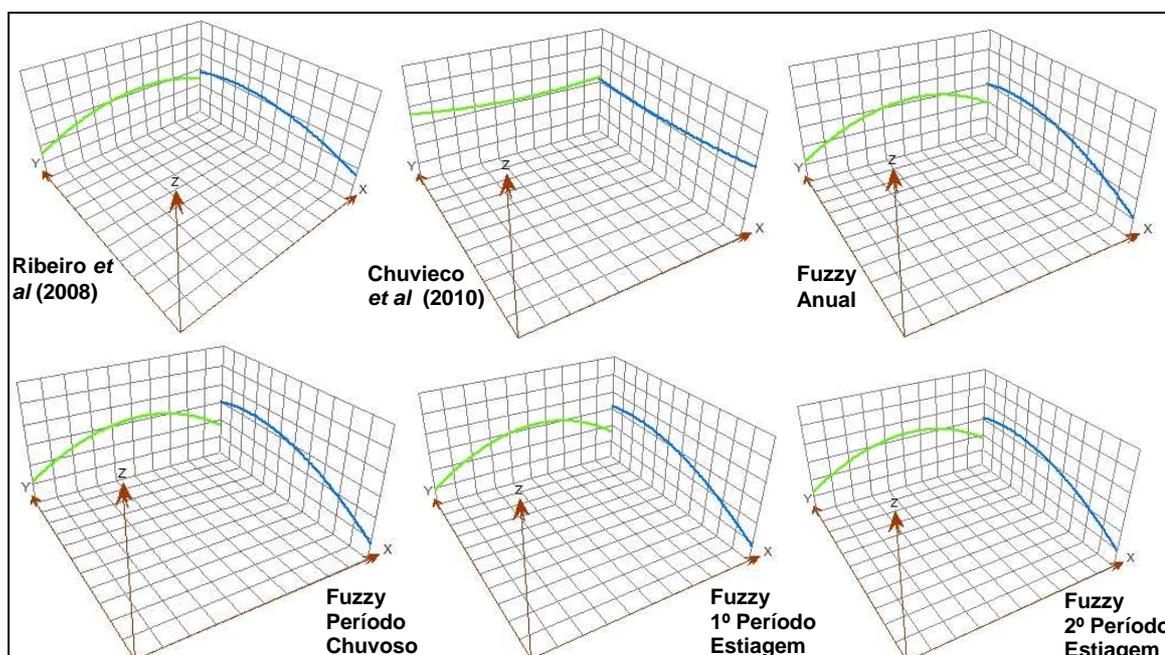


Figura 56 – Análise de Tendência dos modelos apresentados

Fazendo uma análise mais pormenorizada, todos os modelos apresentaram algumas áreas em comum de destaque no município, sendo também confirmado pelos mapas de análise de dependência espacial de cada metodologia. Entre elas, pode-se citar a região do bairro São José (Figura 57), Área de Preservação Permanente localizada na divisa dos bairros Cabo Branco e Atilplano Cabo Branco (Figura 58), Comunidade São Rafael às margens da rodovia BR-230 (Figura 59), nas comunidades do Baleado, Boa Esperança e Bom Samaritano ao longo do curso do rio Jaguaribe - divisa dos bairros de Cruz das Armas/ Cristo Redentor/ Oitizeiro – (Figura 60), região do Parque Arruda Câmara situado no bairro do Róger e adentrando nos bairros de Padre Zé e Treze de Maio (Figura 61), comunidade do Timbó localizado no bairro dos Bancários (Figura 62), comunidade Saturnino de Brito situado no bairro das Trincheiras (Figura 63) e na comunidade Beira da Linha dos bairros do Alto do Mateus e Ilha do Bispo (Figura 64). Pode-se conferir nos mapas a seguir as localidades citadas anteriormente com a sobreposição de uma

imagem de satélite de alta definição e o nível de informação da delimitação das áreas classificadas como alto risco.

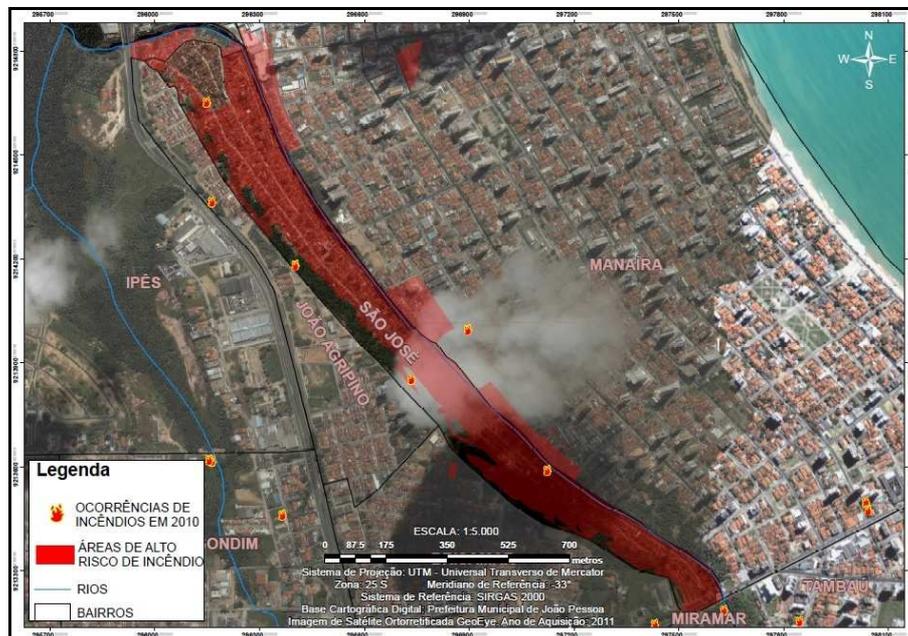


Figura 57 – Área de Alto Risco de Incêndio localizado no bairro São José



Figura 58 – Área de Alto Risco de Incêndio na Área de Preservação Permanente da barreira localizada no bairro do Cabo Branco

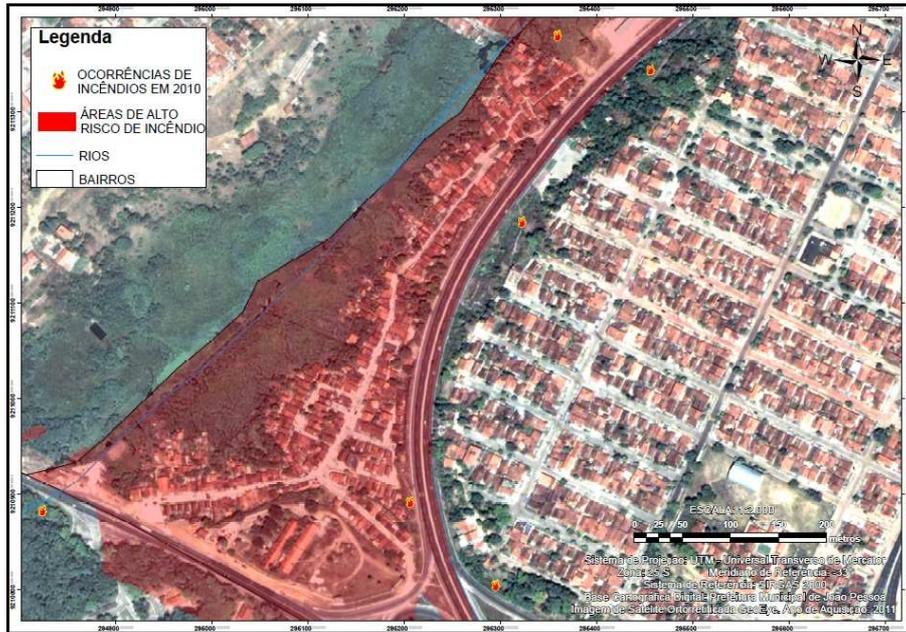


Figura 59 – Área de Alto Risco de Incêndio na comunidade São Rafael localizado no bairro do Castelo Branco

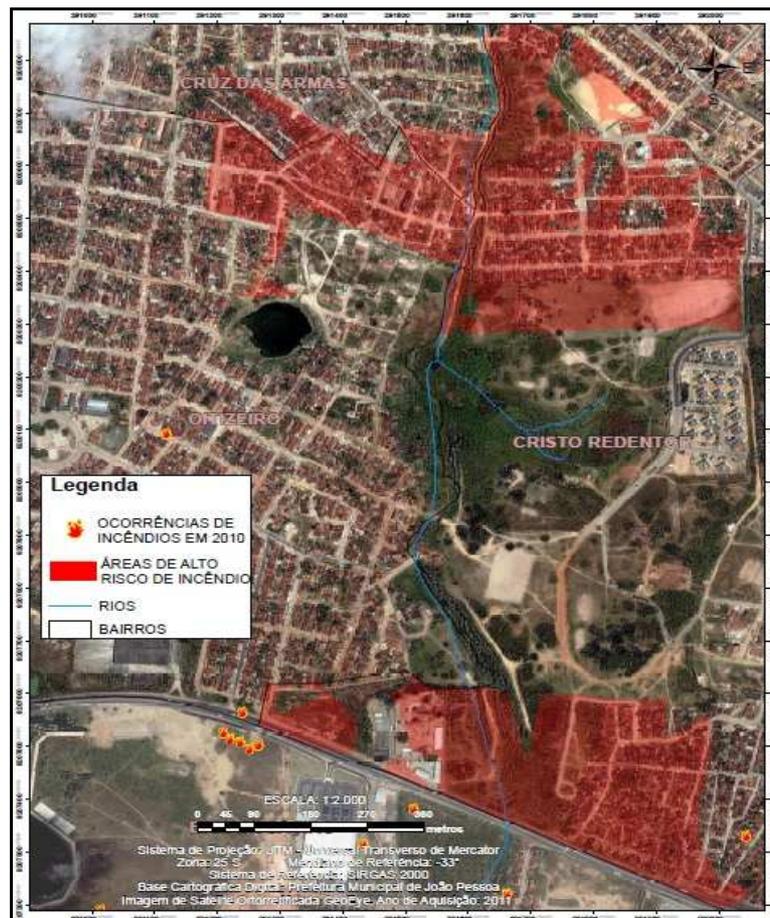


Figura 60 – Área de Alto Risco de Incêndio nas comunidades do Baleado, Boa Esperança e Bom Samaritano localizado nos bairros do Cristo Redentor, Cruz das Armas e Oitizeiro

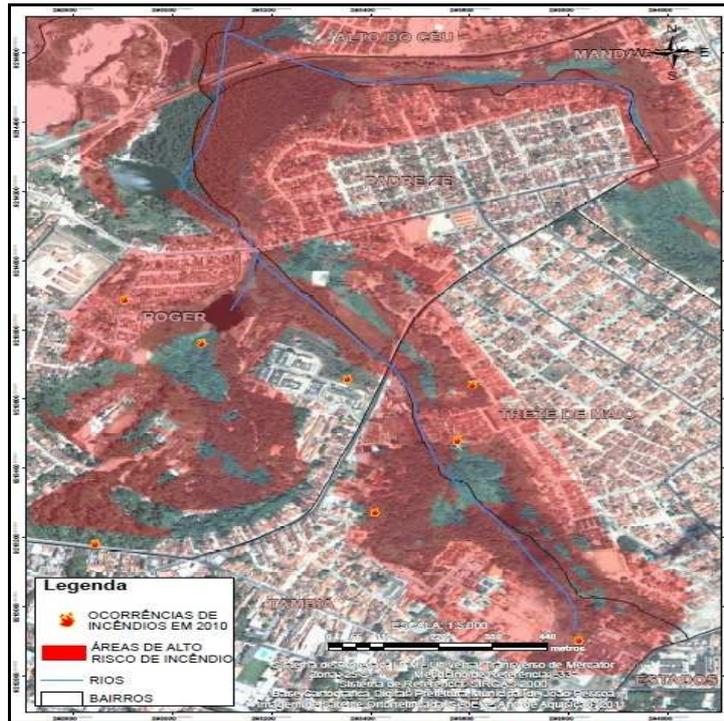


Figura 61 – Área de Alto Risco de Incêndio na região do Parque Arruda Câmara e divisas entre os bairros do Róger, Treze de Maio, Tambiá e Padre Zé

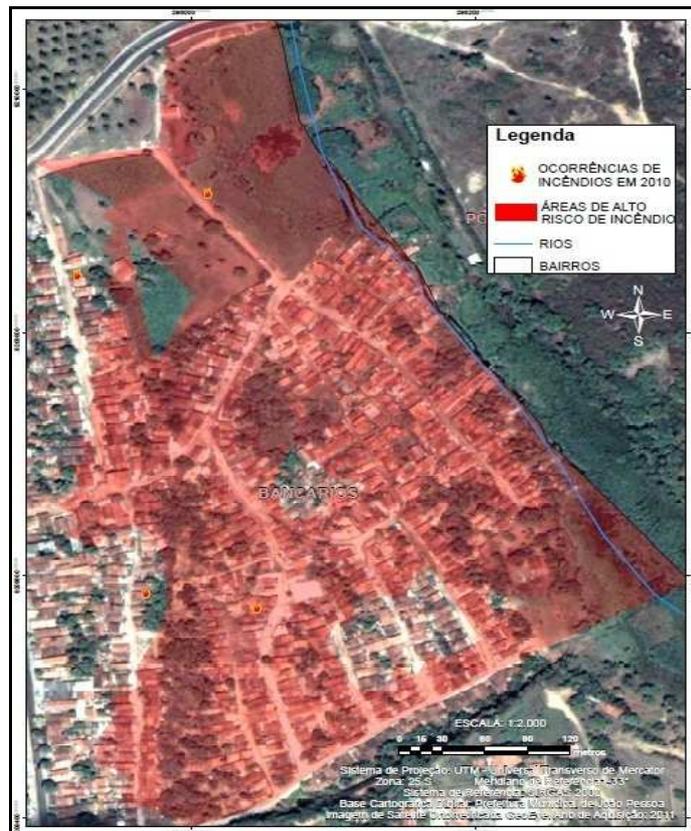


Figura 62 – Área de Alto Risco de Incêndio na comunidade do Timbó situado no bairro dos Bancários



Figura 63 – Área de Alto Risco de Incêndio na comunidade Saturnino de Brito situado no bairro das Trincheiras

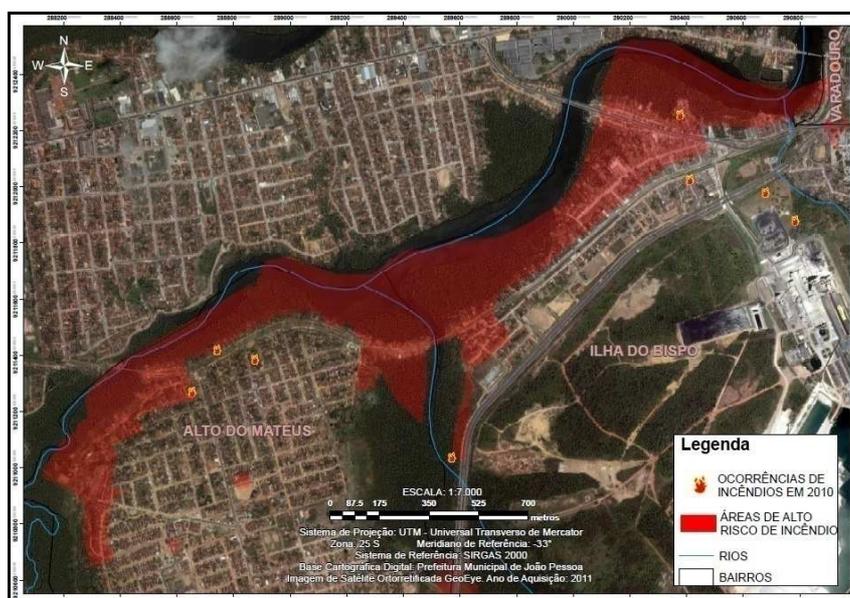


Figura 64 – Área de Alto Risco de Incêndio na comunidade Beira da Linha situada no bairro do Alto do Mateus e Ilha do Bispo

Os fatores que contribuíram para o alto grau de vulnerabilidade de risco de incêndios foram que as regiões que apresentaram simultaneamente: alta declividade, presença de vegetação, áreas de alta concentração de pessoas, aglomerados subnormais e regiões dentro da influência da rede viária e hidrografia. Portanto, os resultados obtidos a partir da comparação dos pontos das ocorrências de incêndios, através da análise visual e da análise estatística espacial validam as metodologias utilizadas e como também os mapas de risco de incêndio.

6. CONCLUSÕES

De acordo com os modelos apresentados nessa pesquisa, foi possível avaliar a propensão de incêndios com recurso a poucas variáveis e que são ferramentas capazes de contribuir com o combate e controle das chamas na área de estudo. Utilizando-se da análise espacial foi possível avaliar e diagnosticar com clareza a classificação das áreas de risco de incêndios no município de João Pessoa.

A utilização do SIG mostrou que é uma geotecnologia decisiva à tomada de decisão no planejamento, prevenção e na execução de políticas na administração pública, onde apresenta bastante eficácia no gerenciamento de informações no âmbito dos mapas de risco de incêndio. As metodologias utilizadas para a geração dos modelos de predição exigiu um alto grau de organização dos dados no seu processo de elaboração e também um alto grau de conhecimento das funcionalidades de um SIG, além da geração dos mapas terem apresentado um baixo custo de produção.

Ao contrário das metodologias usadas por diferentes órgãos renomados como INPE e IBAMA, que trabalham diretamente na detecção de focos já iniciados, pode-se afirmar que as metodologias dos mapas de risco atuam de forma mais adequada no âmbito de enfoque de recursos na atenuação de incêndios. Por serem metodologias aplicadas à predição de cenários vulneráveis quanto ao risco, diagnostica com precisão os locais onde exatamente devem-se tomar medidas cabíveis para prevenção de tragédias, como lugares para estabelecer postos de vigia, tornando possível estabelecer estratégias de maneira mais efetiva. A elaboração desse tipo de mapa pode também se aplicar a áreas privadas e unidades de conservação, considerando as variáveis que influenciam o comportamento das chamas.

Os incêndios registrados pelo CIOP no período de 2010 ocorreram devido à ação direta ou indireta do homem. Os dados referentes ao segundo período sem chuva envolveu em média 120 dias ou aproximadamente 4 meses, compreendendo os meses de setembro a dezembro onde apresentou um maior risco de incêndio, no qual a vegetação se encontrou bastante seca. O fator climático foi condicionante para o aumento do número das ocorrências de incêndios no período estudado, e

que existiu certo grau de correlação entre o tamanho da população, área, densidade demográfica e o quantitativo de ocorrências de incêndios.

A análise de risco com a utilização da lógica *fuzzy* apresentou-se de forma satisfatória onde percebeu-se que os modelos gerados apresentaram um coeficiente de determinação acima de 85%. A variável de pluviometria foi o fator que contribuiu significativamente para que os modelos apresentassem maior confiabilidade. Logicamente, quanto maior o volume de precipitações, o solo se encontra mais úmido e menor estresse hídrico da vegetação, evitando assim que se inicie o processo de incêndio. Essa variável não foi utilizada e nem recomendada especificamente na metodologia de Ribeiro *et. al* (2008) e Chuvieco *et. al* (2010).

A utilização da autocorrelação espacial proporcionou uma nova análise sobre a dinâmica de distribuição espacial das classes de risco de incêndio. O método de dependência espacial ilustrou padrões intrínsecos de sua distribuição espacial, sendo esses dados de suma importância para ações de prevenção e combate, bem como o direcionamento de recursos logísticos e financeiros.

Como fonte de informações seguras sobre a dinâmica do fogo, é notória a grande contribuição da aplicação da Estatística Espacial aliada ao geoprocessamento. A combinação dessas ferramentas leva a compreender o comportamento das variáveis espaciais, auxiliando para uma visão enérgica da realidade, colaborando nas ações de planejamento urbano e gestão sócio-ambiental, fazendo com que sejam mais eficientes. As técnicas utilizadas mostraram utilidade na identificação de *clusters* de altos e baixos valores, *outliers* e áreas de transição entre os agrupamentos, sendo possível avaliá-los quanto ao nível de significância da associação espacial, destacando os agrupamentos mais relevantes. Outro ponto positivo é que essa análise permitiu a exploração de dados espaciais extraindo informações adicionais que não são perceptíveis diretamente quando são utilizadas classificações e visualizações básicas.

A presença simultânea da alta declividade, vegetação, elevada densidade demográfica, baixo índice pluviométrico, aglomerados subnormais (comunidades) e áreas dentro da influência da rede viária e hidrografia contribuíram para o alto fator de risco de incêndios.

Para pesquisas futuras, recomenda-se testar pesos distintos nos modelos propostos por Chuvieco *et. al* (2010) e Ribeiro *et. al* (2008), além de se aplicar o mesmo para a lógica *fuzzy*. Outra pesquisa poderia considerar ainda o monitoramento e a análise temporal do modelo de predição gerado, modelos de simulação de propagação por meio de autômatos celulares, aplicação do método em áreas com grande incidência de raios, comparativo dos resultados atingidos com as ações do poder público e desenvolvimento de uma aplicação SIG multitemporal considerando que os dados devem ser atualizados periodicamente, pois as condições ambientais estão em mudanças constantes podendo alterar o fator de risco ao longo do tempo e garantindo com isso a confiabilidade dos resultados encontrados.

Recomenda-se aos gestores a criação de uma política informativa para a população, com pequenos cuidados que podem ser tomados a fim de evitar prejuízos maiores. Estabelecer campanhas de sensibilização pública associadas à divulgação dos riscos, capacitação de pessoal para lidar com situações de perigo e o monitoramento contínuo das áreas consideradas mais propensas ao fogo, reordenamento do território em função do risco, elaborar diretrizes de ações estratégicas de acessos (rota e pontos de apoio do Corpo de Bombeiros) para atender as ocorrências. São simples atitudes, mas que visam à segurança da população e evitam prejuízos que podem ser causados pela ocorrência de incêndios.

REFERÊNCIAS

ABONYI, J.; BABUSKA, R.; SZEIFERT, F. **Modified Gath-Geva Fuzzy Clustering for Identification of Takagi-Sugeno Fuzzy Models**. IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, Part B: Cybernetics, vol. 32, n. 5, 2002. P. 612-621.

ABREU, M. V. S.; OLIVEIRA, J. C.; MEIRA, A. D. **Estatística Espacial Aplicada à Análise de Padrões de Segregação Sócioespacial em Viçosa – MG**. Anais do III Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação. p. 001-007. Recife-PE. 2010.

AESA – Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba. **Sítio Eletrônico**. Disponível em: <www.aesa.pb.gov.br>. Acesso em: 18 de março de 2013.

ALMEIDA, R. **Integração, manipulação e análise espacial de dados na pesquisa mineral através de modelos empíricos de prospecção: Um exemplo no planalto de Poços de Caldas**. Revista Brasileira de Geofísica, vol. 13, N02, p.127-142. 1995.

AMBIENTE BRASIL. **PREVFOGO Sistema Nacional de Prevenção e Combate aos Incêndios Florestais**. Sítio Eletrônico. 2006. Disponível em: <<http://www.ambientebrasil.com.br>>. Acesso em: 30 de março de 2012.

ANSELIN, L. **Exploratory Spatial Data Analysis in a Geocomputational Environment**. In: Longley, P. A.; Brooks, S. M.; MCDONNELL, R.; MACMILLIAN, B. Geocomputation a primer. Chichester: John Willey & Sons Ltd, 1998, p.77-94

ANSELIN, L. **The Moran scatterplot as ESDA tool to assess local instability in spatial association**. In: Fisher, M.; Scholten, H. J.; Unwin, D. Spatial Analytical Perspectives on GIS. London: Taylor & Francis, 1996, p. 111-126.

ASSAD, E. D.; SANO, E. E. **Sistemas de Informações Geográficas: Aplicações na Agricultura**. EMBRAPA – Brasília. 1998. 434 p. 2ª Edição.

ASSUNÇÃO, W. L.; D'ALMEIDA, K. S. P. **Estudo do Comportamento da Variabilidade Pluviométrica no Município de Patrocínio (MG), com o Emprego do Balanço Hídrico Climatológico**. In: Simpósio Brasileiro de Climatologia Geográfica, Aracaju. Anais do VI Simpósio Brasileiro de Climatologia Geográfica. Aracaju: Universidade Federal de Sergipe, 2004.

BABUSKA, R. **Fuzzy Modeling for Control**. Kluwer Academic Publishers, Norwell, USA, 1998. 260p.

BAILEY, T. C.; GATRELL, A. C. **Interactive spatial data analysis**, 1 ed. Essex, Longman Scientific & Technical. 1995a.

BAILEY, T. C.; GATTREL, A. C. **Spatial Data Analysis by Example**. London, Longman, 1995b.

BARBOSA, C. **Álgebra de Mapas e Suas Aplicações em Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento**. Dissertação de Mestrado em Sensoriamento Remoto, INPE, 1996. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/teses/claudio>>. Acesso em: 24 nov. 2012.

BARBOSA, R. S. **Caracterização das bacias aéreas e avaliação da chuva nos contrafortes da Serra do Mar - RJ**. Dissertação, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2007. 68p.

BARCELOS, I. **Explorando o Geoprocessamento**. Malima. 2006. Disponível em: <http://www.malima.com.br/article_read.asp?id=271>. Acesso em: 25 de fevereiro de 2012.

BARROS, L. C.; BASSANEZI, R. C. **Tópicos de Lógica Fuzzy e Bio-matemática**. Volume 5. Coleção IMECC. Textos Didáticos. IMECC - UNICAMP, Campinas. 2006.

BECKER, J. N. **Uso da Estatística Espacial no Mapeamento da Malária: Análise de Dependência Espacial da Doença no Estado do Amazonas e Área Urbana do Município de Manaus**. UFPE. Centro de Tecnologias e Geociências. Departamento de Engenharia Cartográfica. Recife-PE. 2012.

BOTELHO H. S. **Prevenção dos Incêndios Florestais e Gestão do Fogo**. Revista Floresta. 1998. Disponível em <http://home.utad.pt/~floresta/GFF/Lab_Fog_FI>. Acesso em: 30 de março de 2012.

BRASIL, **Decreto nº 97.635, de 10 de abril de 1989**. Regula o art. 27 do Código Florestal e dispõe sobre a prevenção e combate a incêndio florestal, e dá outras providências. DF: Senado, 1989.

BURROUGH, P. A.; MCDONNELL, R.A. **Principles of geographical information systems**. Oxford, Oxford University Press, 2005.

BUSSAB, W. O.; MORETTIN, P. A. **Estatística Básica**. São Paulo: Editora Atual. 1987.

DRUCK, S.; CARVALHO, M. S.; CÂMARA, G.; MONTEIRO, A. V. M. **Análise Espacial de Dados Geográficos**. Brasília, EMBRAPA, 2004. ISBN: 85-7383-260-6.

CÂMARA, G.; MOREIRA, F. R.; BARBOSA, C.; FILHO, R. A. **Inferência Geográfica e Suporte à Decisão**. Introdução a Ciência da Geoinformação. São José dos Campos. INPE. 2004. Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/introd/cap_9-inferencia.pdf>. Acesso em: 23 de julho de 2013.

CÂMARA, G.; DAVIS, C. **Geoprocessamento: Teoria e Aplicações**. Introdução a Ciência da Geoinformação. São José dos Campos. INPE. 2004. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/introd/cap1-introducao.pdf>>. Acesso em: 25 de fevereiro de 2012.

CÂMARA, G.; MEDEIROS, J. **Geoprocessamento para Projetos Ambientais**. Introdução a Ciência da Geoinformação. São José dos Campos. INPE. 2004. Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/gilberto/tutoriais/gis_ambiente/6metod.pdf>. Acesso em: 29 de março de 2012.

CÂMARA, G.; CARVALHO, M. S.; CRUZ, O. G.; CORREA, V. **Análise Espacial de Áreas**. Introdução a Ciência da Geoinformação. São José dos Campos. INPE. 2004. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/analise/cap5-areas.pdf>>. Acesso em: 23 de julho de 2013.

CÂMARA, G.; MOREIRA, M. A. **Fundamentos do Sensoriamento Remoto e Metodologias de Aplicação**. Universidade Federal de Viçosa. 2003. 307 p. 2ª Edição.

CARRAO, C.; FREIRE, S.; NUNES, A. **Carta de Ocupação do Solo e Avaliação do Estado da Vegetação com Imagens de Satélite para Prevenção de Fogos Florestais**. 2002. Disponível em: <<http://www.igeo.pt/gdr/pdf/Carrao2002a.pdf>>. Acesso em: 20 de março de 2010.

CARVALHO, M. S.; CÂMARA, G. **Análise de eventos pontuais**. In Análise espacial de dados geográficos (eds. Drunck, S., Carvalho, M. S., Câmara, G. & Monteiro, A. M. V.), 15 p. 2002. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/analise/>> Acessado em 15 de março de 2013.

CASTANHO, M. J. P. **Construção e Avaliação de um Modelo Matemático para Predizer a Evolução do Câncer de Próstata e Descrever seu Crescimento Utilizando a Teoria dos Conjuntos Fuzzy**. Tese de Doutorado. Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação. UNICAMP. Campinas, SP. 2005. 148p.

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

CENTENO, J. **Sensoriamento Remoto e Processamento de Imagens Digitais**. Curitiba: Ed. Curso de Pós Graduação em Ciências Geodésicas. Universidade Federal do Paraná, 2004. 219p.: il.

CHOU, Y. **Spatial autocorrelation of wildfire distribution in the Idyllwild Quadrangle, San Jacinto Mountains, California, USA**. Environmental Management, New York, v. 17, n. 1, p.129-140, 1990.

CHUVIECO, E. A.; YEBRA, I.; NIETO M.; SALAS, H.; MARTIN, J.; VILAR, M.P.; MARTÍNEZ, L.; MARTÍN, J.; IBARRA, S.; DE LA RIVA, P.; BAEZA, J.; RODRIGUEZ, J.; MOLINA, F.; HERRERA, J. R.; ZAMORA, M. A. **Development of a framework for fire risk assessment using remote sensing and geographic information system Technologies**. Ecological Modelling 221: 46-58, 2010.

CHUVIECO, E.; ALLGOWER, B.; SALAS, F. J. **Integration of Physical and Human factors in fire danger assessment**. In: Chuvieco, E. (Ed.) Wildland Fire Danger Estimation and Mapping. The role of Remote Sensing Data. World Scientific Publishing, Singapore. Pp. 197 – 218, 2003.

CHUVIECO, E.; SALAS, F. J.; RODRIGUEZ, J.; SILVA, L. **Integrated fire risk mapping**. In Chuvieco, E. (Ed.). Remote Sensing of Large Wildfires in the European Mediterranean Basin. Berlin, Springer-Verlag. Pp 61-84, 1999.

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.

CLEMENTE, R. **Algumas considerações sobre incêndios florestais**. Geodésia Online. Florianópolis, 2008. Disponível em : <<http://geodesia.ufsc.br>>. Acesso em: 28 de fevereiro de 2012.

CORPO DE BOMBEIROS MILITAR DE RORAIMA. **Planejamento de Prevenção: A melhor saída contra os incêndios florestais**. Disponível em: <<http://www.bombeiros.rr.gov.br>>. Acesso em: 28 de fevereiro de 2012.

CORREIA, G.; **Elaboração de uma carta de Riscos de Incêndios Florestais aplicada ao município de Marituba - PA**. Curso Superior de Tecnologia em Geoprocessamento. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia – IFPB. João Pessoa. 52 p. 2007.

CSISZAR, I.; SCHROEDER, W.; LONGO, K.; FREITAS, S.; SCHMIDT, C.; SETZER, A.; MORISETTE, J.; PRINS, E.; BRUNNER, J. **A 10-year Record of Fire Emissions in South America Derived from Satellite-based Fire Occurrence Data**. AGU 2010, B24A-06, Foz do Iguaçu, PR, 08-12/Aug/2010

DEPPE, F. **Monitoramento de incêndios e do estado da vegetação através da utilização de imagens NOAA/AVHRR**. Anais XI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Belo Horizonte, Brasil, INPE, p. 453-460. 2003.

DILLON, G. **Dois Lulas: a geografia eleitoral da reeleição (explorando conceitos, métodos e técnicas de análise geoespacial)**. Revista Opinião Pública. vol.14. nº2. Campinas. 2008. Disponível em: < www.scielo.br/img/revistas/>. Acesso em: 22 de fevereiro de 2012.

FEITOSA, F. F. **Índices Espaciais para Mensurar a Segregação Residencial: O Caso de São José dos Campos – SP**. Dissertação de Mestrado. INPE. 2005.

FERRAZ, S.; VETORAZZI, C. **Identificação de áreas para recomposição florestal com base em princípios de ecologia de paisagem**. Revista Árvore, 27, 4p, Julho/Agosto, Viçosa. 2003.

FERREIRA, E. B.; OLIVEIRA, M. S. **Introdução à Estatística Básica com R**. Lavras. UFLA/FAEPE, 1ª Edição. 124 p. : il. 2008.

FLORENZANO, T. **Imagens de Satélite para Estudos Ambientais**. São Paulo: Oficina de Textos, 2002.

FULLER, M. **Forest fires: an introduction to wildland fire behavior, management, firefighting, and prevention**. New York: J. Wiley, 1991.

GENOVEZ, P. **Território e Desigualdades: Análise Espacial Intraurbana no Estudo da Dinâmica de Exclusão/Inclusão Social no Espaço Urbano em São José dos Campos – SP**. Dissertação de Mestrado. INPE. 201 p. 2002.

GOMIDE, F.; PEDRYCZ, W. **An Introduction to Fuzzy Sets-Analysis and Design**. Masachusetts Institute of Technology, Masachusets. 1998.

GORP, J. V. **Nonlinear Identification with Neural Network and Fuzzy Logic**. Tese de Doutorado. Department of Fundamental Electricity and Instrumentation. Vrije Universiteit Brussel, Brussel, Bélgica, 2000. 280p.

HAURWITZ B.; AUSTIN, J. M. **Climatology**. New York: McGraw-Hill Book, 1944, p. 157-175.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Sítio Eletrônico**. Disponível em: <www.ibge.gov.br>. Acesso em: 31 de março de 2012.

IGEO – Instituto Geográfico Português. **Cartografia de Risco de Incêndios Florestais**. Disponível em:<<http://scrif.igeo.pt/cartografiacrif/2007/metodologia.html>>. Acesso em 23 de março de 2012.

INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **Sítio Eletrônico**. Disponível em: <<http://www.inpe.br>>. Acesso em: 30 de março de 2012.

JOÃO PESSOA (PB). Câmara Municipal de João Pessoa. **Lei n. 1.574, de 04 de setembro de 1998**. Dispõe sobre a nomeação e delimitação dos 64 (sessenta e quatro) bairros do município de João Pessoa. 1998.

JENSEN, J. R. **Sensoriamento Remoto do Ambiente: Uma Perspectiva em Recursos Terrestres**. Tradução da Segunda Edição. São José dos Campos, Parêntese Editora, 598 p. 2009.

KOPROSKI, L.; MANGINI, P. R.; PACHALY, J. R.; BATISTA, A. C.; SOARES, R. V. **Impactos do fogo sobre serpentes (Squamata) no Parque Nacional de Ilha Grande (PR/MS), Brasil**. Arq. Ciênc. Vet. Zool. Unipar, Umuarama, v. 9, n. 2, p. 129-133, 2006. Acesso em: 26 de fevereiro de 2013.

KOPROSKI, L. P.; NUNES, J. R. S.; BEUTLING, A.; MELO, L. A. N.; BIONDI, D.; BATISTA, A. C. **Relação entre a qualidade da paisagem e o risco de incêndios florestais**. Revista Floresta, Curitiba, v. 38, n. 1, p. 145-154, jan./mar. 2008.

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)**. Revista Floresta, Curitiba, PR, v. 41, n. 3, p. 551-562, jul./set. 2011.

KOPROSKI, L. P. **Importância do mapeamento de riscos de incêndios florestais para propriedades rurais**. 2007. In: IV Simpósio Sul-Americano Sobre Prevenção e Combate Aos Incêndios Florestais e 8ª Reunião Técnica Conjunta SIF/FUPE/IPEF sobre Controle de Incêndios Florestais. 2007, Belo Horizonte.

LISBOA FILHO, J. **Projeto de Banco de Dados para Sistemas de Informação Geográfica**. Universidade Federal de Viçosa, Revista Eletrônica de Iniciação Científica - REIC/SBC, v.1, n.2, 2001. Disponível em: <<http://www.sbc.org.br/>>. Acesso em: 30 de janeiro de 2012.

LISBOA FILHO, J.; IOCHPE, C. **Um estudo sobre modelos conceituais de dados para projeto de bancos de dados geográficos**. Revista IP- Informática Pública, Belo Horizonte, v.1, n.2, 1999.

MACHADO, M. A. S.; FILHO, P. S. B.; MEDEIROS, V. Z. **Um Sistema de Inferência Nebuloso para Apoio à Tomada de Decisão do Analista de Crédito de Empresas de Crédito Pessoal**. RESI – Revista Eletrônica de Sistemas de Informação. 7ª Edição, Ano V, n. 1. 2006. P.1-25.

MAGALHÃES, M. N.; LIMA, A. C. P. **Noções de probabilidade e estatística**. 6ª Edição. São Paulo: EDUSP, p. 263. 2008.

MAMDANI, E. H.; ASSILIAN, S. **An Experiment in Linguistic Synthesis with a Fuzzy Logic Controller**. International Journal Man-Machine Studies, vol. 7, n. 1, 1975. P. 1-15.

MEJIAS SEDEÑO, E.; SETZER, A.W. **Comportamiento de los incendios detectados con satélites en Cuba, durante el período 2004-2008**. XIII Congreso Forestal Mundial (CFM2009), Buenos Aires, Argentina, 18-23/Out/2009.

MEJIAS SEDEÑO, E.M., SETZER, A.W. **Sistema para la detección y monitoreo de incendios en la vegetación con el empleo de la teledetección – pronóstico de peligro a corto y mediano plazo**. Tecnologías Espaciales, Desastres naturales y Agricultura en países de Iberoamérica. Editor Dámaso R. Ponvert-Delisle Batista. CYTED-Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el desarrollo, UTEEDA-Red Iberoamericana “Uso de las Tecnologías Espaciales para la Evaluación Monitoreo y Manejo de Desastres Naturales en la Agricultura”. ISBN 959-16-0487-4. 1ª. Ed 2007; 2ª. Ed. 2009. pp.21-47.

MELLO, J. **História da Paraíba: lutas e resistência**. João Pessoa. A União. 7ª Edição. 1987.

MENESES, H. **Modelos de representação de dados espaciais**. Disponível em: <http://metro.det.ufc.br/~brito/Disciplina_SIG/Aula_4_SIG.pdf> Acesso em: 29 de fevereiro de 2012.

MINAS GERAIS, **Decreto nº 44.043/05, de 09 de junho de 2005**. Cria o Programa de Prevenção e Combate a Incêndios Florestais, denominado Força Tarefa Previncêndio - FTP, para proteção das Unidades de Conservação, fragmentos florestais, reflorestamentos e estabelece as ações a serem desenvolvidas. MG: Diário do Executivo, 2005.

MORAES, R. M.; TORRES, S.; MACIEL, W. **História de João Pessoa**. Disponível em: <<http://www.de.ufpb.br/~ronei/JoaoPessoa/turjp.htm>>. 2000. Acesso em: 31 de março de 2012.

NEPSTAD, D.; MOREIRA, A.; VERISSIMO, A.; NOBRE, C.; SETZER, A.; KRUG, T.; BARROS, A.C.; ALENCAR, A.; PEREIRA, J.R. **Forest fire prediction and prevention in the Brazilian Amazon**. Conservation Biology 12(5): 951-953, October/1998.

NEVES, M.C.; RAMOS, F.R.; CAMARGO, E.C.G.; CÂMARA, G.; MONTEIRO, A.M. **Análise Exploratória Espacial de Dados Sócio-Econômicos de São Paulo**. In: GIS Brasil. Salvador, 2000. Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/gilberto/papers/marcos_gisbrasil2000.pdf>. Acesso em: 22 de julho de 2013.

NOGUEIRA, G. **Escolha de locais para instalação de torres de detecção de incêndio com auxílio do SIG**. Revista Árvore, Viçosa, v. 26, n. 3, p. 363-369, 2002.

NOVO, E. **Sensoriamento Remoto. Princípios e Aplicações**. 2ª edição. São Paulo: Edgard Blucher Ltda, 1993.

NOVO, E. **Sensoriamento Remoto: Princípios e Aplicações**. São Paulo, Terceira Edição. Editora Edgard Blucher, 388 p. 2008.

OLIVEIRA, D. **Zoneamento de risco de incêndios florestais no norte de Santa Catarina**. Curitiba. 112 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2002.

OLIVEIRA, S.; OEHLER, F.; AYANZ, J.; CAMIA, A.; PEREIRA, J. **Modeling spatial patterns of fire occurrence in Mediterranean Europe using Multiple Regression and Random Forest**. Forest Ecology and Management, 2012, Vol.275, pp.117-129.

PEIXOTO, M. S. **Sistemas dinâmicos e controladores fuzzy: Um estudo da dispersão da Morte Súbita dos Citros em São Paulo**. Tese de Doutorado. IMECC - UNICAMP, Campinas. 2008.

PEREIRA, C. **Geoprocessamento & Modelos espaciais**. In: I Workshop da Especialização em Modelagem Matemática 2005. UESC. Disponível em: <http://www.uesc.br/cursos/pos_graduacao/especializacao/modelagem/geoprocessamento.pdf>. Acesso em: 28 de abril de 2012.

PEREIRA, J. C. R. **Análise de dados qualitativos: estratégias metodológicas para as ciências da Saúde, Humanas e Sociais**. 3.ed. São Paulo: Edusp, 2004.

PIERCE, A.; FARRIS, C. A.; TAYLOR, A. H. **Use of random forests for modeling and mapping forest canopy fuels for firebehavior analysis in Lassen Volcanic National Park, California, USA**. Forest Ecology and Management, 2012, Vol.279, pp.77-89

PREFEITURA MUNICIPAL DE JOÃO PESSOA. **Sítio Eletrônico**. Disponível em: <<http://www.joaopessoa.pb.gov.br/>>. Acesso em 31 de março de 2012.

PROARCO. **Programa de Prevenção e Controle às Queimadas e Incêndios Florestais no Arco do Desflorestamento**. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/proarco/bdqueimadas>>. Acesso em: 8 de março de 2012.

PRUDENTE, T. D. **Geotecnologias aplicadas ao mapeamento de risco de incêndio florestal no Parque Nacional da Chapada dos Veadeiros e área de entorno**. Dissertação de mestrado. UFU-MG. 114fl.: il. 2010.

RAMOS, F. R. **Análise Espacial de Estruturas Intraurbanas: O caso de São Paulo**. Dissertação de mestrado. INPE. São José dos Campos, 2002.

REMMEL, T. K.; PEREIRA, A. H. **Fire mapping in a northern boreal forest: assessing AVHRR/NDVI methods of change detection**. Forest Ecology and Management, 152p., 119-129, 2001.

RENÉ, J. **Fuzzy Logic in Control**. Delft, The Netherlands. 1995. 322p.

REYES, C. A. P. **Coevolutionary Fuzzy Modeling**. Tese de Doutorado. École Polytechnique Fédérale de Lausanne. Lausanne, Switzerland. 2002. 162p.

RIBACONKA, F. **Sistemas computacionais baseados em lógica fuzzy**. Dissertação de Mestrado. Universidade Mackenzie, São Paulo. 1999.

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

RIBEIRO, L.; KOPROSKI, L.; STOLLE, L.; LINGNAU, C.; SOARES, R.; BATISTA, A. **Zoneamento de Riscos de Incêndios Florestais para a Fazenda Experimental do Canguiri, Pinhais (PR)**. FLORESTA, Curitiba, PR, v. 38, n. 3, jul./set. 2008.

ROCHA, M. M. **Modelagem da Dispersão de Vetores Biológicos com emprego da Estatística Espacial**. Dissertação de Mestrado. Instituto Militar de Engenharia - IME, Rio de Janeiro – RJ. 2004.

ROSA, R. **Introdução ao Sensoriamento Remoto**. 5 ed. Uberlândia: Ed. da Universidade Federal de Uberlândia, 2003.

SAMPAIO, O. S.; MATTOS, J. T.; VENEZIANI, P. **Estudos de fraturamentos para pesquisa de água subterrânea no Estado de Sergipe com produtos de sensoriamento remoto**. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 4. (SBSR), 1986, Gramado. Anais. São José dos Campos: INPE, 1986. v. 2, p. 447-452. Printed, On-line. ISBN 978-85-17-00049-2. (INPE-7802-PRE/3642). Disponível em: <<http://urlib.net/3ERPFQRTRW/34NH5PL>>. Acesso em: 24 de novembro de 2012.

SCHIMIDT, J.; EVANS, I. S.; BRINKMANN, J. **Comparison of polynomial models for land surface curvature calculation**. International Journal of Geographical Information Science, v.17, n.8, 2003. p. 797-814.

SCHROEDER, W.; ALENCAR, A.; ARIMA, E.; SETZER, A. **The spatial distribution and inter-annual variability of Fire in Amazônia**. LBA Synthesis Book-Amazonia and Global Change. Ed. M. Keller, M.Bustamante, J.Gash and P.L.S.Dias. Geophysical Monograph Series, Volume 186, 2009.

SETZER, A.; YOSHIDA, M.C.; MORELLI, F.; MAURANO, L.E. **MSG Monitoring of vegetation fires in Brazil**. European Space Agency – Living Planet Symposium, Bergen, Norway, 28/june-02/July/2010.

SIEGEL, S.; CASTELLAN, N. J. **Estatística não paramétrica para ciências do comportamento**. 2ª Edição. Porto Alegre: Artmed. p. 69. 2006.

SILVA, I. D. B.; PONTES, A. C. F. **Elaboração de um Fator de Risco de Incêndios Florestais utilizando Lógica Fuzzy**. Revista Biomatemática 21. IMECC – UNICAMP – Campinas. 113-128p. 2011. Disponível em: <http://www.ime.unicamp.br/~biomat/bio21_art9.pdf>. Acesso em: 23 de julho de 2013.

SOARES, R. V.; BATISTA, A. C. **Incêndios Florestais - Controle, Efeitos e Uso do Fogo**. Curitiba: FUPEF, 2007. 250p.

SOARES, R. V.; BATISTA, A. C. **Curso de especialização por tutoria à distância controle de incêndios florestais: o problema do fogo na floresta e meteorologia aplicada aos incêndios florestais**. Módulo 2. Brasília, DF: ABEAS, 2002. 120 p.

SOARES, R. V. **Ação Ambiental**. Entrevista concedida a Fernando Campos. Viçosa, n. 12, p. 5-7, jun./jul. 2000.

SOARES, R. V. **Desempenho da fórmula de Monte Alegre: o índice brasileiro de perigo de incêndios florestais**. Revista Cerne, Lavras, v. 4,n. 1, p. 87-98, 1998.

SOARES, R.V.; BATISTA, A. C. **Manual de prevenção e combate a incêndios florestais**. Curitiba: Convênio LAP/FUPEF, 1997.

SOARES, R. V. **Planos de Proteção contra Incêndios Florestais**. In: Reunião Técnica Conjunta FUPEF/SIF/IPEF, 4.; Curso de Atualização em Controle de Incêndios Florestais, 2., 1996, Curitiba. Anais... Curitiba: FUPEF, 1996. p. 144-146.

SOARES, R. V. **Perfil dos incêndios florestais no Brasil, de 1984 a 1987: relatório final**. Curitiba: FUPEF, 1989.

SOARES, R. V. **Incêndios florestais: controle e uso do fogo**. Curitiba: FUPEF, 1985.

SUGENO, M. **Fuzzy Modeling and Control: Selected Works of M. Sugeno**. CRC Press, NW, USA. 1999. 429p.

TAKAGI, T.; SUGENO, M. **Fuzzy Identification of Systems and Its Applications to Modeling and Control**. IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, vol. 15, n. 1, 1985. P. 116-132.

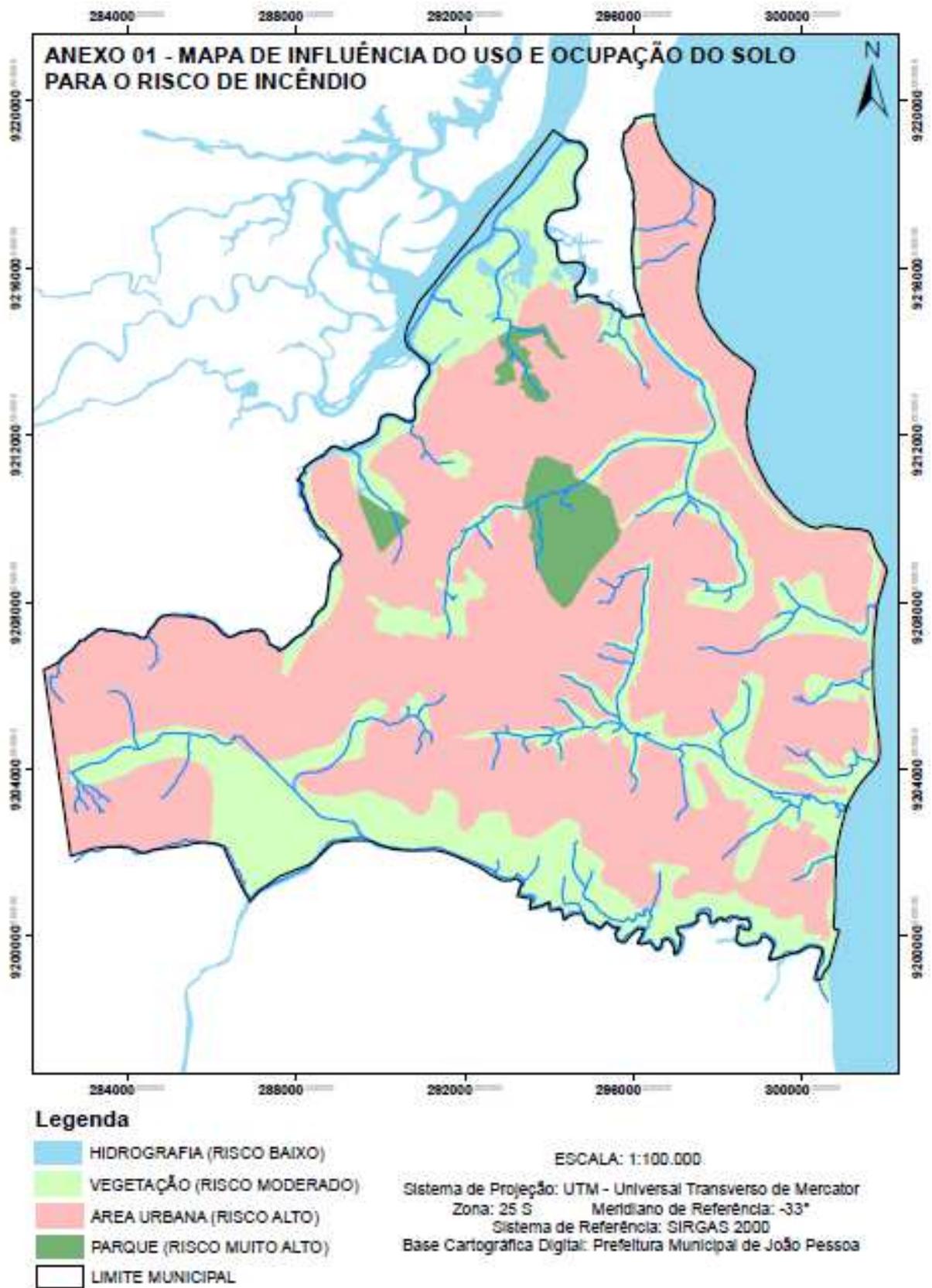
TOBLER, W. **Cellular geography**. In: S. Gale and O. G. (ed). Philosophy in Geography. Dordrecht, Reidel, 1979. v., p. 379-386.

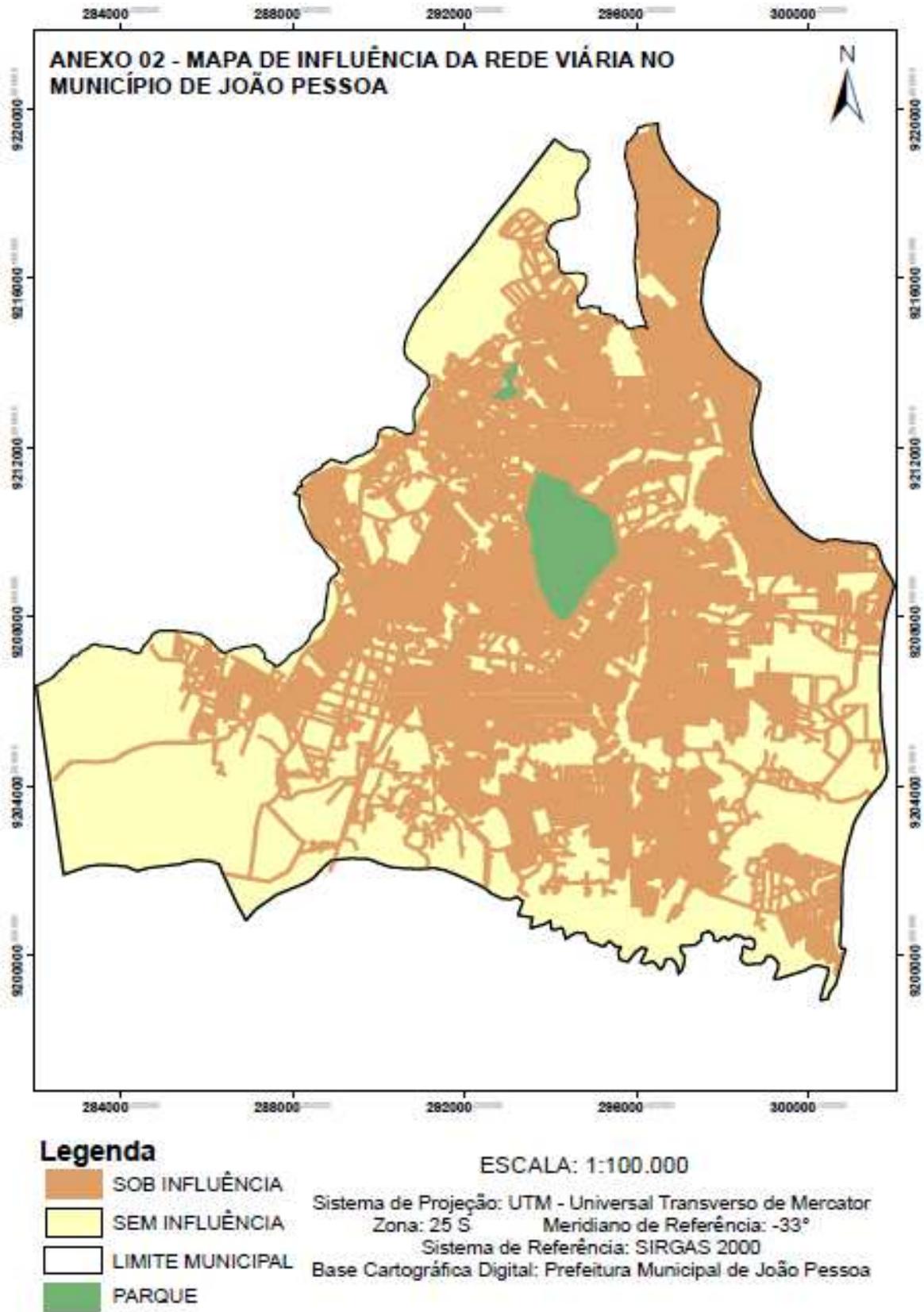
VETTORAZZI, C. **Forest Hazard Mapping in a GIS Environment for a River Basin in São Paulo State**. Second International Conference on Geospatial Information in Agriculture and Forestry, Piracicaba – Brazil. 2000. p. 609 a 616.

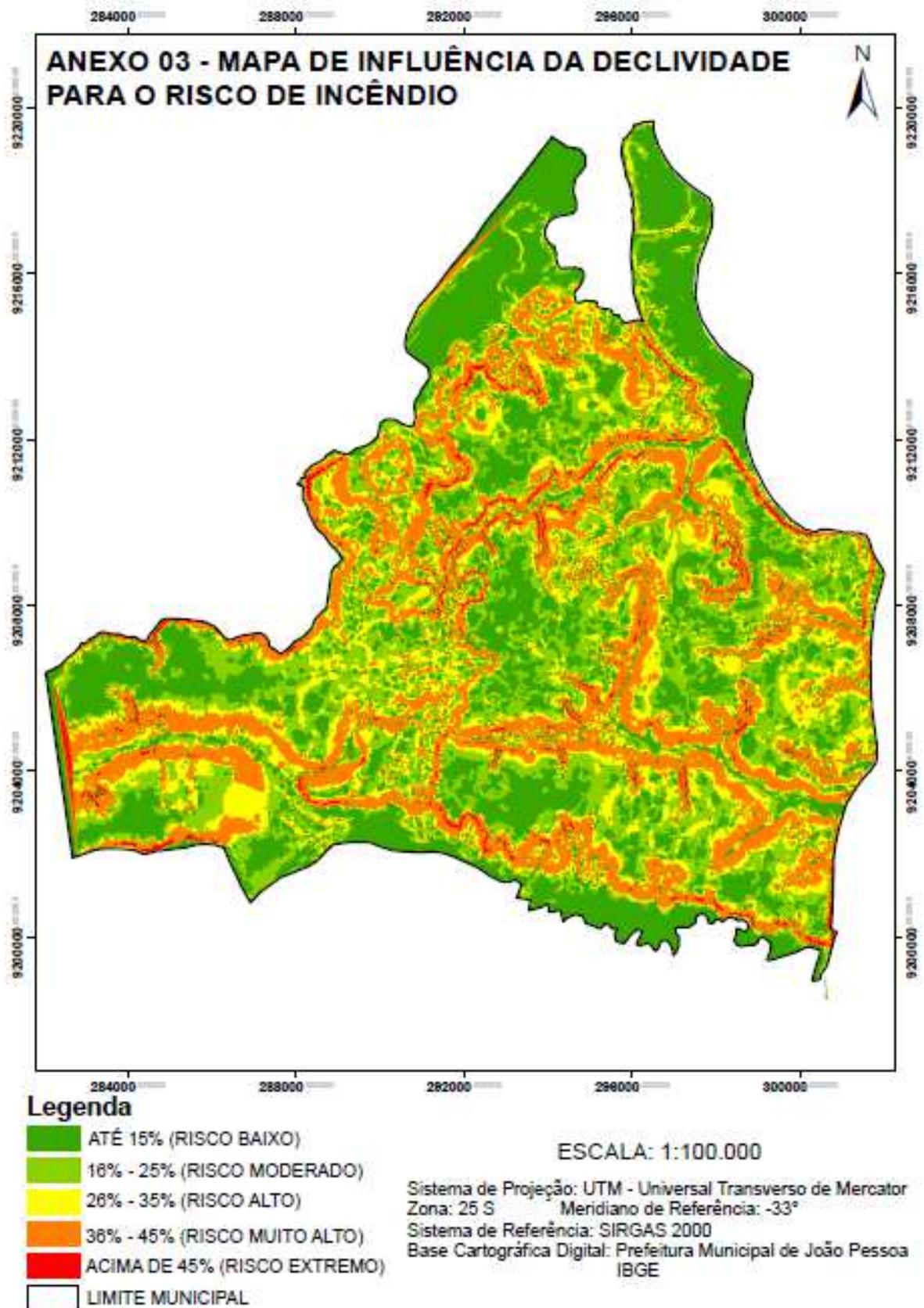
VILJAMAA, P. **Fuzzy Gain Scheduling and Tuning of Multivariable Fuzzy Control – Methods of Fuzzy Computing in Control Systems**. Tese de Doutorado. Tampere University of Technology. Tampere, Finlândia, 2000. 131p.

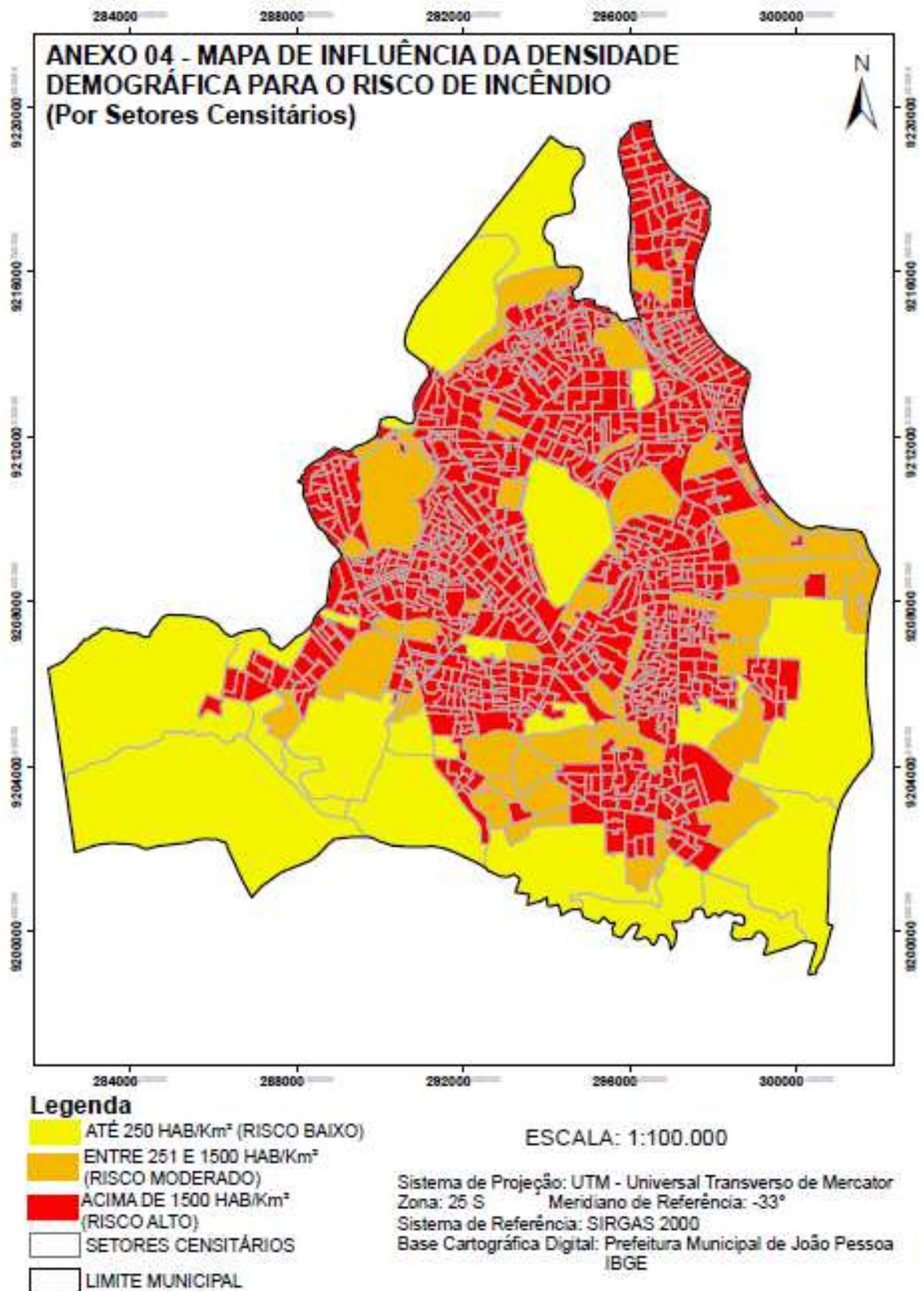
ZHANG, J.; YAO, F.; LIU, C.; YANG, L.; BOKEN, V. K. **Detection, Emission Estimation and Risk Prediction of Forest Fires in China Using Satellite Sensors and Simulation Models in the Past Three Decades - An Overview**. International Journal of Environmental Research and Public Health, 2011, Vol.8 (8), p.3156-3178.

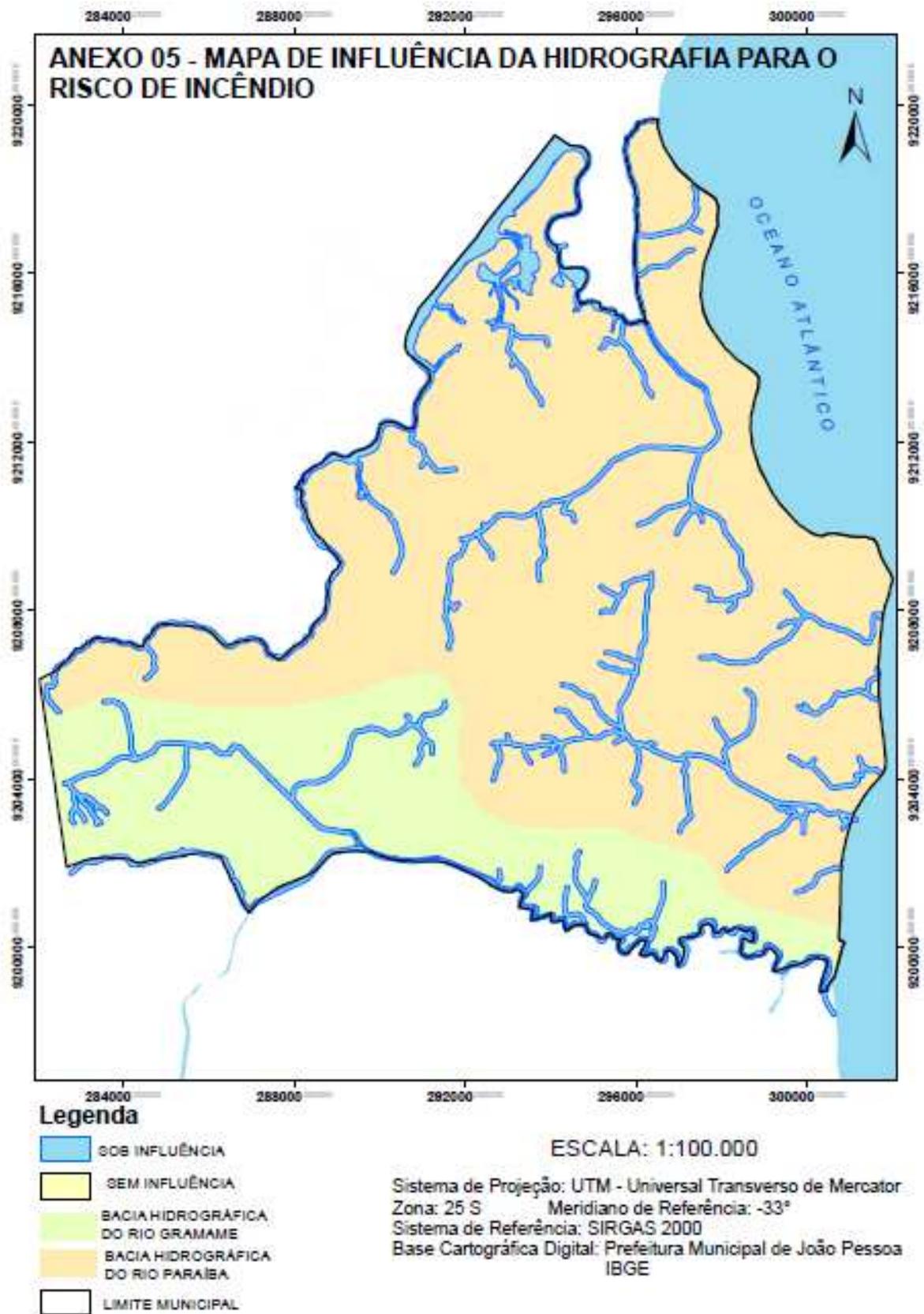
ANEXOS

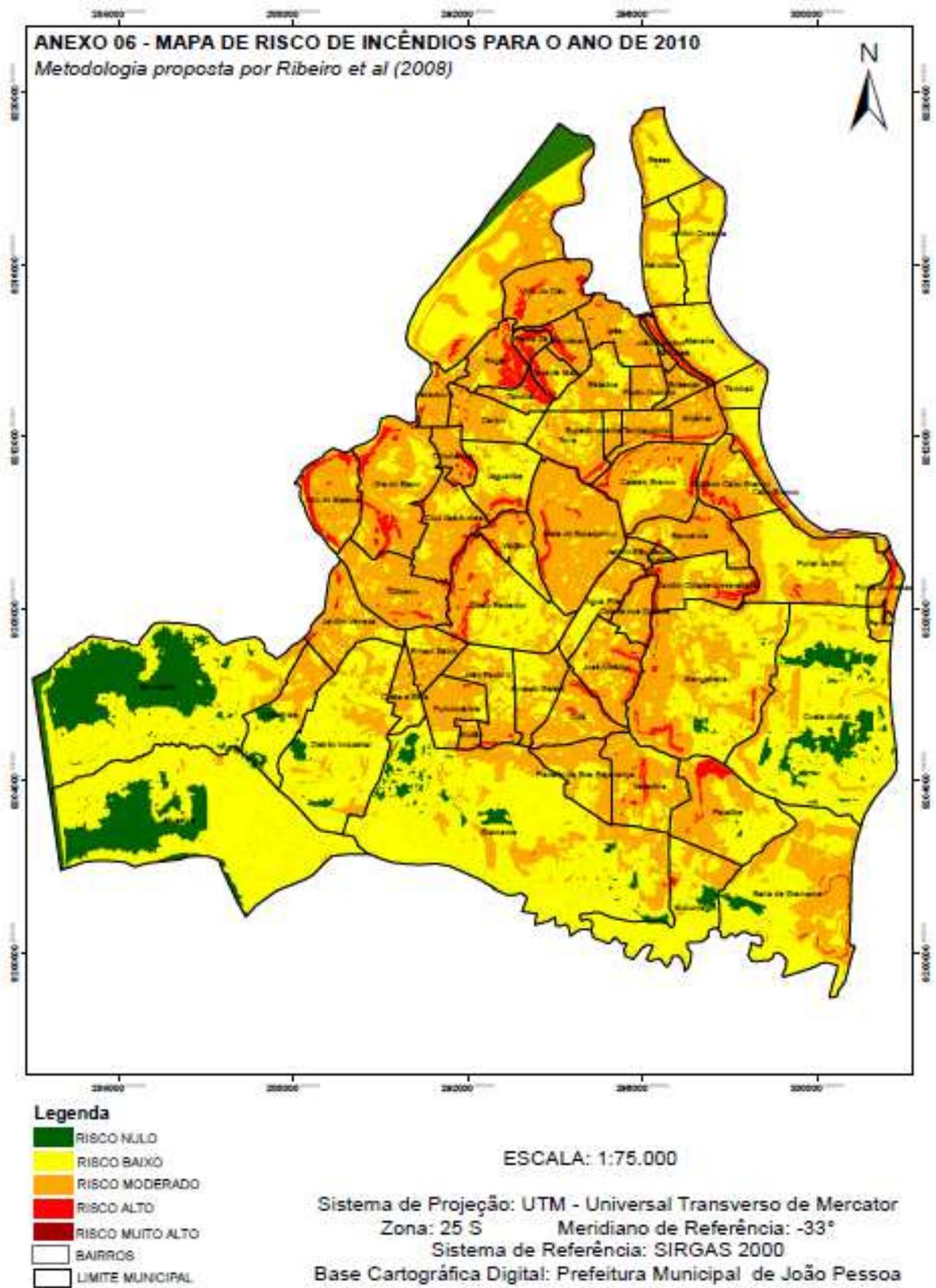


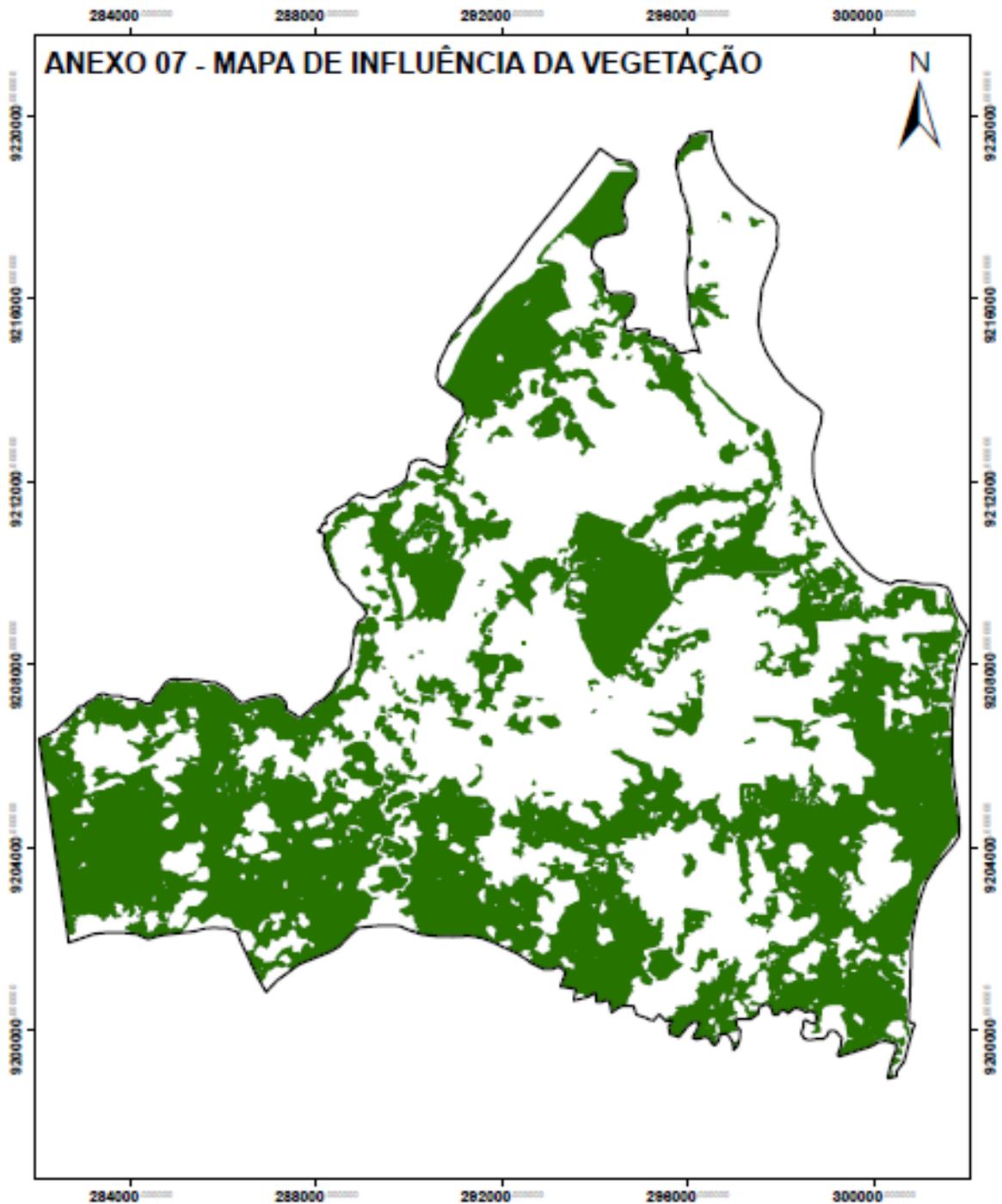












Legenda

-  LIMITE MUNICIPAL
-  LIMITE DE BAIROS
-  ÁREA SOB INFLUÊNCIA DA VEGETAÇÃO

ESCALA: 1:100.000

Sistema de Projeção: UTM - Universal Transverso de Mercator
Zona: 25 S Meridiano de Referência: -33°
Sistema Geodésico de Referência: SIRGAS 2000
Base Cartográfica Digital: Prefeitura Municipal de João Pessoa

