



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
Instituto de Geociências

**MAPEAMENTO SEMIAUTOMÁTICO DE CULTIVOS ILÍCITOS DE
CANNABIS SATIVA NO SEMIÁRIDO PERNAMBUCANO
MEDIANTE INTEGRAÇÃO DE IMAGENS SPOT 5 – HRG, DADOS
GEOGRÁFICOS AUXILIARES E CONHECIMENTO DE CAMPO**

ALESSANDRA LISITA

Tese de doutorado n.º 106

Brasília, DF
Setembro/2011

ALESSANDRA LISITA

MAPEAMENTO SEMIAUTOMÁTICO DE CULTIVOS ILÍCITOS DE *CANNABIS SATIVA* NO SEMIÁRIDO PERNAMBUCANO MEDIANTE INTEGRAÇÃO DE IMAGENS SPOT 5 – HRG, DADOS GEOGRÁFICOS AUXILIARES E CONHECIMENTO DE CAMPO

Tese de Doutorado submetida ao Programa de Pós-Graduação em Geologia da Universidade de Brasília, como parte dos requisitos necessários para a obtenção do Grau de Doutor em Geologia, Área de Concentração em Processamento de Dados em Geologia e Análise Espacial.

Orientador: Dr. Edson Eyji Sano

Coorientador: Dr. Laurent Durieux

Brasília, 1.º de setembro de 2011.

Lisita, Alessandra.

Mapeamento Semiautomático de Cultivos Ilícitos de *Cannabis Sativa* no Semiárido Pernambucano mediante Integração de Imagens SPOT 5 – HRG, Dados Geográficos Auxiliares e Conhecimento de Campo / Alessandra Lisita – Brasília, 2011.

215f.: il.

Tese (doutorado) – Universidade de Brasília, Departamento de Geologia Geral e Aplicada, 2011.

Orientador: Prof. Dr. Edson Eyji Sano, Departamento de Geologia Geral e Aplicada.

1. Sensoriamento remoto, modelagem espacial, lógica nebulosa. 2. Classificação de imagens baseada em objetos – Segmentação de imagens. 3. Caatinga, drogas ilícitas, *Cannabis sativa*. I. Lisita, Alessandra II. Universidade de Brasília III. Título.

Cod. 106

ALESSANDRA LISITA

MAPEAMENTO SEMIAUTOMÁTICO DE CULTIVOS ILÍCITOS DE *CANNABIS SATIVA* NO SEMIÁRIDO PERNAMBUCANO MEDIANTE INTEGRAÇÃO DE IMAGENS SPOT 5 – HRG, DADOS GEOGRÁFICOS AUXILIARES E CONHECIMENTO DE CAMPO

Esta tese foi julgada adequada para a obtenção do título de Doutora em Geologia, Área de concentração em Processamento de Dados em Geologia e Análise Ambiental e aprovada em sua forma final pelo Instituto de Geociências, Departamento de Geologia Geral e Aplicada da Universidade de Brasília.

Brasília, 1.º de setembro de 2011.

Dr. Edson Eyji Sano (UnB – Orientador)

Dr. Henrique Llacer Roig – Examinador interno

Dr. Ricardo Seixas Brites – Examinador interno

Dr. Lênio Soares Galvão – INPE, examinador externo

Dr. Yosio Edemir Shimabukuro – INPE, examinador externo

“As aparências para a mente são de quatro tipos: As coisas que são o que parecem ser, ou não são nem parecem ser, ou são e não parecem ser, e as que não são e, mesmo assim, parecem ser. Almejar corretamente todas essas situações é uma tarefa que requer conhecimento”.

Epictetus, Século II d.C. filósofo grego.

*Este trabalho é dedicado à
memória dos Policiais Federais que
perderam as suas vidas no combate ao
tráfico de drogas*

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador, Dr. Edson Eyji Sano, por acreditar nesta pesquisa e aceitar o desafio de orientar um trabalho científico aplicado à rotina de uma instituição policial. Ao meu coorientador, Dr. Laurent Durieux, pelo apoio na aquisição dos dados SPOT 5 e pelas oportunidades de intercâmbio científico nas unidades do IRD em Caiena e em Montpellier. A ambos, queridos orientador e coorientador, meus sinceros agradecimentos pela orientação, confiança e amizade.

Ao professor Dr. Henrique Roig, pelas sugestões para a melhoria do trabalho.

Aos membros da banca examinadora, pelas sugestões.

Aos pesquisadores da Unidade “ESPACE” do IRD em Montpellier e Caiena, em especial, ao diretor Dr. Frédéric Huynh, ao Dr. Jean-Marie Fotsing e ao pesquisador Jean François Faure, cujo apoio e colaboração foram imprescindíveis para o acesso aos dados SPOT 5 empregados nesta pesquisa. Ao Dr. Pièrre Sabaté que, como representante do IRD no Brasil, apoiou a pesquisa em seu início.

Aos servidores da Academia Nacional de Polícia, especialmente ao Diretor da Academia Nacional de Polícia, Delegado de Polícia Federal Disney Rosseti, ao Coordenador da Coordenação de Altos Estudos de Segurança Pública - CAESP/ANP, Delegado de Polícia Federal Célio Jacinto dos Santos, e aos colegas Delegado Emerson, Delegado Eliomar, Gilson, Manuela, André e Roberta, por me acolherem na CAESP/ANP durante o desenvolvimento desta tese.

Aos servidores da Área de Perícias de Meio Ambiente do Instituto Nacional de Criminalística (APMA/INC) e, em especial, aos colegas Peritos Criminais Federais Mauro Mendonça Magliano, Daniel Russo, Rafael de Arêa Leão e Luciano Lamper Martinez, pelas sugestões e pela colaboração durante o desenvolvimento deste trabalho.

Àqueles que acreditaram nesta pesquisa ainda em sua fase inicial e cujo apoio foi fundamental para concretizar este trabalho: Perito Criminal Federal aposentado Geraldo Bertolo e Perito Criminal Federal Paulo Roberto Fagundes, enquanto Diretores da Diretoria Técnico-Científica. Delegado de Polícia Federal Anísio Soares Vieira, que prestou apoio à pesquisa no cargo de Coordenador da Coordenação-Geral de Polícia de Repressão a Entorpecentes – CGPRE e

posteriormente como Diretor da Academia Nacional de Polícia. Ao Delegado Roberto Ciciliatti Troncon Filho que, na direção da Diretoria de Combate ao Crime Organizado - DCOR, prestou apoio decisivo para o desenvolvimento deste trabalho, garantindo suporte financeiro para aquisição de equipamentos e aplicativos de informática, assim como o apoio logístico durante as operações de erradicação de plantios ilícitos, provendo meios para desenvolvimento de trabalhos de campo e escritório. Ao Delegado de Polícia Federal Júlio Danilo Souza Ferreira, por apoiar a pesquisa desde o seu início e por colaborar para assegurar as condições necessárias para o seu desenvolvimento. Ao Delegado Paulo Tarso de Oliveira Gomes que, durante sua atuação como Coordenador-Geral da CGPRE, incentivou e apoiou o desenvolvimento desta pesquisa. Aos Delegados de Polícia Federal Marcello Diniz Cordeiro, Humberto Freire de Barros e Júlio Bortolato (*in memoriam*), pelo apoio e incentivo.

Ao Diretor da DCOR, Delegado de Polícia Federal Oslain Campos Santana, e ao Coordenador da CGPRE, Delegado de Polícia Federal Márcio Nunes Oliveira, pelo apoio e incentivo e por assegurarem, durante o curso desta pesquisa, o apoio logístico para a sua continuidade e concretização. Ao Agente de Polícia Federal Antônio Ribamar Ramos Brito e ao Agente Administrativo Chiquinho da CGPRE, pela valiosa colaboração nos trabalhos de campo.

Aos policiais federais e servidores administrativos da Superintendência Regional de Polícia Federal em Pernambuco – SR/DPF/PE, em especial, ao Delegado Carlo Marcus Correia, por compartilhar sua vasta experiência sobre o tema dos cultivos ilícitos. Ao Delegado Frederico Cursino de Freitas, pelo incentivo e apoio nos trabalhos de campo. Aos colegas Peritos Criminais Federais do Setor Técnico-Científico da SR/DPF/PE Ricardo Comunello, Maurício, Saldanha, Laplace, André e Rhassano, pela colaboração nos trabalhos de campo.

Ao Chefe da Delegacia de Polícia Federal de Salgueiro, Delegado Cristiano de Oliveira Rocha, e policiais federais de sua equipe. Aos Agentes de Polícia Federal Rogério Matos Muniz e Augusto César Siqueira Souto, pelo apoio nos levantamentos e validações de campo.

Aos policiais federais da Coordenação de Aviação Operacional – CAOP, pelo apoio durante os trabalhos de campo.

A todos os colegas que participaram das operações colaborando com a coleta de dados ou que, de alguma forma, contribuíram para o desenvolvimento deste trabalho, minhas desculpas por não citá-los nominalmente e meu reconhecimento de que este trabalho só foi possível devido à participação de um grande contingente de policiais e servidores administrativos da Polícia Federal.

Ao CENSIPAM, pela aquisição das imagens MSS e ao Instituto de Estudos Avançados da Aeronáutica – IEAv, por apoiar a campanha de medições radiométricas e análise dos dados.

À FINEP e ao Escritório das Nações Unidas contra a Droga e o Crime no Brasil – UNODC, pelo suporte financeiro ao desenvolvimento da pesquisa.

Ao Instituto de Geociências da Universidade de Brasília.

Ao *Institut de Recherche pour le Développement (IRD)* que, por meio da Unidade de pesquisa ESPACE-DEV em Caiena – Guiana Francesa, propiciou, no âmbito do programa SEAS-Guyane, a aquisição das imagens SPOT 5 empregadas nesta pesquisa.

À Polícia Federal, por apoiar e tornar possível a presente pesquisa.

E, por fim, aos amigos e familiares que estiveram sempre ao meu lado e que me deram o apoio e incentivo para persistir e prosseguir nos momentos de dificuldade, a minha eterna gratidão.

RESUMO

MAPEAMENTO SEMIAUTOMÁTICO DE CULTIVOS ILÍCITOS DE *CANNABIS SATIVA* NO SEMIÁRIDO PERNAMBUCANO MEDIANTE INTEGRAÇÃO DE IMAGENS SPOT 5 – HRG, DADOS GEOGRÁFICOS AUXILIARES E CONHECIMENTO DE CAMPO

Autora: Alessandra Lisita

Orientador: Dr. Edson Eyji Sano

Coorientador: Dr. Laurent Durieux

Doutorado em Geologia

Área de concentração em Processamento de Dados em Geologia e Análise Espacial

Universidade de Brasília

A *Cannabis sativa* é a droga ilícita mais consumida no mundo, à frente das anfetaminas, cocaína e opiáceos. O seu plantio e venda é proibido em todo o território nacional. Esta pesquisa tem por objetivo apresentar uma metodologia para detecção de plantios ilícitos de *Cannabis sativa* no semiárido pernambucano a partir de imagens HRG do satélite francês SPOT 5, dados geográficos auxiliares, conhecimento de campo, modelagem espacial por lógica *fuzzy* e classificação de imagens baseada em objetos. A base de dados utilizada nesse estudo incluiu os dados adquiridos pelas operações policiais de erradicação de plantios ilícitos, conduzidas em junho de 2007, novembro de 2007, maio de 2008 e maio de 2010, as imagens do sensor SPOT 5 HRG, adquiridas no período de maio de 2005 a dezembro de 2010, e dados geográficos auxiliares de topografia, vegetação e uso da terra. Eles foram analisados de forma integrada para identificar possível existência de padrões espectrais, espaciais e/ou temporais relevantes para a identificação de áreas potenciais de ocorrência de plantios de *Cannabis* na área de estudo. A modelagem *fuzzy* permitiu a produção de um mapa que indica numericamente o potencial de ocorrência de plantios de *Cannabis* em diferentes regiões da área de estudo. A classificação de imagens baseada em objetos possibilitou a detecção semiautomática de feições compatíveis com plantios de *Cannabis sativa* em cenas do SPOT 5 HRG. Resultados obtidos nesse estudo permitiram a identificação de áreas mais vulneráveis à ocorrência de plantios de *Cannabis* em escala regional em regiões semiáridas. A abordagem metodológica proposta nesse estudo pode ser adaptada para outras regiões do país ou mesmo para outros países com desafio semelhante.

Palavras-chave: Sensoriamento remoto. Modelagem Espacial. Lógica Nebulosa. Classificação de imagens baseada em objetos. Segmentação de imagens. Caatinga, drogas ilícitas, *Cannabis sativa*.

ABSTRACT

SEMI-AUTOMATIC MAPPING OF ILLEGAL CULTIVATIONS OF *CANNABIS SATIVA* IN THE SEMI-ARID REGION OF PERNAMBUCO STATE BY INTEGRATION OF SPOT 5 – HRG IMAGES, ANCILLARY GEOGRAPHICAL DATA AND FIELD KNOWLEDGE

Author: Alessandra Lisita

Advisor: Dr. Edson Eyji Sano

Co-Advisor: Dr. Laurent Durieux

Doctoral Thesis in Geology

Minor in Data Processing in Geology and Spatial Analysis

University of Brasília, Brazil

The *Cannabis sativa* is the most demanded, illegal drug in the world, ahead of amfetamins, cocaine, and opiates. *Cannabis* planting and selling are prohibited in Brazil. The goal of this research was to develop an approach to detect illegal cultivations of *Cannabis sativa* in the semi-arid region of Pernambuco State, Brazil. The method included SPOT 5 satellite imageries, ancillary geographic data, field knowledge, *fuzzy* spatial modelling and object-oriented image classification. We analyzed field data gathered by police operations to destruct illegal plantations in June, 2007, November, 2007, May, 2008, and May, 2010; SPOT 5 HRG satellite images with overpasses from May, 2005 to December, 2010; and ancillary geographic data related to topography, vegetation, and land use. They were analyzed in a GIS data integration framework to prospect relevant spectral, spatial, and/or temporal patterns for definition of an operational model to indicate potential areas of occurrence of *Cannabis* plantations in the study area. The *fuzzy* model was important to produce a map indicating numerical possibilities of occurrence of *Cannabis* plantations in different regions of the study area. The object-oriented image classification allowed a semi-automatic detection of features compatible to *Cannabis* plantations in the SPOT images. Results showed that the approach proposed in this study is feasible for identifying potential areas of occurrence of *Cannabis* cultivation in semi-arid regions and at a regional scale. It also can be, in some extent, adapted to other regions of the country or even to other countries with similar challenge.

Keywords: Remote sensing. Spatial modeling. *Fuzzy* logic. Object based image analysis - OBIA. Image segmentation. Caatinga, illegal drug, *Cannabis sativa*.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Drogas mais problemáticas no mundo em termos de demanda por tratamento de saúde, por região, no final dos anos 1990 e em 2008 (último ano com disponibilidade de dados).....	39
Figura 2. Quantitativo de plantas de <i>Cannabis sativa</i> erradicadas durante as operações policiais da Polícia Federal conduzidas em conjunto pela Delegacia de Polícia Federal de Salgueiro/Superintendência da Polícia Federal de Pernambuco e Coordenação-Geral de Polícia de Prevenção a Entorpecentes (CGPRE/DCOR) no período de novembro/2007 a dezembro/2010	42
Figura 3. Áreas climatologicamente aptas ao cultivo de <i>Cannabis sativa</i>	52
Figura 4. Mapa de localização da área de estudo no estado de Pernambuco	54
Figura 5. Unidades geomorfológicas da área de estudo	55
Figura 6. Aptidão agroecológica das terras na área de estudo	56
Figura 7. Unidades espaciais de análise da área de estudo: Ilhas fluviais do rio São Francisco, Caatinga e Serras.....	58
Figura 8. Fotos a partir de helicóptero ilustrando o aspecto das unidades de paisagem Ilhas (a), Serras (b) e Caatinga (c).....	59
Figura 9. Estratégia geral de desenvolvimento de metodologias de geoprocessamento para apoio operacional aos trabalhos de erradicação de cultivos ilícitos de <i>Cannabis sativa</i> no semiárido pernambucano.....	68
Figura 10. Fluxograma da modelagem da propensão à ocorrência dos plantios de <i>Cannabis sativa</i> no semiárido pernambucano.....	82
Figura 11. Fluxograma da classificação baseada em objetos para detecção de áreas de alerta para plantios ilícitos	89
Figura 12. Diferentes condições de plantio de <i>Cannabis sativa</i> no sertão nordestino.....	94
Figura 13. Distribuição de frequência por classes de tamanho dos cultivos de <i>Cannabis sativa</i> erradicados em junho de 2007 (Operação Prometeu) na área de estudo.....	95

Figura 14. Distribuição de frequência por classes de tamanho dos cultivos de <i>Cannabis sativa</i> erradicados em maio de 2008 (Operação Colheita) na área de estudo.....	95
Figura 15. Distribuição de frequência por classes de tamanho dos cultivos de <i>Cannabis</i> erradicados em maio de 2010 (Operação Liamba) na área de estudo	96
Figura 16. Representação gráfica do modelo teórico da distribuição espacial dos plantios de <i>Cannabis sativa</i> no semiárido pernambucano	96
Figura 17. Plantios ilícitos de <i>Cannabis sativa</i> situados nas ilhas do rio São Francisco. Padrão de camuflagem e isolamento do tipo "hidrografia e vegetação"	98
Figura 18. Fotos a partir de helicóptero mostrando escarpas com afloramento rochoso na vizinhança de plantio de <i>Cannabis sativa</i> (a) e o respectivo plantio de <i>Cannabis sativa</i> (b, indicado pela seta vermelha) em local de difícil acesso, camuflado por densa vegetação. Padrão de camuflagem e isolamento do tipo "relevo e vegetação".....	99
Figura 19. Plantios ilícitos de <i>Cannabis sativa</i> situados em meio a diferentes fisionomias vegetais. Padrão de camuflagem e isolamento do tipo "vegetação"	99
Figura 20. Contextos de baixa probabilidade de ocorrência de plantios de <i>Cannabis sativa</i> devido à ocupação antrópica	100
Figura 21. Fotos ilustrando diferentes tipos de fontes de água utilizadas para irrigação dos plantios de <i>Cannabis sativa</i> no sertão pernambucano	101
Figura 22. Fotos ilustrando diferentes tipos de fontes de água e métodos de irrigação empregados nos plantios de <i>Cannabis sativa</i> no sertão pernambucano..	102
Figura 23. Representação do relevo em perspectiva, ilustrando a localização de plantios de <i>Cannabis sativa</i> situados em cabeceiras de drenagem (em verde claro), irrigados com água proveniente da captação em drenagens temporárias ...	103
Figura 24. Precipitação, número de plantas erradicadas e normal climatológica de precipitação (1961 – 1990) na área de estudo	105
Figura 25. Curvas espectrais de folhas de <i>Cannabis sativa</i> , milho, manga, cebola, abóbora, mamão, bananeira e solo arenoso, coletados na área de estudo em 16 de maio de 2008	106

Figura 26. Perfil espectral de amostra de vegetação em valores de reflectância para o topo da atmosfera (em vermelho) e após correção atmosférica absoluta (em branco) em imagens SPOT 5.....	107
Figura 27. Perfil espectral das áreas de treinamento utilizadas na classificação supervisionada de cena SPOT 5 HRG de 31 de maio de 2007 com classificador <i>Support Vector Machine</i> (SVM).....	108
Figura 28. Perfil espectral das áreas de treinamento utilizadas na classificação supervisionada de cena SPOT 5 HRG de 03 de novembro de 2007 com classificador <i>Support Vector Machine</i> (SVM).....	108
Figura 29. Classes de cobertura geradas com classificação SVM de cenas SPOT 5 HRG,10 metros de resolução de 01 de julho de 2007, 14 de outubro de 2007 e 19 de outubro de 2007	109
Figura 30. Classes de cobertura geradas com classificação SVM da cena 724367 SPOT 5 HRG,10 metros de resolução de 31 de maio de 2007	110
Figura 31. Sítio ilegal de produção de <i>Cannabis sativa</i> circundado por Caatinga Florestada em série temporal SPOT 5 - composição colorida (RGB 3/2/1)	111
Figura 32. Valores médios do NDVI de sítio ilegal de produção de <i>Cannabis sativa</i> e de Caatinga Florestada situada nas adjacências em imagens SPOT 5 HRG,10 metros de resolução (RGB 3/2/1).....	112
Figura 33. Sítio ilegal de produção de <i>Cannabis sativa</i> circundado por Caatinga Florestada em composição colorida SPOT 5 HRG,10 metros de resolução (RGB 3/2/1) em 15 de abril de 2007 (a) e em 31 de maio de 2007.....	113
Figura 34. Fotos a partir de helicóptero do plantio registrado nas imagens SPOT 5	114
Figura 35. Sítios ilegais de produção de <i>Cannabis sativa</i> circundados por vegetação ripária em série temporal SPOT 5 - composição colorida (RGB 3/2/1)..	115
Figura 36. Valores médios do NDVI de sítios ilegais de produção de <i>Cannabis sativa</i> e de vegetação ripária adjacente, em imagens SPOT 5 HRG,10 metros de resolução (RGB 3/2/1	116

Figura 37. Foto de um dos plantios registrado nas imagens SPOT 5. Esse plantio encontrava-se em área de planícies aluviais com cobertura de algarobeiras (<i>Prosopis juliflora</i>), espécie exótica de comportamento invasor	116
Figura 38. Título do Figura 2: Sítios ilegais de produção de <i>Cannabis sativa</i> circundados por vegetação ripária em composição colorida SPOT 5 HRG, 10 metros de resolução (RGB 3/2/1) em 15 de abril de 2007 (a) e em 31 de maio de 2007 (b)	117
Figura 39. Sítio ilegal de produção de <i>Cannabis sativa</i> circundado por Caatinga Arborizada em série temporal SPOT 5 - composição colorida (RGB 3/2/1	119
Figura 40. Valores médios do NDVI de sítio ilegal de produção de <i>Cannabis sativa</i> e de Caatinga Arborizada adjacente, em imagens SPOT 5 HRG, 10 metros de resolução (RGB 3/2/1).....	120
Figura 41. Sítio ilegal de produção de <i>Cannabis sativa</i> circundado por Caatinga Arborizada em imagem SPOT 5 - composição colorida (RGB 3/2/1) de 08 de outubro de 2007	121
Figura 42. Sítio ilegal de produção de <i>Cannabis sativa</i> circundado por Caatinga Arborizada em composição colorida SPOT 5 HRG, 10 metros de resolução (RGB 3/2/1) em 05 de junho de 2007 (a) e em 01 de julho de 2007 (b).....	121
Figura 43. Sítios ilegais de produção de <i>Cannabis sativa</i> circundados por Caatinga (Florestada e Arborizada) em série temporal SPOT 5 - composição colorida (RGB 3/2/1	123
Figura 44. Valores médios do NDVI de sítios ilegais de produção de <i>Cannabis sativa</i> e de Caatinga Arborizada adjacente, em imagens SPOT 5 HRG, 10 metros de resolução (RGB 3/2/1	124
Figura 45. Sítios ilegais de produção de <i>Cannabis sativa</i> circundados por Caatinga Arborizada em composição colorida SPOT 5 HRG, 10 metros de resolução (RGB 3/2/1) em 05 de junho de 2007 (a) e em 01 de julho de 2007 (b) .	124
Figura 46. Sítio ilegal de produção de <i>Cannabis sativa</i> circundado por Caatinga Arborizada e Floresta de galeria em série temporal SPOT 5 - composição colorida (RGB 3/2/1).....	126

Figura 47. Valores médios do NDVI de sítio ilegal de produção de <i>Cannabis sativa</i> e de Caatinga e Floresta de galeria adjacentes, em imagens SPOT 5 HRG, 10 metros de resolução (RGB 3/2/1)	127
Figura 48. Foto do plantio registrado nas imagens SPOT 5.....	127
Figura 49. Sítio ilegal de produção de <i>Cannabis sativa</i> circundado por Caatinga Arborizada e Floresta de galeria adjacentes em composição colorida SPOT 5 HRG, 10 metros de resolução (RGB 3/2/1) em 19 de setembro de 2006 (a) e em 31 de maio de 2007 (b)	128
Figura 50. Área de cultivos ilícitos erradicada nas unidades de paisagem Ilhas, Serras e Caatinga durante operações policiais conduzidas em junho de 2007, maio de 2008 e maio de 2010	130
Figura 51. Densidade Kernel dos plantios de <i>Cannabis sativa</i> erradicados em maio de 2008, gerada separadamente para cada unidade de paisagem para um raio de busca de 5 km	133
Figura 52. Peso da evidência "Tamanho das ilhas" na distribuição dos plantios ilícitos.	137
Figura 53. Mapa de tamanho das ilhas (geral e detalhe).	137
Figura 54. Peso da evidência "Distância de espelhos d'água e canais de irrigação" na distribuição dos plantios ilícitos	143
Figura 55. Mapa de distância de espelhos d' água e canais de irrigação para a área de estudo (geral e detalhe)	143
Figura 56. Peso da evidência "Distância de grandes drenagens" na distribuição dos plantios ilícitos	146
Figura 57. Mapa de distância de grandes drenagens para a área de estudo (geral e detalhe).	146
Figura 58. Peso da evidência "Distância de drenagens de 1ª e 2ª ordem" na distribuição dos plantios ilícitos	148
Figura 59. Mapa de distância de drenagens de 1ª e 2ª ordem para a área de estudo (geral e detalhe).....	148
Figura 60. Peso da evidência "Distância de acessos" na distribuição dos plantios de <i>Cannabis sativa</i>	151

Figura 61. Mapa de distância de acessos para a área de estudo (geral e detalhe)	151
Figura 62. Pertinência <i>fuzzy</i> gerada para a unidade Ilhas com emprego da função <i>Small</i> e parâmetros 25 para ponto médio e 5 para espalhamento	154
Figura 63. Pertinência <i>fuzzy</i> gerada para os espelhos d'água na unidade Caatinga com emprego da função <i>Small</i> e parâmetros 300 para ponto médio e 5 para espalhamento (base cartográfica gerada a partir da classificação de imagens SPOT 5 de julho de 2007)	156
Figura 64. Pertinência <i>fuzzy</i> gerada para as grandes drenagens na unidade Caatinga com emprego da função <i>Small</i> e parâmetros 200 para ponto médio e 5 para espalhamento com divisão do mapa resultante pelo fator redutor 2	157
Figura 65. Pertinência <i>fuzzy</i> gerada para as drenagens temporárias na unidade Caatinga com emprego da função <i>Small</i> e parâmetros 100 para ponto médio e 5 para espalhamento com divisão do mapa resultante pelo fator redutor 3	158
Figura 66. Pertinência <i>fuzzy</i> gerada para o fator disponibilidade de água na unidade Caatinga mediante a integração dos mapas de pertinência dos diferentes tipos de drenagem com o emprego do operador "OR"	159
Figura 67. Pertinência <i>fuzzy</i> gerada para o fator uso e cobertura do solo na unidade Caatinga gerada a partir da classificação da cena SPOT5 de 14/10/2007	160
Figura 68. Pertinência <i>fuzzy</i> gerada para o fator proximidade de acessos na unidade Caatinga com emprego da função <i>Linear</i> e parâmetros 400 para máximo e mínimo 2000 com divisão do mapa resultante pelo fator redutor 3.....	161
Figura 69. Propensão à ocorrência de plantios ilícitos na área de estudo	162
Figura 70. Uso e cobertura do solo gerado a partir de classificação baseada em objetos da cena SPOT 5 HRG, 10 metros de resolução de 14 de outubro de 2007	168
Figura 71. Detalhe do mapa de uso e cobertura do solo gerado a partir de classificação baseada em objetos da cena SPOT 5 HRG de 14 de outubro de 2007 e foto de helicóptero ilustrando aspecto da classe Floresta montana	169

Figura 72. Detalhe do mapa de Uso e cobertura do solo gerado a partir de classificação baseada em objetos da cena SPOT 5 HRG de 14 de outubro de 2007 e foto de helicóptero ilustrando aspecto da classe Caatinga Florestada.....	170
Figura 73. Detalhe do mapa de uso e cobertura do solo gerado a partir de classificação baseada em objetos da cena SPOT 5 HRG de 14 de outubro de 2007 e foto de helicóptero ilustrando aspecto da classe Caatinga Arborizada	171
Figura 74. Detalhe do mapa de uso e cobertura do solo gerado a partir de classificação baseada em objetos da cena SPOT 5 HRG de 14 de outubro de 2007 e foto de helicóptero ilustrando aspecto da classe Caatinga Parque	172
Figura 75. Detalhe do mapa de uso e cobertura do solo gerado a partir de classificação orientada aos objetos da cena SPOT 5 HRG de 14 de outubro de 2007 e foto de helicóptero ilustrando aspecto da classe Caatinga Gramíneo-lenhosa/pasto degradado	173
Figura 76. Uso e cobertura do solo gerado a partir de classificação baseada em objetos da cena SPOT 5 HRG, 10 metros de resolução, de 31 de maio de 2007 para detecção de feições de plantios de <i>Cannabis sativa</i> na unidade Caatinga.....	175
Figura 77. Classificação baseada em objetos da cena SPOT 5 HRG, 10 metros de resolução, de 31 de maio de 2007, com destaque para as feições correspondentes a plantios de <i>Cannabis sativa</i> identificados em campo indicados em (a): alerta máximo lago e (b) alerta máximo drenagem perene.....	178
Figura 78. Classificação baseada em objetos da cena SPOT 5 HRG, 10 metros de resolução, de 31 de maio de 2007, com destaque para as feições correspondentes a plantios de <i>Cannabis sativa</i> identificados em campo indicados em (a): alerta máximo perene, (b) e (c) alerta máximo drenagem temporária	179
Figura 79. Classificação baseada em objetos da cena SPOT 5 HRG, 10 metros de resolução, de 31 de maio de 2007, com destaque para as feições correspondentes a plantios de <i>Cannabis sativa</i> identificados em campo indicados em (a): alerta máximo perene, (b) feição suspeita alta biomassa e (c) suspeito alta biomassa.....	180
Figura 80. Classificação orientada aos objetos da cena SPOT 5 HRG, 10 metros de resolução, de 31 de maio de 2007, com destaque para as feições	

correspondentes a plantios de <i>Cannabis sativa</i> identificados em campo indicados em (a) e (c): alerta alto lago e (b) alerta máximo lago.....	181
Figura 81. Distribuição das feições com grau de pertinência mínimo de 0,9 para a classe alerta máximo lago (em azul claro)	182
Figura 82. Distribuição das feições com grau de pertinência mínimo de 0,9 para a classe alerta máximo perene (em azul claro)	183
Figura 83. Distribuição das feições com grau de pertinência mínimo de 0,9 para a classe alerta máximo drenagens temporárias (em azul claro).	183
Figura 84. Peso da evidência "Declividade" na distribuição dos plantios de <i>Cannabis sativa</i>	199
Figura 85. Mapa de declividade para a área de estudo (geral e detalhe).	200
Figura 86. Peso da evidência "Forma do terreno" na distribuição dos plantios de <i>Cannabis sativa</i>	202
Figura 87. Representação das formas de terreno.....	202
Figura 88. Mapa de forma do terreno para a área de estudo (geral e detalhe)	202
Figura 89. Peso da evidência " Orientação de vertentes" na distribuição dos plantios de <i>Cannabis sativa</i>	205
Figura 90. Mapa de orientação de vertentes para a área de estudo (geral e detalhe).	206

LISTA DE QUADROS

Quadro 1. Características dos dados do satélite SPOT 5 utilizados neste estudo	62
Quadro 2. Base de mapas temáticos da área de estudo	64
Quadro 3. Classes genéricas discriminadas com emprego de <i>Support Vector Machine</i> e respectivos alvos	76
Quadro 4. Resumo dos fatores avaliados mediante análise de peso de evidência	79
Quadro 5. Classes discriminadas pela classificação baseada em objetos em cada nível	87
Quadro 6. Resumo das análises espaciais aplicadas às unidades Ilhas, Serras e Caatinga e padrões de concentração de plantios de <i>Cannabis sativa</i> identificados	152

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Comparativo das características físicas das unidades de paisagem Ilhas, Serras e Caatinga.....	60
Tabela 2. Pertinências <i>fuzzy</i> atribuídas às classes de uso e cobertura do solo.....	81
Tabela 3. Pertinências <i>fuzzy</i> atribuídas às classes de uso e cobertura do solo.....	85
Tabela 4. Valores médios e variação temporal relativa do NDVI de sítio ilegal de produção de <i>Cannabis sativa</i> e de Caatinga Florestada situada nas adjacências a partir de dados de reflectância SPOT 5.....	112
Tabela 5. Valores médios e variação temporal relativa do NDVI de sítios ilegais de produção de <i>Cannabis sativa</i> e de vegetação ripária situada nas adjacências a partir de dados de reflectância SPOT 5.....	118
Tabela 6. Valores médios e variação temporal relativa do NDVI de sítio ilegal de produção de <i>Cannabis sativa</i> e de Caatinga Arborizada situada nas adjacências a partir de dados de reflectância SPOT 5.....	122
Tabela 7. Valores médios e variação temporal relativa do NDVI de sítios ilegais de produção de <i>Cannabis sativa</i> e de Caatinga Arborizada adjacente a partir de dados de reflectância SPOT 5.....	125
Tabela 8. Valores médios e variação temporal relativa do NDVI de sítio ilegal de produção de <i>Cannabis sativa</i> e Caatinga Arborizada e Floresta de Galeria adjacentes a partir de dados de reflectância SPOT 5	128
Tabela 9. Comparativo dos resultados das operações policiais de erradicação nas unidades de paisagem Ilhas, Serras e Caatinga	131
Tabela 10. Análise estatística da distância média do vizinho mais próximo referente aos plantios erradicados em maio de 2007 nas unidades de paisagem Ilhas, Serras e Caatinga.....	132
Tabela 11. Resultados da análise de pesos de evidência do fator tamanho das ilhas com emprego do método ascendente e para T (Studentized contrast) = 2 (aproximadamente 98% de probabilidade).....	135

Tabela 12. Resultados da análise de pesos de evidência do fator tamanho das ilhas com emprego do método ascendente e para T (Studentized contrast) = 2 (aproximadamente 98% de probabilidade).....	136
Tabela 13. Resultados da análise de pesos de evidência do fator distância da água (espelhos d'água e canais) na unidade Caatinga com emprego do método ascendente e para T (Studentized contrast) = 2 (aproximadamente 98% de probabilidade).....	141
Tabela 14. Resultados da análise de pesos de evidência do fator distância da água (espelhos d'água e canais) na unidade Caatinga com emprego do método ascendente e para T (Studentized contrast) = 2 (ou aproximadamente 98% de probabilidade).....	142
Tabela 15. Resultados da análise de pesos de evidência do fator distância da água (grandes drenagens) na unidade Caatinga com emprego do método ascendente e para T (Studentized contrast) = 2 (aproximadamente 98% de probabilidade).....	144
Tabela 16. Resultados da análise de pesos de evidência do fator distância da água (grandes drenagens) na unidade Caatinga com emprego do método ascendente e para T (Studentized contrast) = 2 (aproximadamente 98% de probabilidade).....	145
Tabela 17. Resultados da análise de pesos de evidência do fator distância da água (drenagens de 1a e 2a ordem) na unidade Caatinga com emprego do método ascendente e para T (Studentized contrast) = 2 (aproximadamente 98% de probabilidade).....	147
Tabela: 18. Resultados da análise de pesos de evidência do fator distância da água (drenagens de 1a e 2a ordem) na unidade Caatinga com emprego do método ascendente e para T (Studentized contrast) = 2 (aproximadamente 98% de probabilidade).....	147
Tabela 19. Resultados da análise de pesos de evidência do fator distância de acessos na unidade Caatinga com emprego do método ascendente e para T (Studentized contrast) = 2 (aproximadamente 98% de probabilidade).....	149

Tabela 20. Resultados da análise de pesos de evidência do fator distância de acessos na unidade Caatinga com emprego do método ascendente e para T (Studentized contrast) = 2 (aproximadamente 98% de probabilidade).....	150
Tabela 21. Resultados da verificação da propensão à ocorrência de plantios ilícitos na unidade Caatinga mediante análise de pesos de evidência das classes de propensão.	163
Tabela 22. Resultados da verificação da propensão à ocorrência de plantios ilícitos na unidade Caatinga mediante análise de pesos de evidência das classes de propensão.	164
Tabela 23. Resultados da verificação da propensão à ocorrência de plantios ilícitos na unidade ilhas mediante análise de pesos de evidência das classes de propensão.	165
Tabela 24. Resultados da verificação da propensão à ocorrência de plantios ilícitos na unidade ilhas mediante análise de pesos de evidência das classes de propensão.	166
Tabela 25. Resultados da validação da detecção de feições na cena 724367 de 31 de maio de 2007 para a unidade Caatinga mediante análise de pesos de evidência das classes de uso e cobertura.....	176
Tabela 26. Resultados da análise de pesos de evidência do fator declividade na unidade Caatinga com emprego do método ascendente e para T (Studentized contrast) = 2 (aproximadamente 98% de probabilidade).....	198
Tabela 27. Resultados da análise de pesos de evidência do fator declividade na unidade Caatinga com emprego do método ascendente e para T (Studentized contrast) = 2 (aproximadamente 98% de probabilidade).....	198
Tabela 28. Resultados da análise de pesos de evidência do fator forma do terreno na unidade Caatinga com emprego do método categórico e para T (Studentized contrast) = 2 (aproximadamente 98% de probabilidade).....	201
Tabela 29. Resultados da análise de pesos de evidência do fator forma do terreno na unidade Caatinga com emprego do método categórico e para T (Studentized contrast) = 2 (aproximadamente 98% de probabilidade).....	201

Tabela 30. Resultados da análise de pesos de evidência do fator orientação de vertentes na unidade Caatinga com emprego do método categórico e para T (Studentized contrast) = 2 (aproximadamente 98% de probabilidade).....	203
Tabela 31. Resultados da análise de pesos de evidência do fator orientação de vertentes na unidade Caatinga com emprego do método categórico e para T (Studentized contrast) = 2 (aproximadamente 98% de probabilidade).....	204
Tabela 32. Resultados da análise de pesos de evidência do fator distância da água (espelhos d'água e canais) na unidade Serras com emprego do método categórico e para T (Studentized contrast) = 2 (aproximadamente 98% de probabilidade).....	207
Tabela 33. Resultados da análise de pesos de evidência do fator distância da água (espelhos d'água e canais) na unidade Serras com emprego do método categórico e para T (Studentized contrast) = 2 (aproximadamente 98% de probabilidade).....	208
Tabela 34. Resultados da análise de pesos de evidência do fator distância da água (grandes drenagens) na unidade Serras com emprego do método categórico e para T (Studentized contrast) = 2 (aproximadamente 98% de probabilidade).....	209
Tabela 35. Resultados da análise de pesos de evidência do fator distância da água (grandes drenagens) na unidade Serras com emprego do método categórico e para T (Studentized contrast) = 2 (aproximadamente 98% de probabilidade).....	210
Tabela 36. Resultados da análise de pesos de evidência do fator distância da água (drenagens de 1a e 2a ordem) na unidade Serras com emprego do método ascendente e para T (Studentized contrast) = 2 (aproximadamente 98% de probabilidade).....	211
Tabela 37. Resultados da análise de pesos de evidência do fator distância da água (drenagens de 1a e 2a ordem) na unidade Serras com emprego do método ascendente e para T (Studentized contrast) = 2 (aproximadamente 98% de probabilidade).....	211

Tabela 38. Resultados da análise de pesos de evidência do fator distância de acessos na unidade Serras com emprego do método ascendente e para T (Studentized contrast) = 2 (aproximadamente 98% de probabilidade).....	212
Tabela 39. Resultados da análise de pesos de evidência "declividade" na unidade Serras com emprego do método categórico e para T (Studentized contrast) = 2 (aproximadamente 98% de probabilidade).....	213
Tabela 40. Resultados da análise de pesos de evidência do fator forma do terreno na unidade Serras com emprego do método categórico e para T (Studentized contrast) = 2 (aproximadamente 98% de probabilidade).....	213
Tabela 41. Resultados da análise de pesos de evidência do fator orientação de vertentes na unidade Serras com emprego do método categórico e para T (Studentized contrast) = 2 (aproximadamente 98% de probabilidade).....	214
Tabela 42. Resultados da análise de pesos de evidência do fator orientação de vertentes na unidade Serras com emprego do método categórico e para T (Studentized contrast) = 2 (aproximadamente 98% de probabilidade).	215

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	27
1.1 Contexto.....	28
1.2 Objetivos	32
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	34
2.1 A <i>Cannabis sativa</i>	34
2.1.1 A planta, histórico do uso, descrição botânica e agronômica.....	35
2.1.2 Efeitos do consumo da droga.....	37
2.1.3 O cultivo e consumo da <i>Cannabis sativa</i> no mundo.....	38
2.1.4 O cultivo da <i>Cannabis sativa</i> no Brasil e no semiárido pernambucano.....	41
2.2 Modelagem de fenômenos espaciais.....	42
2.2.1 Modelagem <i>fuzzy</i>	42
2.2.2 Análise exploratória de dados espaciais	47
2.3 Sensoriamento remoto de alvos complexos	49
2.3.1 Classificação de imagens baseada em objetos.....	50
2.3.2 Sensoriamento remoto e modelagem espacial no mapeamento de cultivos ilícitos	51
3 ÁREA DE ESTUDO.....	54
3.1 Localização	54
3.2 Aspectos biofísicos	55
3.3 Problemática dos cultivos ilícitos / Unidades espaciais de análise	57
4 MATERIAL	61
4.1 Dados.....	61
4.1.1 Dados de campo	61
4.1.2 Imagens digitais	61
4.1.3 Dados temáticos.....	63
4.2 Aplicativos de geoprocessamento.....	66

5 MÉTODOS	67
5.1 Caracterização do objeto de estudo: plantios ilícitos de <i>Cannabis sativa</i>	67
5.2 Modelo teórico da distribuição espacial dos plantios de <i>Cannabis sativa</i> no semiárido pernambucano.....	67
5.2.1 Fatores associados às estratégias dos plantadores.....	70
5.2.1.1 Isolamento/camuflagem.....	71
5.2.1.2 Fatores agronômicos	71
5.2.1.3 Fator relacionado às condições de acesso do sítio	72
5.2.1.4 Fatores externos.....	72
5.3 Investigação dos padrões associados aos plantios de <i>Cannabis sativa</i>	73
5.3.1 Investigação dos padrões espectrais	74
5.3.1.1 Radiometria espectral.....	74
5.3.1.2 Análise de imagens	74
5.3.2 Investigação dos padrões espaciais.....	77
5.4 Desenvolvimento de Técnicas aplicadas de geoprocessamento para apoio às ações de erradicação de cultivos ilícitos de <i>Cannabis sativa</i>	79
5.4.1 Abordagem regional – Modelagem espacial da propensão à ocorrência de plantios ilícitos	79
5.4.2 Abordagem local – Metodologia de detecção de feições suspeitas por classificação baseada em objetos.....	82
5.5 Verificação	90
6 RESULTADOS	92
6.1 Caracterização do objeto de estudo: plantios ilícitos de <i>Cannabis sativa</i>	92
6.2 Modelo teórico da distribuição dos plantios de <i>Cannabis sativa</i>	93
6.2.2 Fatores associados às estratégias dos plantadores.....	93
6.2.2.1 Isolamento/camuflagem.....	93
6.2.2.2 Fatores Agronômicos.....	100

6.2.2.3 Fator relacionado às condições de acesso para plantio e manutenção.....	104
6.2.2.4 Fatores externos – Precipitação/repressão policial	104
6.3 Investigação de padrões	105
6.3.1 Padrões espectrais.....	105
6.3.1.1 Radiometria espectral	105
6.3.1.2 Análise de imagens	106
6.3.2 Padrões espaciais – Análise exploratória de dados espaciais	129
6.3.2.1 Padrões de agregação e densidade dos plantios	129
6.3.2.2 Análise de pesos de evidência	132
6.4 Geoprocessamento aplicado às ações de erradicação.....	152
6.4.1 Abordagem regional – Mapeamento da propensão espacial à ocorrência de plantios ilícitos	152
6.4.1.1 Mapas de propensão	154
6.4.1.2 Verificação	155
6.4.2 Abordagem local: Detecção de feições suspeitas por classificação baseada em objetos	167
6.4.2.1 Mapas resultantes	167
6.4.2.2 Verificação	174
7 CONCLUSÕES	185
8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	189
ANEXOS	197

1 INTRODUÇÃO

Historicamente, o consumo de drogas tem infligido sérias ameaças à saúde pública e ao bem-estar da humanidade, sendo que medidas coordenadas em nível internacional voltadas ao controle da droga tiveram início com a Comissão do Ópio de Shangai em 1909 (BELLANGER, 1963; UNODC, 2010a). A partir de então, sucederam-se outros tratados internacionais que representam o compromisso coletivo global de empreender esforços no controle da droga. Entre esses, destacam-se a Convenção Única de Drogas Narcóticas de 1961 (ONU, 1961), a Convenção de Substâncias Psicotrópicas de 1971 (ONU, 1971) e a Convenção das Nações Unidas contra o Tráfico Ilícito de Entorpecentes e de Substâncias Psicotrópicas, aprovada em Viena, em 20 de dezembro de 1988 (ONU, 1988), que definem o sistema internacional de controle de drogas.

Porém, o referido controle não impediu a expansão e organização do tráfico e dos seus efeitos avassaladores sobre a economia, segurança e estabilidade nos diversos níveis da sociedade organizada. Essa constatação tem sido, inclusive, utilizada como argumento pelos grupos favoráveis à legalização das drogas que defendem que a legalização e a tributação é a única forma de desmontar as estruturas criminosas oriundas do tráfico (LARANJEIRA, 2010).

Todavia, “apoiando-se no fato de que a droga permanece uma grave ameaça à saúde pública e que a legalização, além de não se constituir em uma alternativa capaz de desestruturar a cadeia do crime, irá aumentar a exposição da sociedade aos riscos da droga e ao desencadeamento de uma epidemia de consumo de drogas nos países subdesenvolvidos. Os países membros da Organização das Nações Unidas confirmaram firme suporte às convenções para controle de drogas, mantendo-se a determinação de combater a produção e o tráfico dessas substâncias” (UNODC, 2009).

Em março de 2009, os estados membros se comprometeram a erradicar ou reduzir significativamente a oferta e a demanda por drogas ilícitas até 2019 e enfatizaram que pesquisa, coleta de dados e análises seriam essenciais para sustentar e monitorar os esforços implementados para atingir esses objetivos (UNODC, 2010a).

1.1 Contexto

Em uma análise global, os dados demonstram que a *Cannabis sativa* é a droga mais consumida, seguida por anfetaminas, cocaína e opiáceos (UNODC, 2010a, p. 10). A *Cannabis sativa* também é a droga ilícita mais difundida no Brasil, representando, em peso e volume, a maior parte das apreensões policiais. Em 2010, apenas as apreensões da Polícia Federal de maconha pronta para consumo atingiram 154.235 kg enquanto as apreensões de drogas derivadas do arbusto da coca (cloridrato, pasta base, *crack*) somaram 27.065 kg (CGPRE, 2010). As ações da Polícia Federal ainda erradicaram aproximadamente 1.767.760 plantas de *Cannabis sativa* que, a uma taxa média de conversão de 300 g de droga por planta adulta (HONORATO; MELO, 2008), implicariam na entrada de aproximadamente 500 toneladas de droga no mercado do tráfico, além de resultarem na apreensão de 1.072.431 mudas e 240 kg de sementes da planta (CGPRE, 2010). Em termos de prevalência de uso, a porcentagem da população entre 12 a 65 anos que consumiu a droga pelo menos uma vez no ano de 2005 foi estimada em 2,6%, contra 0,7% para cocaína, 0,7% para anfetaminas, 0,5% para opiáceos e 0,2% para *ecstasy* (UNODC, 2010b).

Embora o plantio e venda da *Cannabis sativa* sejam proibidos em todo território nacional, a planta é cultivada em algumas regiões do país, provocando a deterioração das condições de segurança pública e prejudicando o desenvolvimento sócio-econômico desses locais. A Polícia Federal, na condição de órgão que possui competência de reprimir o plantio e o tráfico das drogas, conforme previsto na Constituição Federal de 1988 em seu Artigo 144, Parágrafo 1º, Inciso 2, executa regularmente operações policiais de erradicação de cultivos de *Cannabis sativa* nessas áreas críticas. Essas ações de repressão têm se mostrado um mecanismo eficiente para evitar a chegada da droga ao mercado consumidor e, além disso, constituem-se em uma estratégia de descapitalização dos criminosos, pois inviabilizam a recuperação dos investimentos realizados nas lavouras ilegais. As operações também possibilitam a comprovação da materialidade do crime, mediante a realização do exame de local para inequívoca identificação de exemplares vegetais da espécie *Cannabis sativa* e da definição rigorosa do sítio utilizado para a atividade criminosa, subsidiando a persecução penal de proprietários de terras e supostos cultivadores.

A condição fundamental para a realização das operações de erradicação é a disponibilidade de informações atualizadas sobre a localização dos plantios ilícitos. A identificação e o georreferenciamento das plantações a serem erradicadas são executados, atualmente, por policiais experientes mediante inspeção visual de áreas críticas durante sobrevoos de helicóptero. Como esses plantios normalmente se localizam em um contexto espacial específico, os policiais consideram, para o reconhecimento, um conjunto de elementos indicadores que se relacionam a características da planta e às condições ambientais propícias ao desenvolvimento da *Cannabis sativa*, assim como elementos relacionados às estratégias de cultivo adotadas pelos criminosos. Esse método requer o sobrevoos de extensas áreas, resultando em elevado custo operacional e sua eficácia é dependente da aptidão e experiência dos observadores.

Neste contexto e haja vista que a maior parte das drogas consumidas em nível mundial são derivadas de plantas ou partes de plantas - principalmente *Cannabis sativa*, arbustos de coca e papoula -, as estratégias internacionais de combate às drogas também contemplam, necessariamente, ações voltadas à redução da oferta mediante programas de repressão aos cultivos ilícitos. Conseqüentemente, informações sobre a localização das lavouras destinadas à produção de drogas e sobre os fatores que determinam a sua distribuição geográfica tornam-se uma questão central na definição de políticas regionais de combate à droga e, também, na deflagração de operações de erradicação dos cultivos ilícitos. Essa demanda por dados geográficos confiáveis motivou o estabelecimento do programa oficial do Escritório das Nações Unidas contra a Droga e o Crime que apóia a implantação de sistemas nacionais de monitoramento de cultivos ilícitos nos países com maior incidência desse problema desde 1999. Esses projetos empregam tecnologias de sensoriamento remoto e sistemas de informações geográficas (SIG) para gerar estimativas da produção e mapas da área plantada em países que possuem regiões dominadas pela produção de drogas, a exemplo da Colômbia, Afeganistão e Marrocos.

O referido emprego de tecnologias de geoinformação é oportuno, visto que o fenômeno das plantações ilícitas é de natureza eminentemente geográfica e, portanto, pode contribuir para a compreensão do seu comportamento espacial. Ademais, a crescente disponibilidade de dados de sensores remotos de alta

resolução espacial, espectral e temporal e a ampliação da capacidade de análise de grande quantidade de dados permitem análises mais detalhadas e frequentes da superfície terrestre, favorecendo o desenvolvimento de soluções aplicadas a problemas específicos baseadas em SIG e sensoriamento remoto.

Em referência aos SIG, vários autores demonstraram suas aplicações como ferramenta de apoio à decisão. Segundo Sharifi (2002), os SIG permitem representar relações espaciais complexas e estruturas que são comuns em problemas espaciais e, dessa forma, suportam a compreensão de um conjunto de processos que ocorrem na superfície terrestre. Para Moreira *et al.* (2002), os projetos em SIG geralmente têm por objetivo combinar dados espaciais para descrever e analisar interações para fazer previsões através de modelos e fornecer apoio a decisões tomadas por especialistas. No caso específico dos cultivos ilícitos, os SIG têm potencial de subsidiar a análise prévia da área de intervenção da polícia mediante a espacialização e ponderação de fatores que resultam na oportunidade para o plantio, com vistas à identificação de padrões propícios à atividade criminosa. Essa análise pode servir como fonte de subsídios tanto para ações de repressão dos plantios de *Cannabis sativa* como para aumentar a capacidade da Polícia em antecipar problemas futuros e delinear soluções de prevenção.

É importante considerar ainda que a nova geração de sensores remotos de alta resolução espacial e as novas técnicas de tratamento e análise de imagens abrem novas possibilidades para identificação e monitoramento de alvos a partir de imagens de satélite (BAATZ *et al.*, 2008; CASTILLA; HAY, 2008).

Sendo assim, a geointeligência constitui-se em uma ferramenta estratégica para ampliar a capacidade de resposta da Polícia Federal na repressão desse ilícito mediante a racionalização da alocação de recursos durante as operações de erradicação, principalmente no que diz respeito ao emprego de helicópteros ou de veículos aéreos não tripulados.

Entretanto, embora os avanços na tecnologia de observação da Terra propiciem a resolução de alvos cada vez menores, a identificação dos plantios ilícitos a partir de imagens de satélite ainda não é uma tarefa trivial. Esses plantios são constituídos por uma mistura de elementos comuns na natureza, predominantemente solo e vegetação, que podem se encontrar em diferentes

estágios de crescimento e em diferentes espaçamentos. Estudos anteriores de radiometria espectral não indicaram feições de absorção das folhas ou copa de *Cannabis sativa* que pudessem subsidiar sua discriminação exclusivamente por técnicas de análise espectral (WALTHALL; DAUGHTRY, 2001; WALTHALL *et al.*, 2003). Especificamente em relação aos plantios de *Cannabis sativa* no semiárido pernambucano, objeto de estudo desta tese, cabe ressaltar que esses constituem-se em alvos com características complexas e dinâmicas – possuem ampla distribuição em termos de área geográfica, não possuem um calendário agrícola de plantio definido e, frequentemente, sua identificação pode ser dificultada por técnicas de dissimulação empregadas pelos criminosos.

E se, por um lado, os fatores ambientais que limitam o desenvolvimento fisiológico das plantações de *Cannabis sativa*, na condição de culturas agrícolas, não diferem daqueles que condicionam o crescimento das demais culturas comerciais e podem ser modelados mediante a ponderação dos fatores físicos, por outro lado, a análise da distribuição das lavouras destinadas à produção de drogas no cenário global indica que a oportunidade de instalação dos cultivos ilícitos também é determinada pela conjunção de outros fatores como o isolamento e a dominialidade das terras (FUNG; POTTER, 1992; RADARSAT INTERNATIONAL, 2002) e a pobreza (UNODC, 2010a). Conseqüentemente, a abstração da complexidade existente no mundo real e a construção de um modelo da distribuição espacial dos cultivos ilícitos esbarram em incertezas sobre as variáveis que contribuem para o crime e em que grau, de modo que a elaboração de regras explícitas depende do julgamento subjetivo do especialista. Ressalte-se ainda que, na área de segurança pública, o tempo é um ponto crítico. Ações sistemáticas de repressão de cultivos ilícitos demandam informação atualizada e confiável sobre a área de interesse em intervalos regulares e compatíveis com o ciclo da planta, possibilitando a intervenção tempestiva da Polícia.

Neste cenário, a presente pesquisa contempla uma abordagem híbrida que integra técnicas de modelagem espacial e de classificação de imagens baseada em objetos geográficos para subsidiar o emprego da tecnologia de geoprocessamento nas atividades policiais. Pressupõe-se que a combinação dessas técnicas otimize o uso dos dados geográficos disponíveis e favoreça a geração de informações úteis e complementares sobre a região de interesse. Espera-se também que as

informações assim produzidas embasem tecnicamente a tomada de decisão nas ações de prevenção e repressão à produção de droga no sertão pernambucano e contribuam para a maior eficiência das ações de estado que visem desestimular e reprimir essa atividade criminosa.

Outrossim, a experiência pode servir como referência para trabalhos em outras regiões do país ou mesmo em países vizinhos como é o caso do Paraguai, país parceiro do Brasil em acordo de cooperação bilateral para o combate à produção e tráfico de drogas, que registra grande produção de *Cannabis sativa* parte da qual é destinada ao tráfico no Brasil e, portanto, motivo de preocupação para as autoridades brasileiras.

Esta pesquisa foi desenvolvida no Departamento de Polícia Federal sob orientação de professores do Instituto de Geociências da Universidade de Brasília e do *Institut de Recherche pour le Développement* (IRD). Ela inseriu-se no âmbito do programa SEAS-Guyane do IRD, instituído em 2006 para facilitar o acesso aos dados orbitais dos satélites SPOT e ENVISAT para projetos científicos locais e regionais na área da cobertura da estação, envolvendo também a orientação de pesquisadores daquele Instituto.

Os desafios científicos e metodológicos que se impõem ao trabalho consistiram em:

- reunir técnicas capazes de integrar, à modelagem, o conhecimento acumulado sobre os cultivos ilícitos e, ao mesmo tempo, tratar as ambiguidades e as incertezas inerentes ao processo de abstração e modelagem de fenômenos espaciais complexos de origem antrópica; e

- otimizar a produção de informação espacial a partir de dados de sensores remotos de alta resolução espacial, considerando características intrínsecas e relacionais dos plantios ilícitos mediante o emprego de técnicas de classificação de imagens baseada em objetos.

1.2 Objetivos

O objetivo geral desta tese de doutorado é desenvolver metodologia de geoprocessamento para apoio operacional aos trabalhos de erradicação de cultivos ilícitos de *Cannabis sativa* no semiárido pernambucano a partir de imagens HRG do

SPOT 5, dados geográficos auxiliares e conhecimento de campo, integrando técnicas *fuzzy* de modelagem espacial e classificação de imagens baseada em objetos.

Os objetivos específicos desta tese de doutorado são os seguintes:

- caracterizar as plantações de *Cannabis sativa* no semiárido pernambucano quanto às características de campo como tamanho, forma, práticas de manejo usuais, vizinhança, entre outras;
- delinear um modelo teórico da distribuição dos plantios de *Cannabis sativa* no semiárido pernambucano explicitando os principais fatores correlacionados à distribuição espacial dos plantios e as hipóteses gerais sobre essas correlações;
- investigar possíveis padrões espaciais e espectrais associados aos plantios de *Cannabis sativa*;
- calibrar um modelo *fuzzy* de predição da propensão à ocorrência de plantios ilícitos;
- desenvolver uma rotina de classificação baseada em objetos para detecção de feições suspeitas em dados HRG do SPOT 5; e
- verificar o poder preditivo das metodologias desenvolvidas a partir da comparação entre os mapas gerados e os dados de campo.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A fundamentação teórica aqui apresentada pretende fornecer subsídios para a melhor compreensão da complexidade inerente ao fenômeno dos plantios ilícitos no semiárido pernambucano, bem como sobre as técnicas de modelagem espacial e sensoriamento remoto empregadas neste trabalho e motivos que justificaram a sua seleção. Inicialmente, com o intuito de caracterizar o objeto de estudo, são descritos aspectos botânicos, agronômicos e farmacológicos da *Cannabis sativa*, além dos aspectos geográficos e sociais relacionados ao cultivo da *Cannabis sativa* para a produção de drogas no Brasil e no mundo.

Em seguida, são discutidas técnicas de modelagem de fenômenos espaciais, incluindo uma revisão teórica sobre a modelagem *fuzzy*, técnica empregada neste estudo para predizer a propensão à ocorrência de plantios de *Cannabis sativa* em função de condições ambientais determinadas e sobre a análise exploratória de dados espaciais, ferramenta para a identificação e quantificação das relações espaciais. Por último, é apresentada uma breve revisão sobre a detecção de alvos complexos, incluindo aspectos relacionados à classificação de imagens baseada em objetos, técnica selecionada para a detecção de prováveis feições de plantios de *Cannabis sativa* no semiárido pernambucano e uma revisão sobre o estado da arte do sensoriamento remoto de cultivos ilícitos.

Outros procedimentos empregados nessa pesquisa, tais como a correção atmosférica de imagens e a classificação supervisionada pelo algoritmo *Support Vector Machine* (SVM) não são ora descritos por se tratarem de procedimentos para preparação da base de dados e não estarem diretamente relacionados aos objetivos principais desta tese.

2.1 A *Cannabis sativa*

Conhecida popularmente no Brasil como maconha, *marijuana*, cânhamo, liamba, entre outros, a *Cannabis sativa* é uma planta pertencente à família das *Cannabaceae*, nativa da Ásia Central. Sua distribuição original provavelmente se restringia à região norte dos Himalaias na faixa entre o Turquistão a oeste e Paquistão no leste, distribuindo-se ao norte e provavelmente até o sul da China, tendo sido amplamente disseminada posteriormente principalmente pela intervenção

humana (WILLS, 1998a). Escritos chineses do período de 3.000 a.C. demonstram que a planta já era utilizada nessa época com fins medicinais (MECHOULAM, 1986, *apud* WILLS, 1998a). Segundo Clarke (1981), é uma das primeiras e mais importantes plantas cultivadas pelos povos asiáticos pré-históricos. São múltiplos os usos potenciais da *Cannabis*, entre os quais a produção de fibras para tecidos e cordas, óleo para lâmpadas, papel, medicamentos ou droga de abuso.

2.1.1 A planta, histórico do uso, descrição botânica e agrônômica

A publicação oficial da nomenclatura binomial *Cannabis sativa* aparece em Linnaeus's Species Plantarum de 1753, obra reconhecida internacionalmente como marco inicial da moderna nomenclatura botânica (RAMAN, 1998). Esse autor colocou ainda que a família *Cannabaceae* possui apenas dois gêneros – *Cannabis* e *Humulus* (planta utilizada para produção do malte) – sendo que atualmente há uma tendência de considerar o gênero *Cannabis* como monotípico, referindo-se a todos os tipos de *Cannabis* como *Cannabis sativa* L. com informações sobre as propriedades de teor de fibras ou narcóticas da planta. Informações sobre classificação taxonômica completa da *Cannabis sativa* podem ser obtidas em Quimby (1974) e Small e Cronquist (1976) *apud* Raman (1998).

A *Cannabis sativa* L. é uma planta dióica, raiz perpendicular, lenhosa e branca. Pode atingir sete metros de altura, possui folhas opostas, longo-pecioladas, pami-nervadas, compostas de cinco a sete segmentos linear-lanceolados, acuminados até 12 cm de comprimento, verde escuros na face adaxial e verde pálido na face abaxial, e pubescentes em ambas as faces. No ápice, os segmentos ficam reduzidos a três ou mesmo a uma única somente. As flores são axilares, quase sésseis, apétalas, esverdeadas; as masculinas possuem receptáculo convexo e pouco volumoso dispostas em panículas, e as femininas de cálice gamossépalo, em forma de saco, são dispostas em espigas de glomérulos. O fruto é aquênio arredondado, envolvido em cálice persistente, com uma semente sem albúmen e com embrião oleaginoso (CORRÊA, 1926). Roteiro ilustrado para identificação botânica da planta foi apresentado por Souza *et al.* (2006). Técnicas artificiais podem induzir a feminilização ou masculinização da planta (RAM; SETT, 1982; NIGAM *et al.*, 1981 *apud* RAMAN, 1998) e também é possível encontrar plantas monóicas – provavelmente resultantes de cruzamentos especiais (SMALL;

CRONQUIST, 1976 *apud* RAMAN, 1998). Segundo Clarke (1981, p. 7), antes da floração, ocorre modificação da filotaxia do tipo oposta para alterna que geralmente assim permanece ao longo dos estágios florais, independentemente do gênero.

A *Cannabis* é uma planta anual e pode crescer em qualquer tipo de solo, mesmo nos menos férteis (BLOOMQUIST, 1971, *apud* RAMAN, 1998), mas o tamanho das plantas é determinado por fatores ambientais como espaço para crescimento das raízes e parte aérea da planta, luminosidade adequada, disponibilidade de nutrientes e irrigação apropriada (CLARKE, 1981, p. 81). Em áreas de céu aberto e com iluminação solar abundante, solos bem drenados e farta irrigação, a *Cannabis* pode atingir seis metros durante quatro a seis meses de crescimento, sendo que bancos fluviais expostos, pântanos e terras agricultáveis são sítios aptos para o cultivo de *Cannabis*, desde que ofereçam boas condições de insolação (CLARKE, 1981, p. 1). Plantas jovens de *Cannabis* podem ser suprimidas pela competição com plantas invasoras, caso não seja feito o devido controle (RAMAN, 1998, p. 37).

Ainda segundo Clarke (1981, p. 2), a maior parte das variedades de *Cannabis* mostra resposta diferenciada à duração do dia. Durante os primeiros dois ou três meses, ela responde com crescimento mais vigoroso com o aumento da duração do dia, mas, na mesma estação, a planta requer dias mais curtos para florescer e completar o seu ciclo. Experimento de plantio de *Cannabis sativa* em estufas, conduzido no Rio Grande do Sul, levou a resultados bastante heterogêneos de crescimento, com exemplares que atingiram 1,9 m e outros que não ultrapassaram 60 cm ao final de três meses (SOUZA *et al.*, 2006).

É uma planta com alto potencial de adaptação ambiental e seu cultivo se distribui desde áreas temperadas até áreas equatoriais (CLARKE, 1981, p. 82). Atualmente o cultivo de *Cannabis sativa* no mundo pode ser dividido em duas categorias principais: lavouras comerciais para produção de fibras que empregam variedades de *Cannabis sativa* de baixa concentração do composto psicoativo THC (< 0,3% ou mesmo a 0,03%) e altas concentrações de canabidiol, o canabinóide não narcótico; ou plantios ilícitos voltados à produção de droga onde são usadas variedades que apresentam elevada concentração do composto psicoativo THC (> 1%) e virtualmente nenhum canabidiol (RAMAN, 1998).

Além da variedade da planta, outros aspectos como luz, temperatura e umidade (CLARKE, 1981) e estágio de maturação podem influenciar na quantidade de THC presente na planta. Segundo Raman (1998), as variedades precoces geralmente apresentam baixos níveis de THC nos estágios iniciais e atingem o pico durante o período de liberação das sementes, enquanto nas variedades tardias, o nível de THC geralmente atinge o pico no final do crescimento vegetativo e começa a decrescer na fase reprodutiva.

O THC é encontrado na resina secretada pelos tricomas glandulares nas folhas e brácteas florais, principalmente nas flores femininas (CLARKE, 1981) e as partes da planta usadas para produção de drogas são principalmente as inflorescências das plantas femininas com ou sem folhas, a resina dessas inflorescências, o óleo extraído da resina ou diretamente das flores e folhas (RAMAN, 1998). No Brasil, as partes das plantas que são usadas para preparo da maconha são as flores e folhas que são secas e prensadas para serem fumadas.

2.1.2 Efeitos do consumo da droga

As folhas e inflorescências da *Cannabis* e preparações que são feitas a partir delas possuem vários efeitos farmacológicos no homem, incluindo propriedades narcóticas que é o mais conhecido uso da *Cannabis* na atualidade (RAMAN, 1998, p. 29). Os efeitos da intoxicação por *Cannabis sativa* variam conforme a dose utilizada, a forma de uso e as características do indivíduo e geralmente incluem sensação de euforia, relaxamento, grandiosidade, desinibição, sociabilidade aumentada, sensação de aumento na criatividade e, também, efeitos desagradáveis como náusea, taquicardia, enrubescimento facial, boca seca, tremores, ansiedade, inquietação, despersonalização, desrealização, paranóia ou alternância entre sensações de euforia e disforia (WILLS, 1998b, p. 254; SANCHES; MARQUES, 2010).

Em relação aos efeitos adversos da intoxicação por *Cannabis*, Wills (1998b) colocou que um dos efeitos mais comuns é a taquicardia que pode durar por várias horas e pode ser particularmente danosa a pessoas que sofrem de problemas cardíacos. O uso da *Cannabis* também tem sido associado ao desencadeamento ou intensificação de alterações psiquiátricas específicas como transtorno bipolar e depressão (SANCHES; MARQUES, 2010) e às deficiências no funcionamento

executivo com o uso crônico da droga tais como limitações na capacidade de abstração, formação de conceitos e flexibilidade mental (ALMEIDA *et al.*, 2008). Jungerman, Laranjeira e Bressan (2005) mencionaram ainda a possibilidade de alterações nos diversos sistemas neurotransmissores, visto que estudos com animais mostraram que o uso crônico de THC determinava um desbalanço no sistema endocanabinóide. Essas suspeitas baseiam-se, segundo Jungerman, Laranjeira e Bressan (2005), nas constatações científicas que o sistema endocanabinóide humano, que consiste em receptores cerebrais e neuromoduladores, desempenha um papel importante na fisiologia cerebral, regulando diversos sistemas neurotransmissores, tais como: dopaminérgico, serotoninérgico, colinérgico, glutamatérgico e gabaérgico.

A síndrome de abstinência causada pela *Cannabis sativa* tem sido bem estabelecida, especialmente em usuários crônicos e pesados (HALL; SOLOWIJ, 1998 *apud* ALMEIDA *et al.*, 2008) e, embora menos intensa, ela é mais prolongada que a causada pela abstinência de álcool e opiáceos (SMITH; SEYMOUR, 1998, p. 251). As Nações Unidas também consideram que, diante da sua ampla penetração no mundo e das evidências que o seu uso pode ocasionar danos severos à saúde, a *Cannabis* é uma droga que tem se tornado cada vez mais problemática, em oposição à crença de que ela seja uma droga pouco perigosa e relacionam, como mais prováveis efeitos adversos do uso da *Cannabis*, a dependência, o risco aumentado de acidentes de veículos automotores, o comprometimento da função respiratória, os problemas cardiovasculares e os efeitos adversos no desenvolvimento psicossocial e saúde mental no uso regular por adolescentes (UNODC, 2010a, p. 132).

Resumindo, várias pesquisas sustentam que a *Cannabis* é uma droga perigosa e que pode levar a sérios problemas de saúde, conforme pode ser visto com mais detalhe em Smith e Seymour (1998); Wills (1998b); e Almeida *et al.* (2008), embora atualmente haja um forte apelo por grupos da sociedade pela liberação do uso da *Cannabis*.

2.1.3 O cultivo e consumo da *Cannabis sativa* no mundo

O THC, substância psicoativa da *Cannabis sativa*, faz parte das substâncias psicotrópicas definidas como *schedule 1* na Convenção de Substâncias

Psicotrópicas de 1971, o que implica em proibição do uso e produção da *Cannabis sativa* e seus derivados em todos os países que ratificaram a Convenção, embora os países signatários adotem políticas de repressão distintas, principalmente quanto ao rigor de punição dos usuários. Ela domina o mercado mundial de drogas ilícitas em termos de cultivo, volume produzido e número de consumidores, tendo sido identificada e relatada em 172 países (UNODC, 2008).

As Nações Unidas estimaram que entre 155 e 250 milhões de pessoas - ou de 3,5% a 5,7% da população entre 15 e 64 anos – fizeram uso de substâncias ilícitas ao menos uma vez em 2008. Deste total, os usuários de *Cannabis* correspondem à maior parte ou o equivalente a 129 - 190 milhões de pessoas, seguido pelas parte do grupo das anfetaminas, os derivados da coca e os opiáceos (UNODC, 2010a, p. 12). Além disso, tem-se observado uma tendência de aumento do número de tratamentos médicos relacionados ao uso da *Cannabis* na Europa, América do Sul e Oceania, sugerindo que um aumento da proporção do uso da *Cannabis* pode tornar-se problemático (UNODC, 2010a, p. 13) (Figura 1).

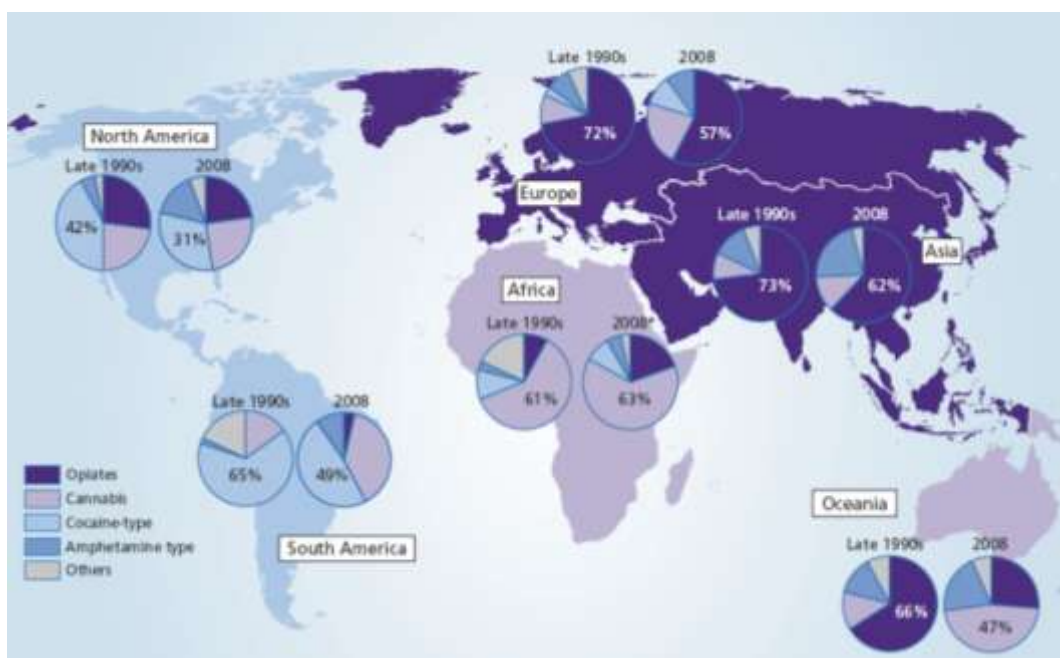


Figura 1. Drogas mais problemáticas no mundo em termos de demanda por tratamento de saúde, por região, no final dos anos 1990 e em 2008 (último ano com disponibilidade de dados).
Fonte: UNODC (2010a, p. 13).

Outros estudos comprovaram os danos e perigos à saúde pública causados pelo uso da *Cannabis sativa* como, por exemplo, o levantamento feito pelo Departamento Americano de Saúde, a *U.S. Department of Health and Human Services*, que informou que, nos Estados Unidos, 3,1 milhões de pessoas com idade

de 12 anos ou mais fizeram uso de substâncias ilícitas pela primeira vez no ano de 2009 e que, dessas, 59,1% reportaram que a primeira droga usada foi a *Cannabis* (SAMHSA, 2010). Ainda segundo esse relatório, a *Cannabis* também foi a substância ilícita com o maior índice de pessoas dependentes ou em situação de abuso no ano de 2009: 60,5% das pessoas foram classificadas como em dependência ou situação de abuso, seguida pelos opiáceos e cocaína.

Em termos de produção, segundo as Nações Unidas, há evidências de produção de *Cannabis sativa* em praticamente todos os países do mundo (UNODC, 2010a, p. 183). Entretanto, devido à descentralização da produção da *Cannabis* na forma de erva, que geralmente é produzida localmente, não há estimativas precisas que permitam comparar a produção nos diferentes países (UNODC, 2010a, p. 12 e 184). Os plantios de *Cannabis* para produção de resina concentram-se sobretudo no Marrocos que registrou 72.500 ha ou 1.067 mt em 2005, último ano de monitoramento pela UNODC no país, e Afeganistão, com 10.000 a 24.000 ha ou 1.500 a 3.500 mt em 2009 (UNODC, 2010a, p. 25).

As apreensões de *Cannabis* na forma de erva cresceram 23% no período de 2006-2008, especialmente na América do Sul. As apreensões de *Cannabis* resina tiveram crescimento ainda mais marcante, de 62% no mesmo período, em consequência de aumentos nas apreensões no Oriente Próximo, Oriente Médio, Europa e África (UNODC, 2010a, p. 12).

O total das apreensões de *Cannabis* na forma de erva em 2008 correspondeu a 6.597 mt com as Américas respondendo pela maior parte desse total. Desde 2001, o país com maior apreensão de *Cannabis* na forma de erva foi o México, seguido pelos Estados Unidos. Ainda segundo as Nações Unidas, houve crescimento das apreensões de *Cannabis sativa* na América do Sul, ocasionado principalmente pelo aumento registrado na Bolívia, correspondente a um incremento de 228 vezes em seis anos, visto que, em 2003, o país registrou a apreensão de 8,5 mt enquanto em 2009 reportou a apreensão de 1.937 mt, valor que excede as maiores quantidades registradas no ano de 2008 ao redor do mundo (UNODC, 2010a, p. 189). Outra tendência registrada pelas Nações Unidas em relação à produção global da *Cannabis sativa* refere-se ao emprego da produção *indoor* da droga principalmente na Europa, Austrália e América do Norte (UNODC, 2010a, p. 25).

2.1.4 O cultivo da *Cannabis sativa* no Brasil e no semiárido pernambucano

O THC, substância psicoativa presente na *Cannabis sativa*, consta na lista das substâncias psicotrópicas de uso proscrito no Brasil. O uso e plantio da planta é proibido em todo o território nacional, ressalvada a hipótese de autorização legal ou regulamentar (Lei nº 11.343 de 23 de agosto de 2006, Decreto n.º 5.912 de 27 de setembro de 2006 e Portaria SVS/MS nº. 344 de 12 de maio de 1998).

No Brasil, os estados que registraram maior apreensão de *Cannabis sativa* no ano de 2010 foram o Paraná, com 80.187 kg, e o Mato Grosso do Sul, com 47.873 kg. Juntos, responderam por 83% das apreensões nacionais (CGPRE, 2010). Contudo, informações de inteligência e análises químicas da droga apreendida demonstram que o material apreendido nessa região não é produzido no país, mas proveniente de países fronteiriços com elevada produção de *Cannabis sativa*.

No Brasil, as ações de erradicação de cultivos ilícitos executadas pela Polícia Federal no ano de 2010 concentraram-se sobretudo nos estados de Pernambuco, Bahia, Maranhão e Pará, totalizando 1.767.760 plantas, das quais 1.037.623 plantas, ou o equivalente a 58%, foram erradicadas em Pernambuco (CGPRE, 2010), localizadas majoritariamente na área de estudo desta pesquisa. Essa problemática do cultivo da *Cannabis sativa* no semiárido pernambucano é antiga e desde a década de 1980 foram testados métodos que auxiliassem a detecção dos plantios por sensores remotos, conforme trabalho descrito por Santos *et al.* (1983).

Devido à persistência dessa atividade criminosa no sertão pernambucano, a área objeto desse estudo tem sido alvo de ações repressivas sistemáticas da Polícia Federal e atualmente observa-se uma tendência de redução da área plantada (Figura 2). Essas ações impactam diretamente a produção e resultam na descapitalização dos criminosos. Porém, em que pese o efeito repressivo inquestionável das ações policiais, a produção da droga nessa região também está sujeita a um forte efeito da sazonalidade climática por se tratar de uma cultura altamente dependente de água cultivada em bioma semiárido.

2.2 Modelagem de fenômenos espaciais

2.2.1 Modelagem fuzzy

O propósito da maioria dos projetos em SIG é combinar dados espaciais de diversas fontes para descrever e analisar interações, efetuar previsões com os modelos e prover suporte para os tomadores de decisão (BONHAN-CARTER, 1994). No caso específico deste trabalho, teve por objetivo subsidiar a previsão da localização de áreas mais ou menos propensas à instalação de plantios ilícitos de *Cannabis sativa* no semiárido pernambucano, favorecendo uma ação proativa da Polícia Federal e dos órgãos parceiros no delineamento de soluções de prevenção e repressão do crime direcionadas à área.

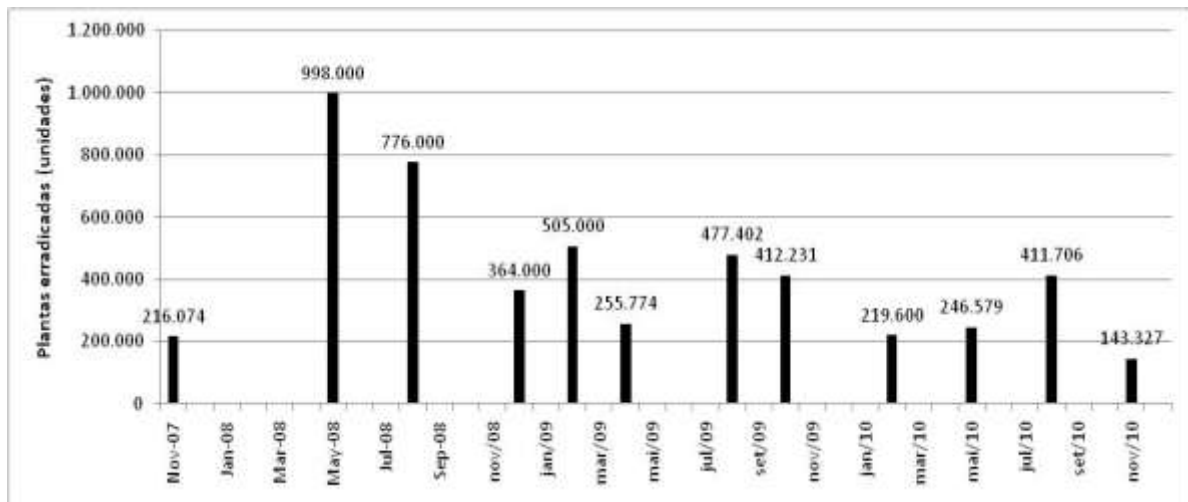


Figura 2. Quantitativo de plantas de *Cannabis sativa* erradicadas durante as operações policiais da Polícia Federal conduzidas em conjunto pela Delegacia de Polícia Federal de Salgueiro/Superintendência da Polícia Federal de Pernambuco e Coordenação-Geral de Polícia de Prevenção a Entorpecentes (CGPRE/DCOR) no período de novembro/2007 a dezembro/2010. Os dados incluem plantios situados fora da área de estudo.

Fonte: CGPRE (documento interno da Polícia Federal, resumo das operações 2007 – 2010, dados não publicados).

A decisão de empregar técnicas de inferência espacial para mapear a propensão à ocorrência de plantios ilícitos baseou-se no pressuposto de que esse fenômeno criminoso resulta em padrões geográficos passíveis de modelagem, uma vez que a distribuição espacial do crime não é aleatória e depende de uma série de fatores que resultam na oportunidade para o crime (RATCLIFFE, 2010). Além disso, o fenômeno das plantações ilícitas de *Cannabis sativa* é recorrente no semiárido pernambucano, o que favorece a prospecção de padrões espaciais. Ou seja, a repetição é uma condição necessária para a modelagem, já que existe uma relação

direta entre prevenção e padrões criminais e a predição raramente possível para eventos isolados (RATCLIFFE, 2009).

Neste âmbito, várias técnicas de inferência, entre as quais a lógica nebulosa ou difusa (*fuzzy*), as redes neurais e os algoritmos genéticos podem ser utilizadas para construir modelos inferenciais que quantifiquem interações espaciais para gerar informações sobre um fenômeno de interesse. Nos modelos empíricos orientados pelo conhecimento, a importância e limites dos atributos são definidos baseado na experiência de especialistas (CÂMARA *et al.*, 2001) e empregam lógica *fuzzy*, probabilidade Bayesiana, teoria *Dempster-Shafer belief* eventualmente aplicadas com redes de inferência em sistemas especialistas (CHUNG; MOON, 1991; CHUNG; FABBRI, 1993 *apud* BONHAN-CARTER, 1994, p. 269). Os modelos orientados pelos dados requerem dados disponíveis em quantidade suficiente para que se possa estimar a contribuição de determinados atributos no processo de modelagem a partir de métodos estatísticos que são aplicados sobre estes dados (CÂMARA *et al.*, 2001). Nesses modelos, os mapas de entrada são combinados usando modelos como regressão logística, pesos de evidências ou redes neurais (BONHAN-CARTER, 1994).

Na predição da propensão à ocorrência dos plantios ilícitos no semiárido pernambucano, o modelo proposto teve por objetivo produzir um mapa com medidas quantitativas da possibilidade de ocorrência de plantios ilícitos a partir da análise integrada de uma base de dados geográfica constituída por mapas digitais que representam os fatores favoráveis ou restritivos à ocorrência dos plantios, conforme regras que quantificam a influência relativa de cada evidência.

Foi aplicada a técnica *fuzzy* que permite implementar conhecimentos vagos ou do senso comum em um aplicativo computacional e efetuar predições a partir desses (KASABOV, 1996). Além disso, os conjuntos *fuzzy* visam representar conjuntos cujas fronteiras não estão claras, sendo particularmente úteis para representar conceitos imprecisos (NICOLETTI; CAMARGO, 2004). Como vantagens, os modelos *fuzzy* apresentam a possibilidade de incorporar, por meio de regras *fuzzy*, o conhecimento qualitativo e teórico preexistente sobre o fenômeno e, também, a possibilidade de incorporar incertezas inerentes ao processo de modelagem ao invés de descartá-las (OPENSHAW, 1998).

Gomide e Gudwin (1994) acrescentaram que uma das principais características da modelagem *fuzzy* de sistemas e processos consiste em ser apropriada para descrever sistemas complicados com uma razoável quantidade de conhecimento. Makropoulos e Butler (2004) mencionaram que, para sistemas complexos e com pouca disponibilidade de dados, onde apenas informação ambígua ou imprecisa está disponível, a lógica *fuzzy* proporciona meios para tratar e expressar formalmente essas incertezas, auxiliando a compreensão das funções do sistema.

Para ponderar a influência das variáveis, os sistemas de inferência *fuzzy* disponibilizam uma aproximação matemática formal para expressar regras e variáveis linguísticas (MAKROPOULOS; BUTLER, 2004) sendo que, segundo Zadeh (1996), a principal contribuição da lógica *fuzzy* é que ela consiste em uma metodologia para fazer cálculos a partir de palavras. Ressalte-se que as citadas características intrínsecas dos sistemas *fuzzy* permitem, por exemplo, a modelagem de regras linguísticas como "próximo a cursos d' água", "em meio a vegetação densa", "próximo a acessos", frequentemente empregadas para descrever as associações espaciais percebidas na distribuição dos plantios de *Cannabis sativa* no semiárido.

Enquanto na lógica binária ou booleana uma proposição P é considerada ou verdadeira ou falsa, na lógica *fuzzy*, os valores de verdade podem variar em faixas como, por exemplo, muito verdadeiro, que pode ser interpretado como um valor de verdade *fuzzy* que caracteriza um valor de verdade numérico (ZADEH, 1988). Resumindo, este autor coloca que, na lógica *fuzzy*, tudo, até a verdade, é uma questão de medida.

Schneider (1999) colocou que a teoria dos conjuntos *fuzzy* é uma extensão da teoria de conjuntos booleanos que divide os objetos em pertencentes ou não pertencentes a determinado conjunto, possibilitando, contudo, atribuir o grau de pertinência de determinado elemento em dado conjunto. Em outras palavras, enquanto na teoria clássica de conjuntos, a função característica atribui os valores 0 ou 1 para discriminar os objetos que não pertencem dos que pertencem a determinado conjunto, a função *fuzzy*, ou função de pertinência *fuzzy*, é a função que associa, aos elementos de determinado conjunto, um valor de pertinência que representa o grau de compatibilidade do elemento com o conceito representado pelo

conjunto *fuzzy* (NICOLETTI; CAMARGO, 2004). Consequentemente, todos os elementos do conjunto recebem valores no intervalo contínuo [0, 1] onde valores menores representam um baixo grau de pertinência e valores maiores representam elevado grau de pertinência (BONHAN-CARTER, 1994; KASABOV, 1996; SCHNEIDER, 1999).

Para efetuar a conversão dos dados temáticos ou modelos numéricos para formato numérico *fuzzy*, faz-se necessária, portanto, a definição da função de pertinência *fuzzy*. Neste trabalho, foram selecionadas as funções de pertinência *small*, linear e categórica, disponibilizadas pelo aplicativo ArcSDM (SAWATZKY *et al.*, 2004) para mapear os valores de pertinência *fuzzy* de cada variável. A função de pertinência *fuzzy small* é indicada quando os valores baixos são os mais compatíveis com o conjunto *fuzzy*, sendo representada pela Eq. 1:

$$\mu(x) = \frac{1}{1 + \left(\frac{x}{b}\right)^a} \quad (1)$$

onde: $\mu(x)$ = grau de pertinência *fuzzy*; a = espalhamento que define a transição entre os valores 0 e 1; e b = ponto médio com valor de pertinência equivalente a 0,5.

Essa função atribui valores próximos a 0,5 para valores situados em torno do ponto médio definido pelo usuário. O usuário também define o parâmetro de espalhamento (*spread*) da função, que influencia a transição entre valores maiores e menores que o ponto médio. Quanto maior o espalhamento, mais abrupta a transição entre valores menores e maiores que o ponto médio (ANDRADE, 2008). A função de pertinência linear do aplicativo ArcSDM atribui uma variação linear do grau de pertinência *fuzzy* entre 0 e 1 para os valores situados entre os limiares mínimo e máximo definidos pelo especialista para a evidência analisada. No caso de dados temáticos, o aplicativo ArcSDM disponibiliza uma ferramenta que permite atribuir valores de grau de pertinência *fuzzy* entre 0 e 1 às diferentes classes categóricas conforme parâmetros definidos pelo especialista.

Finalmente, após a devida padronização das variáveis em formato *fuzzy*, os mapas são combinados com emprego de operadores *fuzzy* que permitem ponderar a importância relativa de cada fator no modelo, concluindo a modelagem. Os operadores *fuzzy* do tipo AND, OR, Soma Algébrica, Produto Algébrico e Gamma,

disponibilizados pelo aplicativo ArcSDM, são detalhados a seguir conforme proposto por Bonhan-Carter (1994).

O *operador fuzzy AND* equivale ao operador booleano AND e o valor de pertinência de saída é controlado pelos valores mínimos dos mapas de entrada em cada localização e é dado por:

$$\mu_{combinação} = \text{MIN} (\mu_A, \mu_B, \mu_C, \dots) \quad (2)$$

onde: $\mu_{combinação}$ = grau de pertinência para o mapa de saída em uma localidade particular; μ_A = grau de pertinência para o mapa A em uma localidade particular; e μ_B = valor para o mapa B, e assim por diante.

O operador *fuzzy AND* é indicado quando duas ou mais evidências devem estar presentes ao mesmo tempo para que a condição seja verdadeira. O operador *fuzzy OR* equivale ao operador booleano OR, e o valor de pertinência de saída é controlado pelos valores máximos dos mapas de entrada em cada localização e é dado por:

$$\mu_{combinação} = \text{MAX} (\mu_A, \mu_B, \mu_C, \dots) \quad (3)$$

onde: μ_A = grau de pertinência para o mapa A em uma localidade particular; μ_B = valor para o mapa B, e assim por diante.

O operador *fuzzy OR* é indicado quando basta que uma das evidências esteja presente para que a condição seja verdadeira. Para o operador Produto Algébrico *Fuzzy* o valor de pertinência de saída ($\mu_{combinação}$) é definido por:

$$\mu_{combinação} = \prod_{i=1}^n \mu_i \quad (4)$$

onde: μ_i = grau de pertinência para o i-ésimo mapa; e $i = 1, 2, \dots, n$ são os mapas a serem combinados.

Como o Produto Algébrico *Fuzzy* é dado pelo produto dos graus de pertinência das evidências combinadas, o resultado tende a apresentar valores

muito baixos devido ao efeito de multiplicar vários valores menores que 1. Entretanto, todas as evidências são ponderadas no resultado final. O operador Soma Algébrica *Fuzzy* é complementar ao Produto Algébrico *Fuzzy* e o valor de pertinência de saída ($\mu_{\text{combinação}}$) é definido por:

$$\mu_{\text{combinação}} = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - \mu_i) \quad (5)$$

O resultado é sempre maior ou igual ao valor máximo dos mapas de entrada.

O operador *Gamma Fuzzy* é resultante de uma operação entre a Soma Algébrica *Fuzzy* e o Produto Algébrico *Fuzzy* e o valor de pertinência de saída é definido por:

$$\mu_{\text{combinação}} = (\text{Soma Algébrica } Fuzzy)^\gamma \times (\text{Produto Algébrico } Fuzzy)^{1-\gamma} \quad (6)$$

onde: γ = parâmetro entre 0 e 1, sendo que, quando gamma recebe valor 1, o resultado é igual à Soma Algébrica *Fuzzy*.

Quando gamma recebe valor 0, o resultado é igual ao Produto Algébrico *Fuzzy*. A escolha meticulosa do valor de gamma possibilita obter flexibilidade entre a tendência incremental da Soma Algébrica *Fuzzy* e o efeito redutor do Produto Algébrico *Fuzzy*.

2.2.2 Análise exploratória de dados espaciais

Na inferência *fuzzy*, as regras e pesos, incluindo as funções de pertinência *fuzzy* e respectivos parâmetros, geralmente são definidos a partir da experiência de especialistas sobre o fenômeno, implicando na estimativa subjetiva da importância relativa dos diferentes fatores. Entretanto, além do conhecimento acumulado em entrevistas com policiais e durante os levantamentos de campo, a modelagem desenvolvida no presente trabalho também aplicou conhecimento produzido por meio de análises exploratórias de dados espaciais, reduzindo a subjetividade da técnica.

A análise exploratória de dados espaciais compreende uma coleção de técnicas visuais e numéricas para sintetizar as propriedades dos dados, detectar

padrões e identificar características incomuns ou interessantes nos dados incluindo eventuais erros ou possíveis hipóteses (HAINING, 2009). A grande quantidade de dados geográficos sobre os plantios ilícitos gerados em operações sucessivas de erradicação conduzidas pela Polícia Federal foi decisiva na condução dessas análises, possibilitando a prospecção estatística de padrões espaciais intrínsecos de modo a somar informação ao conhecimento acumulado e reduzir a subjetividade da interpretação. Segundo Câmara *et al.* (2004), a análise espacial enfatiza a mensuração das propriedades e relacionamentos, levando em conta a localização espacial do fenômeno geográfico de forma explícita. Ainda segundo esses autores, a análise espacial lida com dados ambientais e dados socioeconômicos e é composta por um conjunto de procedimentos encadeados cuja finalidade é a escolha de um modelo inferencial quantitativo que considere explicitamente os relacionamentos espaciais presentes no fenômeno para subsidiar a compreensão da sua distribuição.

Uma análise exploratória inicial foi conduzida a partir da confecção de mapas de densidade que possibilitam a visualização e análise de um fenômeno e também permitem avaliar se a distribuição dos pontos é aleatória ou se obedece algum padrão (BONHAN-CARTER, 1994; CÂMARA *et al.*, 2004; MITCHEL, 2005).

A análise de pesos de evidência também foi empregada e desempenhou papel particularmente importante na seleção das variáveis do modelo e na ponderação da influência relativa de cada fator na maior ou menor propensão de uma localidade à ocorrência dos plantios ilícitos. O método dos pesos de evidência consiste em um modelo baseado em probabilidade *bayesiana* em um formato log-linear que pode ser aplicado quando há quantidade suficiente de dados para estimar a importância relativa de cada evidência por meio de análises estatísticas (BONHAN-CARTER, 1994; CÂMARA *et al.*, 2001). Emprega o logaritmo natural da divisão entre a probabilidade *a priori* e a probabilidade *a posteriori* de uma evidência, de modo que a análise das evidências em separado fornece *insights* sobre qual a contribuição relativa de cada evidência (BONHAN-CARTER, 1994, p. 307). A probabilidade *a posteriori* ou probabilidade condicional é a probabilidade de um evento D ocorrer tendo ocorrido B. A análise de pesos de evidência trabalha com os ponderadores W^+ e W^- onde W^+ é o peso da evidência na presença do padrão, W^- é o peso da evidência na ausência do padrão.

Segundo Kemp, Bonham-Carter e Raines (1999), os pesos fornecem uma medida de associação espacial entre os pontos e a evidência, sendo que um peso é calculado para cada classe da evidência. Segundo Bonham-Carter (1994), um valor positivo do peso indica que existem mais pontos na classe que poderia ocorrer devido ao acaso; inversamente, um valor negativo indica que há menos pontos na classe do que o esperado ocorrer e um valor igual a zero, ou muito próximo de zero, indica que os pontos são distribuídos aleatoriamente em relação a essa classe. Kemp, Bonham-Carter e Raines (1999) mencionaram que o W^+ pode ser perto de zero apesar de W^- ser fortemente negativo, situação que surge se a presença da evidência não é particularmente preditiva de ocorrências, mas a ausência da evidência é forte indicativo de que os pontos são improváveis de ocorrerem.

Os pesos podem ser calculados pela razão das probabilidades condicionais apresentadas nas Eq. (7) e (8), conforme propostas por Bonham-Carter (1994).

$$W^+ = \ln((P(B/D))/(P(B/d))) \quad (7)$$

$$W^- = \ln((P(b/D))/(P(b/d))) \quad (8)$$

onde $P()$ indica a probabilidade e \ln denota logaritmos naturais; $P(B/D)$ é a probabilidade de uma dada ocorrência D estar presente dada a presença do padrão B ; $P(B/d)$ é a probabilidade do padrão B estar presente dada a ausência de ocorrências D ; $P(b/D)$ é a probabilidade do padrão B estar ausente dada a presença de uma ocorrência D ; e $P(b/d)$ é a probabilidade do padrão B estar ausente dada a ausência de ocorrências D .

2.3 Sensoriamento remoto de alvos complexos

A crescente disponibilidade de dados de alta resolução e os desafios com a interpretação das imagens desses sensores levaram a mudanças de paradigma na análise de imagens, impulsionando o avanço e disseminação de técnicas de segmentação e classificação de imagens baseada em objetos (HAY; CASTILLA, 2006; NEUBERT; HEROLD; MEINEL, 2006; ZHANG; MAXWELL, 2006). Uma das razões para essa mudança é que as concepções convencionais de classificação baseada em pixels frequentemente não são capazes de extrair informações desejadas dos dados de alta resolução (NUSSBAUM; MENZ, 2008).

2.3.1 Classificação de imagens baseada em objetos

Pressupõe-se que a classificação de imagens baseada em objetos geográficos (*geographic object-based image analysis* – GEOBIA) se constitua em uma alternativa promissora para individualizar prováveis plantios de *Cannabis sativa* no semiárido pernambucano a partir de imagens de sensores remotos e dados geográficos auxiliares. A integração de atributos espaciais e de contexto poderia aumentar significativamente a eficiência na detecção dos cultivos ilícitos quando comparada aos métodos de classificação de imagens orientada aos pixels, visto que o objeto de interesse é constituído basicamente por vegetação e solo, elementos comuns na paisagem em análise, o que limita o potencial de emprego exclusivo das técnicas tradicionais de classificação.

Hay e Castilla (2006) definiram a análise de imagens baseada em objetos como uma sub-disciplina da ciência do SIG dedicada a decompor imagens de sensoriamento remoto em objetos semânticos e acessar as respectivas características por meio de uma escala espacial, espectral e temporal. A análise busca reproduzir um procedimento similar à percepção visual, com o reconhecimento de formas específicas e correlações que superam a análise de valores espectrais, incluindo feições como textura, forma, tamanho e relações entre os objetos individuais (NUSSBAUM; MENZ, 2008). Visa também replicar ou sobrepor a experiência humana na interpretação de dados de sensoriamento remoto de forma automatizada ou semiautomatizada para incorporar inteligência às imagens adquiridas (HAY; CASTILLA, 2008).

A análise de imagens baseada em objetos requer a segmentação de imagens em objetos homogêneos, possibilitando que outros atributos como forma, tamanho, textura e relações de vizinhança dos objetos sejam usados como descritores dos objetos, além de permitir que outros dados geográficos tais como modelos de elevação do terreno sejam integrados no processo de classificação de imagens (NUSSBAUM; MENZ, 2008). Para tal, é necessário determinar e combinar, em um modelo semântico, um conjunto de regras de classificação que constitui uma forma de representar o conhecimento (NUSSBAUM; MENZ, 2008).

Segundo Lang (2008), com treinamento, é possível complementar o conhecimento implícito com o obtido através de aprendizado formal e experiência,

mas ressaltou que, mesmo com técnicas para formalizar o conhecimento em regras, é difícil de representar o amplo conhecimento intuitivo de um intérprete, sendo que esse permanece um dos desafios da inteligência artificial. Esse autor citou, também, que as técnicas atuais incorporam o conhecimento e a experiência de diferentes áreas: o estágio de modelagem das classes se apóia no conhecimento especializado que pode ser construído a partir de habilidades de interpretação; usuários de aproximações orientadas-a-pixels podem utilizar o seu conhecimento em classificações automatizadas; e experiências em detecção semiautomática e extração de feições em imagens de alta resolução também podem ser usadas para o processo de classificação. Lang citou ainda que métodos orientados-a-objetos vão integrar o conhecimento atual, ao invés de prevalecer sobre as práticas de classificação existentes.

Resumindo, a classificação de imagens baseada em objetos baseia-se na segmentação da imagem e na classificação dos objetos a partir de suas características internas e as suas mútuas relações. Conforme Blaschke e Lang (2006), ela permite tratar conteúdos crescentes de complexidade das imagens, independentemente de serem causados por aumento do detalhamento espacial e/ou por complexidade do tópico a ser resolvido ou devido ao tamanho da área de estudo a ser analisada.

2.3.2 Sensoriamento remoto e modelagem espacial no mapeamento de cultivos ilícitos

As investigações científicas para incorporar a tecnologia de sensoriamento remoto na detecção de plantios ilícitos pela Polícia Federal tiveram início em 1983, quando foi desenvolvido um trabalho para mapear áreas plantadas com *Cannabis sativa* em parceria com o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), que envolveu análise de fotografias aéreas coloridas (SANTOS *et al.*, 1983). Esses autores concluíram que o uso de filmes infravermelhos mostrou resultados satisfatórios para identificação visual de plantas de *Cannabis sativa* e os seus correspondentes estágios de crescimento. A escala 1:5.000 das fotografias aéreas (resolução espacial submétrica) também foi considerada adequada, possibilitando até mesmo a identificação visual de covas em plantios em estágio inicial de crescimento. As áreas maiores de *Cannabis* foram mapeadas com 100% de acerto.

No entanto, o uso de imagens Landsat MSS, com resolução espacial de 80 metros, não mostrou resultados promissores, pois a maioria dos plantios eram feitos em talhões inferiores ao tamanho do pixel do MSS de 0,64 hectares.

Desde a realização do referido estudo, ocorreu um grande avanço na tecnologia de observação da terra em termos de novos sistemas sensores e em termos dos algoritmos de processamento digital de imagens. Paralelamente a este desenvolvimento, pesquisadores têm conduzido trabalhos científicos voltados à detecção de plantações ilegais de *Cannabis* ou outras lavouras destinadas à produção de drogas mediante técnicas de sensoriamento remoto (DAUGHTRY; WALTHALL, 1998; WALTHALL; DAUGHTRY, 2001; RADARSAT INTERNATIONAL, 2002; WALTHALL *et al.*, 2003; SRINIVAS *et al.*, 2004; WALTHALL *et al.*, 2006; PESARESI, 2008). Nessa linha, pesquisas sobre o emprego de técnicas de análise baseada em objetos na detecção de cultivos de coca na Colômbia, em que as regras de classificação de imagens foram derivadas exclusivamente de chaves de interpretação visual de imagens Landsat ETM+, indicaram a necessidade de aliar o potencial espectral das imagens no processo de classificação baseada em objetos com o intuito de conjugar as vantagens dessa às potencialidades das técnicas de análise espectral (UNODC, 2006).

Técnicas de modelagem espacial também têm sido empregadas para mapear áreas potenciais para estabelecimento de plantios de *Cannabis* a partir da análise de atributos ambientais em escalas locais, regionais (FUNG; POTTER, 1992; RADARSAT INTERNATIONAL, 2002) ou globais (Figura 3).

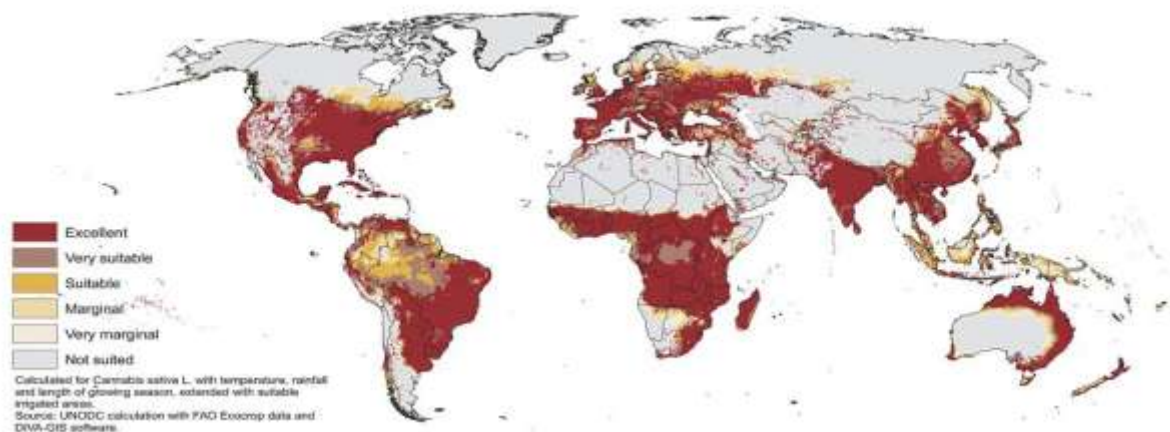


Figura 3. Áreas climatologicamente aptas ao cultivo de *Cannabis sativa*.
Fonte: Adaptado de UNODC (2009).

Por último, é importante destacar a existência de programas oficiais de monitoramento de cultivos ilícitos em vários países a partir de dados de sensores remotos coordenados pelo Escritório das Nações Unidas contra Drogas e Crime. Um exemplo é o programa de monitoramento da superfície plantada com *Cannabis* no Marrocos efetuado a partir de imagens multiespectrais SPOT 5 com 10 metros de resolução espacial (UNODC, 2007).

3 ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo faz parte da região conhecida popularmente como Polígono da Maconha e é uma das áreas mais críticas do país no que se refere à problemática de cultivo de *Cannabis sativa*, sendo que trabalhos pioneiros de emprego de sensores remotos para detecção de plantios ilícitos no sertão de Pernambuco e Piauí remontam ao início da década de 1980 (SANTOS *et al.*, 1983).

3.1 Localização

A área objeto desse estudo totaliza aproximadamente 8.875 km² e está localizada no estado de Pernambuco, na região conhecida regionalmente como sertão central, na bacia do rio São Francisco (Figura 4).

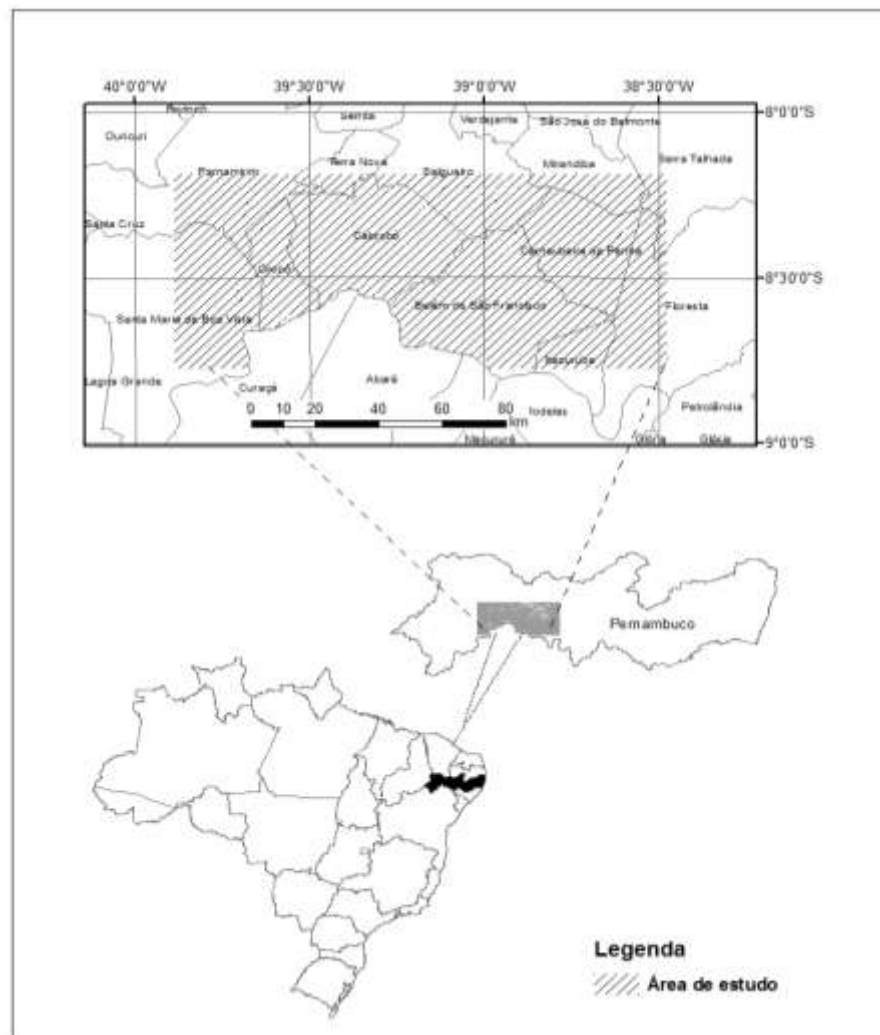


Figura 4. Mapa de localização da área de estudo no estado de Pernambuco.
Fonte: Mapas vetoriais do IBGE processados em SIG pela pesquisadora.

A área selecionada é delimitada pelas coordenadas UTM 9.095.000 m a norte, 9.030.000 m ao sul, 557.400 m a leste e 402.200 m a oeste, na zona 24S. Abrange áreas dos municípios de Belém de São Francisco, Cabrobó, Carnaubeira da Penha, Floresta, Itacurubá, Mirandiba, Orocó, Parnamirim, Santa Maria da Boa Vista, Terra Nova e Salgueiro

3.2 Aspectos biofísicos

Em termos geomorfológicos, a área se insere na Depressão periférica do São Francisco e superfícies de pediplanos com *inselbergs* (EMBRAPA, 2000) onde podem ser distinguidos os seguintes modelados: Pediplanos com problemas de sais e drenagem (37,7%), Pediplanos avermelhados de textura média e argilosa (26,4%), Chapadas baixas dissecadas (11,6%), Serras e serrotes (7,2%), Várzeas e terraços aluviais (6,9%), Pediplanos arenosos (3,7%), Superfícies retrabalhadas (3,2%), Chapadas baixas pouco dissecadas (2,2%), Chapadas arenosas (0,9%) e Superfícies aplanadas (0,2%) (Figura 5).

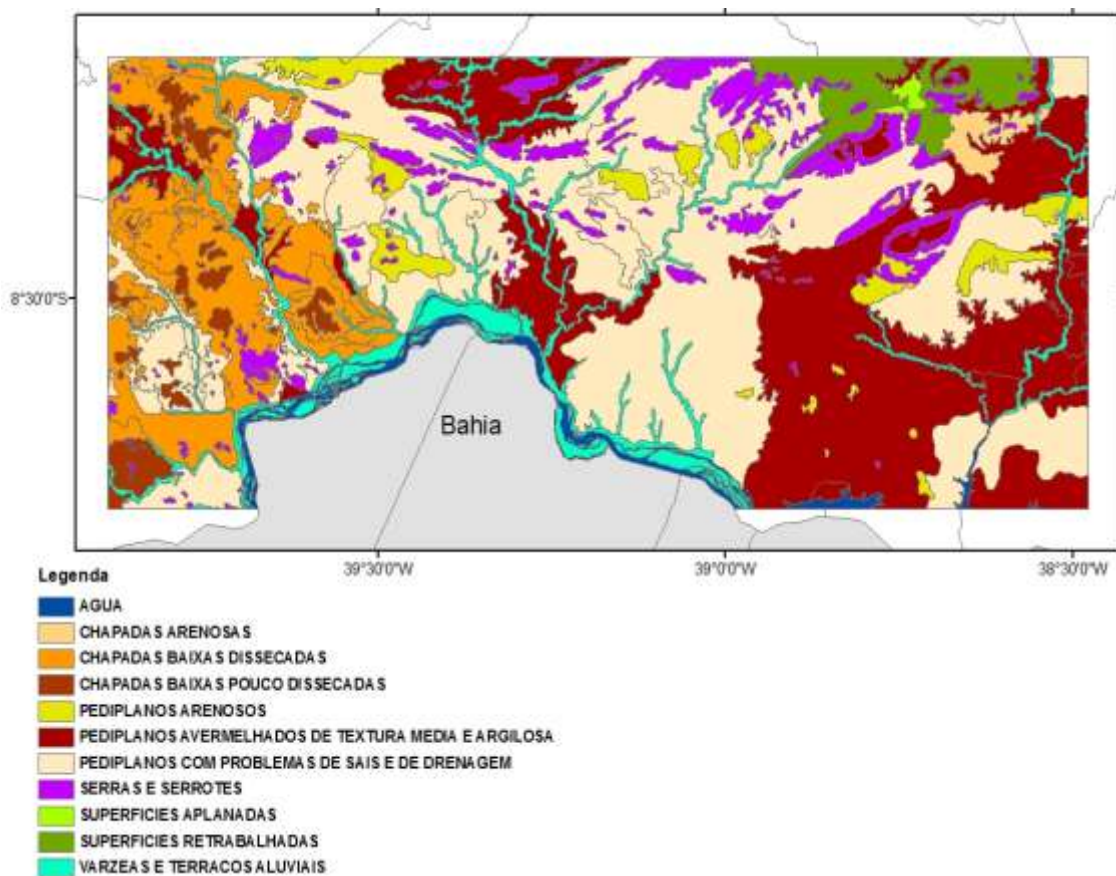


Figura 5: Unidades geomorfológicas da área de estudo.
Fonte: Embrapa (2000).

Segundo dados do Zoneamento Agroecológico de Pernambuco (EMBRAPA, 2000) (Figura 6), as terras da área de estudo, quanto ao potencial agroecológico, dividem-se em Pastagem natural (44%), Terras agricultáveis de potencial restrito (42%), Terras agricultáveis de bom potencial (8%) e terras não indicadas para atividades agrícolas (6%). Verifica-se que a maior parte das terras apresenta algum nível de restrição para a agricultura, sendo que as que apresentam melhor potencial concentram-se principalmente nas várzeas e terraços aluviais do rio São Francisco, nas áreas de Chapadas baixas dissecadas ou pouco dissecadas e nos Pediplanos avermelhados de textura média e argilosa e geralmente são utilizadas para agricultura ou fruticultura irrigada.

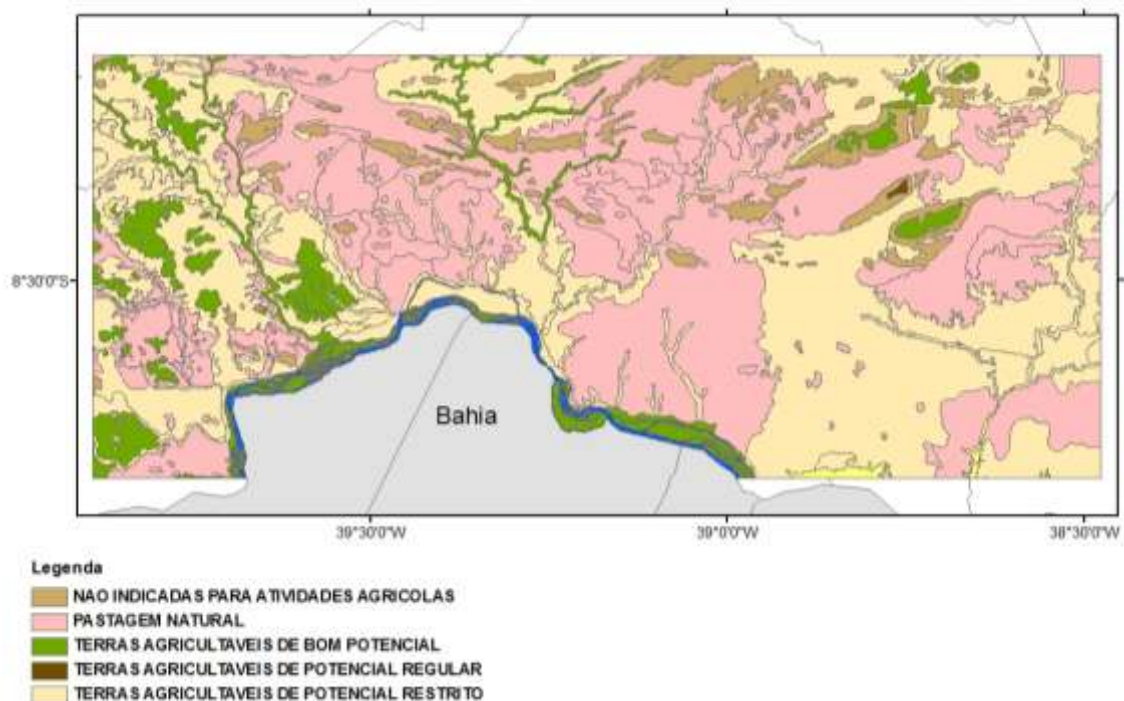


Figura 6: Aptidão agroecológica das terras na área de estudo.
Fonte: Embrapa (2000).

O clima da região é marcado por uma longa estação seca e as chuvas são marcadas pela torrencialidade (RIZZINI, 1997). Esse autor reportou, para o município de Cabrobó, uma média de precipitação anual de 442 mm a partir de dados de 15 anos de observação. A análise dos dados pluviométricos mensais disponibilizados pelo Instituto Nacional de Meteorologia demonstram, para o período de 2006 a 2008, uma precipitação média anual inferior a 600 mm, com chuvas concentradas no período de dezembro a março.

A área estudada faz parte do bioma da Caatinga e apresenta as fitofisionomias Savana Estépica Florestada, Savana Estépica Arborizada, Savana Estépica Parque, Savana Estépica Gramíneo-Lenhosa e inclusões de Floresta Estacional (BRASIL, 2007), descritas em IBGE (1992).

Abrange o denominado "Núcleo de desertificação Cabrobó" que inclui os municípios de Cabrobó, Orocó, Santa Maria da Boa Vista, Belém de São Francisco e Floresta. Esse núcleo foi definido em função do processo de desertificação observado regionalmente que se caracteriza pela degradação da Caatinga e pela consequente erosão e empobrecimento do solo decorrentes, principalmente do sobrepastejo, do desmatamento e da salinização do solo ocasionada pela implantação problemática de projetos de irrigação em terras inapropriadas, aliados ao contexto climático desfavorável (SÁ; SÁ, 2008). Além da desertificação, também tem sido relatado regionalmente o estabelecimento de espécies exóticas invasoras propiciado pela degradação da vegetação natural, a exemplo da invasão da algarobeira nas planícies aluviais da Caatinga (NASCIMENTO, 2008).

Em termos de uso das terras para fins comerciais, observa-se, na região, a presença de áreas de agricultura intensiva, concentradas sobretudo nas ilhas do rio São Francisco e nos projetos de fruticultura irrigada, assim como a criação extensiva de caprinos, ovinos e bovinos, com emprego predominante de pastagens naturais.

3.3 Problemática dos cultivos ilícitos / Unidades espaciais de análise

A área em questão apresenta dados alarmantes no que diz respeito à pobreza, com mais da metade da população vivendo na pobreza absoluta, índice que atinge 80% no caso do município de Carnaubeira da Penha (IBGE, 2003). Considerando-se que a maior parte da população vive na pobreza absoluta e, portanto, sem acesso a uma cesta alimentar e nem a bens mínimos necessários à sua sobrevivência, é presumível que a atividade criminosa do cultivo e tráfico da *Cannabis sativa*, apesar de capitalizar as organizações criminosas, não tenha revertido em progresso para a população local. Ao invés disso, observam-se vários efeitos nocivos da ação criminosa para as comunidades locais na medida em que compromete seriamente as condições de segurança pública e prejudica a instalação de atividades lícitas. Por isso, a supressão desses plantios aliada a medidas que

visem estimular o desenvolvimento econômico regional são, conseqüentemente, condições básicas para viabilizar a melhoria de qualidade de vida da população.

É importante ressaltar ainda que os atuais investimentos na transposição do rio São Francisco justificam ações com o intuito de prevenir novos *hotspots* do crime em decorrência da expansão da rede de irrigação e ampliação das áreas potencialmente disponíveis para plantios ilícitos. Ademais, no contexto global, a crescente potência da droga, ocasionada pelo aumento do nível do princípio ativo *tetrahydrocannabinol* (THC) na planta (UNODC, 2009), também reforça a necessidade de medidas de contenção desse mercado.

A área de estudo, para fins de análise, foi dividida em três unidades de paisagem: Ilhas do rio São Francisco, Caatinga e Serras (Figuras 7 e 8). Essa estratificação coincide com as unidades informais de trabalho da Polícia Federal, denominadas frequentemente durante as operações de erradicação como ilhas, serras e continente. A decisão de estratificação da paisagem baseia-se na premissa de que, em função de condições específicas de suprimento de água, acesso e potencial de dissimulação, a distribuição dos plantios de *Cannabis sativa* nessas três unidades também irá apresentar padrões de distribuição diferenciados e passíveis de modelagem estatística.

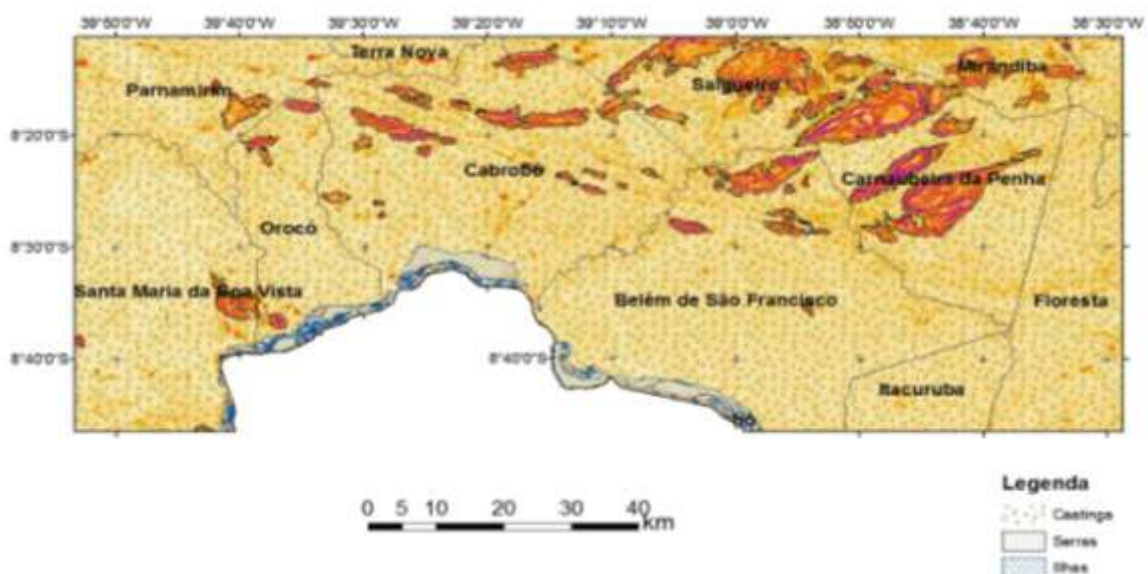


Figura 7: Unidades espaciais de análise da área de estudo: Ilhas fluviais do rio São Francisco, Caatinga e Serras.

Fonte: Mapa de declividade Topodata (VALERIANO, 2008) e Imagens SPOT 5 (Copyright CNES) processados pela pesquisadora.



(a)



(b)



(c)

Figura 8: Fotos a partir de helicóptero ilustrando o aspecto das unidades de paisagem Ilhas (a), Serras (b) e Caatinga (c).

Fonte: Polícia Federal (2008).

A caracterização dos atributos físicos das três unidades apresentada a seguir foi gerada a partir de consultas espaciais em ambiente SIG.

A unidade Caatinga possui extensão de 7.872 km² e, portanto, ocupa a maior parte da área de estudo. Essa unidade é caracterizada por áreas de terra firme com relevo predominantemente plano (até 3% de declividade) ou suave ondulado (3 a 8% de declividade). A altitude varia entre 300 metros a 660 metros, sendo que a maior parte da área apresenta altitude em torno de 380 metros.

A unidade Serras ocupa uma área de aproximadamente 833 km² e também situa-se em terra firme, porém, caracteriza-se pelas superfícies movimentadas, com relevo predominantemente ondulado (8 a 20% de declividade), forte ondulado (20 a 45% de declividade) e montanhoso (45 a 75% de declividade), com variação de altitude entre 560 metros a 950 metros. A unidade Ilhas ocupa aproximadamente 170 km² e é constituída pelas ilhas fluviais do rio São Francisco, em condições de relevo plano ou suave ondulado e altitude média de 320 metros.

Tabela 1. Comparativo das características físicas das unidades de paisagem Ilhas, Serras e Caatinga.

Fator/Unidades	Ilhas	Serras	Caatinga
Altitude média (m)	325	562	381
Altitude mínima (m)	304	347	304
Altitude máxima (m)	372	948	660
Declividade (% da área da unidade)			
0 - 3%	57,2%	0,2%	28,6%
3 - 8%	40,7%	4,1%	64,1%
8 - 20%	2,0%	42,2%	6,9%
20 - 45%	0	41,9%	0,4%
45 - 75%	0	10,6%	0
75 - 150%	0	1,1 %	0
Geomorfologia ⁽¹⁾	Várzeas e terraços aluviais	Serras e serrotes (62,9%); Pediplanos com problemas de sais e de drenagem (15,2%); Pediplanos avermelhados de textura média e argilosa (10,8%); Superfícies retrabalhadas (6,8%); Pediplanos arenosos (2,6%); Chapadas arenosas e chapadas baixas dissecadas (1,2%); Superfícies aplanadas (0,5%)	Pediplanos com problemas de sais e de drenagem (40,65%); Pediplanos avermelhados de textura média e argilosa (28,42%); Chapadas baixas dissecadas (13,01%); Várzeas e terraços aluviais (6,07%); Pediplanos arenosos (3,88%); Superfícies retrabalhadas (2,87%); Chapadas baixas pouco dissecadas (2,50%); Serras e serrotes (1,45%); Chapadas arenosas (0,92%); Superfícies aplanadas (0,23%)
Potencial Agroecológico das terras ⁽²⁾	Terras agricultáveis de bom potencial (67%); Terras agricultáveis de potencial restrito (33%)	Não indicadas para atividades agrícolas (59%); Pastagem natural (21%); Terras Agricultáveis de potencial restrito (13%); Terras agricultáveis de bom potencial (6,5%); Terras agricultáveis de potencial regular (0,5%)	Pastagem natural (46,5%); Terras agricultáveis de potencial restrito (46,2%); Terras agricultáveis de bom potencial (6,6%); Não indicadas para atividades agrícolas (0,7%)
Dominialidade	Terras públicas	Particulares e públicas	Particulares e públicas

⁽¹⁾ consultas espaciais em SIG a partir dos mapas do Zoneamento Agroecológico do estado de Pernambuco (EMBRAPA, 2000).

4 MATERIAL

4.1 Dados

Os dados empregados na pesquisa incluem dados levantados em campo, imagens digitais e dados cartográficos descritos a seguir.

4.1.1 *Dados de campo*

Dados de localização de cultivos de *Cannabis* foram coletados durante operações de erradicação de plantios ilícitos executadas pela Polícia Federal nos períodos de 05 a 17 de junho de 2007, 14 a 21 de maio de 2008 e 17 a 25 de maio de 2010, denominadas respectivamente de Operação Prometeu, Operação Colheita e Operação Liamba III. Dados referentes a cultivos ilícitos erradicados na operação policial Labareda, no período de 21 a 26 de novembro de 2007, disponibilizados pela Delegacia de Polícia Federal de Salgueiro, também foram utilizados como referência para a estação seca neste estudo. Todas as campanhas de campo contaram com o apoio de helicópteros. As coordenadas geográficas dos pontos visitados foram obtidas por meio de receptores GPS de navegação e foram omitidas neste trabalho por razões internas das instituições envolvidas. Dados sobre as condições gerais do cultivo e adjacências tais como espaçamento de plantio e altura das plantas foram registrados em uma planilha.

4.1.2 *Imagens digitais*

O conjunto de dados de sensoriamento remoto desta pesquisa foi composto por cenas do satélite SPOT 5 HRG de maio/2006; setembro/2006; maio/2007; julho/2007; novembro/2007; e maio/2008, obtidos com os seguintes modos de imageamento:

- Resolução espacial de 2,5 metros no modo pancromático super;
- Resolução espacial de 5 metros no modo pancromático normal;
- Resolução espacial de 10 metros no visível e no infravermelho próximo (bandas 1, 2 e 3, comprimentos centrais de 0,540 μm , 0,650 μm e 0,830

μm , respectivamente) e 20 metros na faixa do infravermelho de ondas curtas (banda 4, comprimento central de 1,630 μm).

Quadro 1. Características dos dados do satélite SPOT 5 utilizados neste estudo.

Cena	Res. (m)	Data	Processamento	Aplicações
723367 multispectral	10	21/05/06	NDVI	Análise temporal
		19/09/06	NDVI	Análise temporal
		31/05/07	NDVI	Análise temporal
		05/06/07	NDVI	Análise temporal
		01/07/07	NDVI	Análise temporal
			SVM	Mapa genérico de vegetação
		08/10/07	NDVI	Análise temporal
		03/11/07	NDVI	Análise temporal
05/05/08	NDVI	Análise temporal		
724367 multispectral	10	22/05/06	NDVI	Análise temporal
		18/09/06	NDVI	Análise temporal
		15/04/07	NDVI	Análise temporal
		31/05/07	NDVI	Análise temporal
			SVM	Mapa genérico de vegetação
			Classificação baseada em objetos	Detecção de feições
		05/06/07	NDVI	Análise temporal
		01/07/07	NDVI	Análise temporal
		14/10/07	NDVI	Análise temporal
			SVM	Mapa genérico de vegetação
Classificação baseada em objetos	Cobertura vegetal e uso do solo : _ modelagem <i>Fuzzy</i>			
03/05/08	NDVI	Análise temporal		
724367 pan	2,5	31/05/2007	Classificação baseada em objetos	Detecção de feições
724367 pan	2,5	14/10/2007	Classificação baseada em objetos	Cobertura vegetal e uso do solo : _ modelagem <i>Fuzzy</i>
725367 multispectral	10	19/10/07	SVM	Mapa genérico de vegetação

Fonte: Imagens SPOT 5 (*Copyright CNES*) processadas pela pesquisadora.

As imagens foram corrigidas adotando-se, como referência geométrica, as cenas de maio e julho de 2007. Para fins de análise espectral, as cenas multispectrais SPOT 5 também foram convertidas para valores de reflectância da superfície e do Índice de Vegetação da Diferença Normalizada - NDVI. As imagens

do SPOT 5 foram programadas pela estação de recepção SEAS-Guyane da Unidade de pesquisa *ESPACE-DEV* do IRD em Caiena, na Guiana Francesa. As datas de passagem foram selecionadas em função das programações de campo da Polícia Federal na área de estudo. As imagens foram processadas no nível 2A, que consiste na correção dos defeitos radiométricos provenientes de diferenças de sensibilidade entre os detectores individuais do sistema sensor e retificação das imagens para a projeção cartográfica padrão UTM WGS-84, sem pontos de apoio.

A série SPOT possui atualmente uma constelação de três satélites, possibilitando o acesso a qualquer ponto da superfície terrestre em menos de 24 horas (CAMPBELL, 2002; SPOT IMAGE, 2005). A carga útil de cada satélite SPOT é constituída de dois instrumentos óticos idênticos, de um gravador de dados e de um sistema de transmissão de imagens para as estações terrestres de recepção. No SPOT 5, o instrumento ótico de alta resolução (HRG) gera imagens com resoluções espaciais de 2,5 metros no modo pancromático super (processamento de duas imagens de 5 metros de resolução, adquiridas simultaneamente por um mesmo instrumento HRG), de 5 metros no modo normal e de 10 metros no modo multiespectral.

A faixa de imageamento do HRG é de 60 km ou de 120 km com a operação simultânea das duas câmeras. No entanto, este sensor é capaz de efetuar visadas oblíquas de até +/-27 graus. Neste caso, a orientação dos espelhos de cada instrumento é teleacionada a partir de estações terrestres, o que permite a aquisição de cenas em uma faixa de 900 km, aumentando a frequência de observação de um mesmo ponto durante um mesmo ciclo. Essa frequência varia em função da latitude. Na região do equador, uma mesma área pode ser observada sete vezes durante os 26 dias do ciclo orbital. A 45° de latitude, a frequência aumenta para 11 vezes durante o ciclo orbital.

4.1.3 Dados temáticos

A base de mapas temáticos empregada na pesquisa (Quadro 2) consistiu de dados cartográficos produzidos a partir da edição de dados primários levantados em campo e, também, a partir do tratamento e edição de dados cartográficos disponibilizados por institutos de pesquisa. Para fins de padronização, foi adotado o

datum WGS84 e a projeção UTM, Zona 24 Sul, efetuando-se as devidas conversões de dados provenientes de fontes externas, quando necessário.

Quadro 2. Base de mapas temáticos da área de estudo.

Dados	Descrição/Fonte
1. Mapas político-administrativos	Mapas vetoriais de limites municipais e unidades federativas do IBGE.
2. Plantios de <i>Cannabis sativa</i>	Vetor de pontos gerado a partir das coordenadas UTM dos plantios de <i>Cannabis sativa</i> levantadas em campo com emprego de receptores GPS durante operações de erradicação de plantios ilícitos.
3. Densidade de plantios	Raster de densidade de plantios elaborado a partir dos dados de localização dos plantios erradicados em maio de 2008 (Operação Colheita) com emprego do método Kernel (raio de busca de 5 km, células de 10 metros x 10 metros).
4. Modelo digital do terreno (MDT)	Raster de altimetria (células de 30,68 metros x 30,68 metros) da área de estudo gerado a partir da mosaicagem de dados Topodata (VALERIANO, 2008), derivados do modelo SRTM (USGS, 2004), tratado com técnicas de interpolação para preenchimento de vazios e suavização do relevo.
5. Drenagens	Vetor de drenagens gerado a partir do raster de altimetria (Item 4, Quadro 1). Para delineamento das drenagens, foi adotado o limiar mínimo de fluxo acumulado equivalente a 50. O fluxo acumulado é dado pelo somatório do número de células que contribuem para o escoamento em determinada célula (JENSON; DOMINGUE, 1988).
Drenagens de 1ª e 2ª ordem/Derivados distância e classes de distância	Vetor gerado a partir do vetor de drenagens anteriormente descrito mediante seleção das respectivas drenagens de 1ª e 2ª ordem. Raster de distância (células de 10 metros x 10 metros) gerado pelo método da mínima distância acumulada (<i>path distance</i> : distância com menor custo acumulado considerando-se a distância da superfície e a adoção do modelo digital do terreno como referência de nível). Para o raster de classes de distância (células de 10 metros x 10 metros) foram adotados os seguintes intervalos: 0-50 m; 50-100 m; 100-150 m; 150 -200 m; 200-871 m.
Grandes drenagens	Vetor de grandes drenagens gerado a partir do raster de altimetria (Item 4, Quadro 1). Para delineamento das drenagens, foi adotado o limiar mínimo de fluxo acumulado equivalente a 2.000. Raster de distância (células de 10 metros x 10 metros) gerado pelo método da mínima distância acumulada (<i>path distance</i> : distância com menor custo acumulado considerando-se a distância da superfície e a adoção do MDT como referência de nível). Para o raster de classes de distância (células de 10 metros x 10 metros), foram adotados os seguintes intervalos: 0-50 m; 50-100 m; 100-200 m; 200-300 m; 300-400 m; 400-500 m; 500-750 m; 750-1.000 m; 1.000-1.250 m; 1.250-1.500 m; 1.500-2.000 m; 2.000-2.614 m).
Espelhos d'água	Vetor de espelhos d'água gerado a partir de classificação de imagens SPOT 5 HRG com 10 metros de resolução e imagens SPOT 5 pancromáticas com 5 metros e 2,5 metros de resolução de julho/2007 e edição manual.
Canais de irrigação	Vetor com delineamento de canais de irrigação digitalizado a partir

	de interpretação visual de imagens SPOT 5 HRG com 10 metros de resolução de julho de 2007 e novembro de 2010.
Espelhos d'água e canais de irrigação/Derivados distância e classes de distância	Raster gerado a partir da união dos vetores espelhos d'água e canais de irrigação. Raster de distância (células de 10 metros x 10 metros) gerado pelo método da mínima distância acumulada (<i>path distance</i>) e adoção do MDT como referência de nível. Para o raster de classes de distância (células de 10 metros x 10 metros), foram adotados os seguintes intervalos: 0-100 m; 100-200 m; 200-300 m; 300-400 m; 400-500 m; 500-750 m; 750-1.000 m; 1.000-1.500 m; 1.500-3.000 m; e 3.000-14.560 m.
6. Declividade (%), classes de declividade	Raster de declividade em porcentagem 1 arco-segundo gerado para a área de estudo a partir da mosaicagem de dados de declividade Topodata (derivados do SRTM) tratado com técnicas de interpolação para preenchimento de vazios. Para o raster de classes de declividade, foram adotados os seguintes intervalos: 0-3%; 3-8%; 8-20%; 20-45%; 45-75%; >75% (células de 10 metros x 10 metros).
7. Forma do terreno	Raster de forma do terreno (células de 10 metros x 10 metros) gerado para a área de estudo a partir da mosaicagem de dados de forma de terreno Topodata (derivados do SRTM) tratado com técnicas de interpolação para preenchimento de vazios. Classes: 1 = convergente; 2 = planar; e 3 = divergente.
8. Orientação de vertentes	Raster de orientação de vertentes (células de 10 metros x 10 metros) gerado para a área de estudo a partir da mosaicagem de dados de forma de terreno Topodata (derivados do SRTM) tratado com técnicas de interpolação para preenchimento de vazios. Classes: 1 = N; 2 = NE; 3 = E; 4 = SE; 5 = S; 6 = SW; 7 = W; e 8 = NW.
9. Unidades geomorfológicas/Derivado tamanho de ilhas	Mapa (raster e vetor) de unidades geomorfológicas da área de estudo. Foram discriminadas as unidades Ilhas, Serras e Caatinga. A separação das áreas de serras e caatinga foi feita a partir dos dados de declividade e os limites das ilhas foram digitalizados a partir de interpretação visual de imagens SPOT 5 HRG com 10 metros de resolução e imagens SPOT 5 pancromáticas com 5 metros e 2,5 metros de resolução de julho de 2007. Para o raster de classes de tamanho de ilhas (células de 10 metros x 10 metros), foram adotados os seguintes intervalos: 0,2-0,5 ha; 0,5-1 ha; 1-5 ha; 5-10 ha; 10-50 ha; 50-100 ha; 100-250 ha; 250-500 ha; 500-1.000 ha; 1.000-4.443 ha.
10. Cobertura vegetal e uso do solo	Mapas (raster e vetor) gerados a partir de classificação de imagens SPOT 5 HRG com 10 metros de resolução e imagens SPOT 5 pancromáticas com 5 metros e 2,5 metros de resolução de maio/2007 e novembro/2007 e edição manual.
11. Acessos/Derivados: distância de acessos e classes de distância	Vetor com delineamento de estradas e caminhos secundários digitalizado a partir de interpretação visual de imagens SPOT 5 HRG com 10 metros de resolução. Raster de distância (células de 10 metros x 10 metros) gerado a partir do vetor de estradas gerado pelo método da mínima distância acumulada (<i>path distance</i>) e adoção do MDT como referência de nível. Para o raster de classes de distância (células de 10 metros x 10 metros), foram adotados os seguintes intervalos: 0-100 m; 100-200 m; 200-300 m; 300-400 m; 400-500 m; 500-750 m; 750-1.000 m; 1.000-1.500 m; 1.500-2.000 m; e 2.000-17.073 m.
12. Geomorfologia e Relevô	Zoneamento Agroecológico de Pernambuco (EMBRAPA, 2000).

13. Aptidão Agroecológica	Zoneamento Agroecológico de Pernambuco (EMBRAPA, 2000).
14. Pedologia	Zoneamento Agroecológico de Pernambuco (EMBRAPA, 2000).

Fonte: Dados de fontes diversas empregados na pesquisa.

4.2 Aplicativos de geoprocessamento

Foram utilizados os seguintes aplicativos de geoprocessamento:

- Arc/Info 10 e Arc/Info 9.3.1 e módulos de análises espaciais 3D Analyst, Spatial Analyst e Geostatistical Analyst da ESRI (ESRI, 2010);
- Módulo gratuito ArcSDM do software Spatial Analyst (SAWATZKY *et al.*, 2004);
- E-Cognition Developer 8.0 – 64 bits (TRIMBLE, 2011);
- ENVI 4.7 (ITT, 2009);
- ENVI FLAASH (ITT, 2009); e
- GPS Trackmaker Pro.

5 MÉTODOS

A estratégia geral empregada no desenvolvimento de metodologias de geoprocessamento para apoio operacional aos trabalhos de erradicação de cultivos ilícitos é esquematizada na Figura 9 e as etapas de trabalho são discutidas em detalhe nos itens subsequentes.

5.1 Caracterização do objeto de estudo: plantios ilícitos de *Cannabis sativa*

Neste trabalho, o termo *plantios ilícitos de Cannabis sativa* refere-se ao objeto no mundo real, correspondente às extensões de terra de dimensões variáveis, localizadas no semiárido pernambucano, destinadas à produção ilegal de *Cannabis sativa* a céu aberto. A presença de exemplares de *Cannabis sativa* é, portanto, a condição primordial para a constatação da existência de um cultivo ilícito, independentemente do estágio de crescimento das plantas, que podem variar de plântulas com dimensões inferiores a 10 cm até plantas maduras com altura superior a dois metros. Esses sítios de plantio ilegal são constituídos predominantemente por solo e plantas de *Cannabis sativa*, podendo também ocorrer a presença de outras espécies vegetais, nativas ou plantadas, de forma intercalada.

A caracterização dos plantios de *Cannabis sativa* foi elaborada a partir de dados coletados em campo e entrevistas com policiais. Contemplou a descrição das propriedades do objeto tais como área, espaçamento e tratos culturais, visando ampliar a compreensão das características intrínsecas e relacionais dessas plantações na área de estudo, como subsídio para as etapas subsequentes de modelagem espacial e classificação de imagens.

5.2 Modelo teórico da distribuição espacial dos plantios de *Cannabis sativa* no semiárido pernambucano

Partindo do princípio que as oportunidades para o crime não são uniformemente nem aleatoriamente organizadas no espaço e no tempo (RATCLIFFE, 2010) e que a seleção de um sítio para a implantação de cultivos ilícitos depende de uma conjunção de fatores que podem favorecer ou dificultar essa

atividade criminosa (FUNG ; POTTER, 1992), foi delineado um modelo teórico sobre o comportamento espacial dos plantios de *Cannabis sativa* no semiárido pernambucano com o intuito de descrever, de forma simplificada, a organização espacial do fenômeno e as relações existentes.

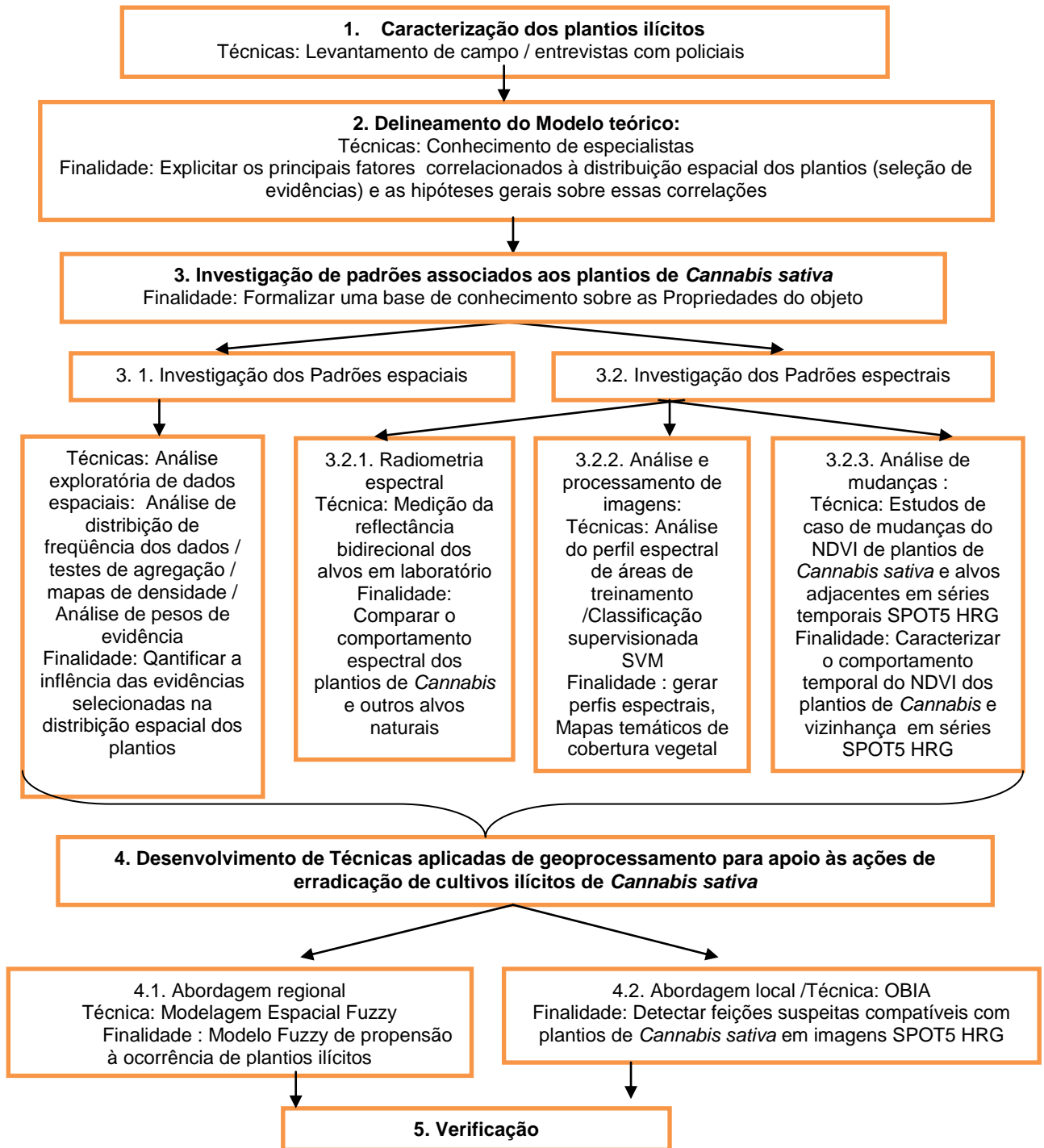


Figura 9: Estratégia geral de desenvolvimento de metodologias de geoprocessamento para apoio operacional aos trabalhos de erradicação de cultivos ilícitos de *Cannabis sativa* no semiárido pernambucano. Fonte: Dados da pesquisa

Segundo Christofletti (1999), a modelagem constitui procedimento teórico que tem por finalidade compor uma simplificação da realidade e descreve, como etapas da modelagem hipótetico-dedutiva, a construção de um modelo teórico *a priori*; a formulação de hipóteses a serem verificadas com as observações e coleta de dados; e a especificação das variáveis relevantes e coleta de dados para validação ou rejeição da teoria, que, se aceita, passa à categoria de leis ou, então, pode ser reformulada ou substituída por uma nova teoria, resultando em uma retroalimentação contínua entre teorias, hipóteses e leis. Segundo Câmara *et al.* (2004), as teorias desenvolvidas por especialistas, que incluem hipóteses gerais sobre o comportamento espacial dos dados, são a base para a formulação de modelos inferenciais quantitativos que podem ser submetidos a testes de validação, ajudando a legitimar ou refutar os conceitos qualitativos do modelo teórico.

O modelo teórico da distribuição espacial dos plantios de *Cannabis sativa* no semiárido é um modelo empírico e, como tal, se baseia na premissa de que os futuros cultivos ilícitos ocorrerão em condições similares aos cultivos já identificados no passado e utilizados como referência. Foi formulado a partir do conhecimento acumulado sobre o fenômeno dos plantios ilícitos no contexto da área de estudo em entrevistas com policiais, análise dos dados de campo e consulta à literatura. No modelo são explicitadas as variáveis correlacionadas à distribuição espacial dos plantios de *Cannabis sativa* consideradas relevantes e as hipóteses gerais sobre essas correlações. Esse modelo embasa a análise exploratória dos dados espaciais e a definição de regras para identificação de áreas mais ou menos vulneráveis ao estabelecimento dessa atividade criminosa na modelagem espacial e na classificação de imagens baseada em objetos.

Fung e Potter (1992), em estudo para desenvolvimento de um sistema especialista de predição de sítios potenciais de cultivo de *Cannabis sativa* em florestas nacionais da Geórgia, Estados Unidos, afirmaram que a seleção de um sítio de plantio pelos criminosos é governada por uma combinação de fatores relativos às condições ambientais para o desenvolvimento da planta (luminosidade, água, microclima, substrato, etc.) e, talvez, por fatores relativos à necessidade de dissimulação e acessibilidade. Eles exemplificaram o caso das florestas nacionais do país, que se tornaram particularmente atrativas para os plantadores de *Cannabis* por conjugarem condições como localização em áreas remotas, não populadas e livres

do escrutínio e que eventualmente ainda reúnem uma combinação de solo, água e clima que proporcionam excelentes condições para o crescimento da planta.

Da mesma forma, no semiárido pernambucano, é razoável supor que os criminosos busquem condições que sejam favoráveis ao desenvolvimento da *Cannabis* e que, ao mesmo tempo, minimizem os riscos de identificação e punição com vistas a assegurar a recompensa pela atividade criminosa. Partindo-se da hipótese que a seleção dos sítios pelos criminosos e, conseqüentemente, a distribuição dos plantios de *Cannabis sativa* na área de estudo sejam determinadas por uma conjunção de fatores relacionados às estratégias espaciais empregadas pelos plantadores; às exigências agronômicas da planta; à disponibilidade de acessos; e a fatores externos como precipitação e intensidade de repressão policial, o modelo teórico *a priori* foi expresso pela seguinte equação:

$$P = f (E, A, Ac, Ex) \quad (9)$$

onde: P = propensão à ocorrência de plantios ilícitos; E = fator relacionado às estratégias dos criminosos; A = fator relacionado às exigências agronômicas da planta; Ac = fator relacionado às condições de acesso; e Ex = fator externo.

A partir desse modelo, procedeu-se à prospecção de variáveis geográficas correlacionadas respectivamente aos fatores estratégicos, agronômicos, de acesso e externos que pudessem ser empregadas para inferir sobre a propensão de determinado sítio ao estabelecimento de um plantio ilícito de *Cannabis sativa*. O conhecimento acumulado sobre o fenômeno serviu como base para a formulação das hipóteses gerais sobre possíveis associações dessas variáveis com a distribuição dos plantios ilícitos para posterior investigação. A seguir são discutidos sucintamente os fatores explicitados no modelo:

5.2.1 Fatores associados às estratégias dos plantadores

Foram considerados fatores estratégicos aqueles adotados pelos plantadores com a finalidade de reduzir o risco de punição por implicar em maior dificuldade de identificação dos plantios de *Cannabis sativa* ou que visem reduzir as despesas e/ou ampliação das receitas para maximizar a recompensa pela atividade criminosa.

5.2.1.1 Isolamento/camuflagem

Estratégias de isolamento e camuflagem são empregadas pelos criminosos em decorrência da necessidade de ocultar a atividade ilícita de terceiros e, principalmente, para reduzir os riscos de identificação e erradicação dos plantios pelas forças policiais e os riscos de punição dos envolvidos na atividade. Os padrões de isolamento e camuflagem foram investigados a partir dos levantamentos de campo e entrevistas com policiais.

5.2.1.2 Fatores agronômicos

Foram considerados aqueles fatores relacionados às condições intrínsecas do sítio, necessárias para o desenvolvimento adequado das plantas de *Cannabis sativa*. Conforme mencionado na literatura, o desenvolvimento da *Cannabis sativa* está relacionado às condições do substrato para o crescimento das raízes, luminosidade, nutrientes e irrigação adequada (CLARKE, 1981), e esses e outros itens são discutidos a seguir, considerando-se as particularidades da área de estudo.

a) Água

Especificamente no semiárido brasileiro, a água é um fator crítico para a instalação dos plantios de *Cannabis sativa* visto que, na região, obrigatoriamente são empregadas práticas de irrigação para suprir a demanda de água da cultura e compensar as condições pluviométricas desfavoráveis.

b) Luminosidade

Partindo-se do pressuposto de que as condições de luminosidade em um sítio são determinadas pela latitude, altitude e relevo, mas que localmente os fatores latitude e altitude não produzem variações significativas; as variáveis selecionadas para inferir sobre as condições de iluminação foram, respectivamente, os atributos associados à declividade, forma do relevo e orientação de vertentes.

c) Substrato

Além da água, os outros fatores pedológicos considerados na avaliação da aptidão agrícola das terras pelo sistema FAO/Brasileiro são: nutriente, oxigênio,

impedimento a mecanização e susceptibilidade a erosão (RAMALHO FILHO; BEEK, 1995).

5.2.1.3 Fator relacionado às condições de acesso do sítio

Esse fator está relacionado à existência de caminhos naturais ou artificiais que possibilitem o acesso às lavouras para execução das atividades de implantação, manutenção, colheita e escoamento da droga.

5.2.1.4 Fatores externos

Serão considerados fatores externos aqueles que podem favorecer ou restringir a ocorrência de plantios de *Cannabis sativa* em determinado local e em determinado momento, mas que se tratam de fenômenos intrinsecamente dinâmicos e de difícil previsibilidade, não passíveis de controle objetivo pelo criminoso. Os fatores assim classificados foram a precipitação e repressão policial. Os respectivos fatores, devido à sua influência significativa na área plantada com *Cannabis sativa* foram explicitados no modelo teórico (Eq. 7) e foram objeto de análise preliminar, porém, devido às dificuldades de mensurar relações do tipo causa e efeito, não serão contemplados na modelagem espacial desenvolvida nesta tese.

a) Precipitação/repressão policial

No bioma Caatinga, em função do clima semiárido que apresenta estação seca longa e irregular, com taxas de evaporação (E) sempre muito mais elevadas que as taxas de precipitação (P) e com a relação P/E nunca alcançando o valor 1, a água atmosférica é o fator primordial de distribuição da vegetação natural (RIZZINI, 1997). Neste cenário de clima semiárido e considerando-se a intolerância das plantas de *Cannabis sativa* a condições de deficiência hídrica, a precipitação é um fator que também influencia na possibilidade de estabelecimento e desenvolvimento dos plantios de *Cannabis sativa*. Por sua vez, a repressão policial pode desestimular a instalação dos plantios uma vez que as ações de erradicação aumentam o risco de punição dos envolvidos e descapitalizam os criminosos.

Para avaliação preliminar da influência da precipitação e das ações de repressão policial na ocorrência de plantios ilícitos foram analisados,

respectivamente, dados pluviométricos e documentos internos da Polícia Federal sobre as ações de erradicação.

b) Outros fatores

Outros fatores como, por exemplo, situação dominial das terras, condições sociais e área de atuação dos criminosos também podem afetar a distribuição espacial dos plantios de *Cannabis sativa* na região porém não foram incluídos no modelo devido às razões apresentadas a seguir:

A questão dominial, embora possa afetar significativamente a distribuição dos plantios, não foi diretamente avaliada neste estudo devido à inexistência de um cadastro fundiário completo e fidedigno da área analisada, disponível para uso nesta pesquisa. Indiretamente, esse fator foi parcialmente avaliado ao estratificar a paisagem e analisar separadamente as áreas de ilhas do rio São Francisco. É que as ilhas fluviais são consideradas, por previsão legal, bens da União, condição que pode impactar a concentração de plantios nessa unidade devido ao menor risco de punição dos envolvidos na atividade ilegal.

Em referência aos fatores sociais, embora esses também possam exercer influência significativa na presença e distribuição de plantios ilícitos, foram desconsiderados nesta análise partindo-se do pressuposto que a área de estudo não apresenta variações sociais significativas. Todavia, principalmente para modelos preditivos em escalas regionais ou globais, variáveis sociais como renda da população, educação, entre outros, poderiam ser incorporadas a modelos de predição de áreas vulneráveis ao estabelecimento de plantações ilícitas voltadas à produção de droga. Também é razoável pensar em área de atuação dos criminosos, visto que é frequente a renovação dos plantios no mesmo local ou em áreas próximas a plantios anteriores. Entretanto, por falta de um maior conhecimento sobre essa possível relação, esse fator também não será objeto de análise quantitativa nesta primeira aproximação.

5.3 Investigação dos padrões associados aos plantios de *Cannabis sativa*

Após a definição do modelo teórico foram investigados padrões espaciais e espectrais associados aos plantios de *Cannabis sativa* com o intuito de gerar uma

base de conhecimento como subsídio para as etapas posteriores de modelagem espacial e de classificação de imagens baseada em objetos. A investigação dos padrões espectrais buscou caracterizar o comportamento espectral dos plantios de *Cannabis* e alvos vizinhos, em campo e em imagens SPOT5 HRG, e a investigação dos padrões espaciais foi orientada para quantificar a influência das evidências selecionadas na distribuição espacial dos plantios. A metodologia empregada nesta etapa é detalhada a seguir.

5.3.1 Investigação dos padrões espectrais

No período de 12 a 23 de maio de 2008, folhas de plantas (*Cannabis* e outras culturas comerciais) e de solos preparados para plantio ou provenientes de áreas de cultivos de *Cannabis* foram amostradas para medições espectrais com o radiômetro *FieldSpec* do Instituto de Estudos Avançados da Aeronáutica (IEAv).

5.3.1.1 Radiometria espectral

As medições da reflectância bidirecional dos alvos foram efetuadas em laboratório móvel montado durante a operação. O material vegetal coletado foi acondicionado em plásticos e resfriado em recipiente com gelo, para preservação das condições fisiológicas das folhas. Os alvos foram colocados sob uma fonte luminosa padrão e com o sensor do radiômetro fixo na posição vertical. Foram tomadas medidas de radiância de uma placa de referência e, em seguida, dos alvos. A reflectância dos alvos foi calculada posteriormente usando-se o fator de calibração da placa. Medições em campo não foram realizadas devido às condições meteorológicas desfavoráveis.

O *FieldSpec* possui 2.151 bandas espectrais na faixa de 0,35 μm a 2,5 μm , cobrindo, portanto, a região do visível, infravermelho próximo e infravermelho de ondas curtas. A largura das bandas é de 3 nm na faixa entre 350 e 1000 nm e de 10 nm na faixa que vai de 1.000 a 2.500 nm.

5.3.1.2 Análise de imagens

A análise espectral contemplou a calibração radiométrica das imagens, classificação supervisionada das imagens SPOT 5 HRG para produção de mapas

temáticos de cobertura vegetal e análises do NDVI e suas variações temporais, conforme detalhado a seguir.

a) Calibração radiométrica

Os dados SPOT 5 foram corrigidos para os efeitos da atmosfera com o intuito de possibilitar a generalização de parâmetros espectrais extraídos da imagem no espaço e no tempo, visto que, para tanto, é necessário que os dados multitemporais estejam em uma mesma escala radiométrica relativa (SONG *et al.*, 2001; JENSEN, 2005; HOULES; EL HAJJ; BEGUE, 2006; SCHROEDER *et al.*, 2006; EL HAJJ *et al.*, 2008). A correção atmosférica relativa ou absoluta tem sido considerada mandatória para a comparação de séries temporais de imagens (SONG *et al.*, 2001; JENSEN, 2005; EL HAJJ *et al.*, 2008) e, neste trabalho, foi aplicada a correção atmosférica absoluta das imagens SPOT 5 mediante o emprego de aplicativo de correção atmosférica baseada no código de transferência radiativa MODTRAN-4 (*Moderate Resolution Transmittance*).

b) Classificação supervisionada das imagens mediante técnicas SVM

A análise de imagens contemplou a seleção de amostras espectrais representativas dos diferentes alvos presentes na área de estudo, comparação do comportamento espectral dos alvos por meio de análise dos respectivos perfis espectrais e estatísticas relacionadas e classificação supervisionada das imagens com emprego de SVM.

SVM são mecanismos de inteligência artificial desenvolvidos para solucionar problemas de reconhecimento de padrões, que separam as classes com uma superfície de decisão, denominada hiperplano ótimo, que maximiza a margem entre as classes (SHAFRI; RAMLE, 2009). Souza, Teixeira e Silva (2009) demonstraram melhor desempenho de SVM na classificação da cobertura vegetal da Caatinga a partir de imagens LANDSAT em comparação aos classificadores paramétricos tradicionais.

A classificação teve por objetivo discriminar as classes genéricas relacionadas no Quadro 3 a partir de dados SPOT 5. Cenas SPOT 5 de julho e outubro de 2007 foram empregadas para confecção de um mapa geral da área por não apresentarem nebulosidade significativa, enquanto uma cena de maio de 2007 foi classificada com a finalidade de validação da metodologia de detecção

automática de plantios de *Cannabis sativa*. Embora a cena de maio tenha apresentado elevada cobertura de nuvens (aproximadamente 26% da área analisada) ela foi adquirida previamente à operação policial de erradicação conduzida em junho de 2007, condição que possibilitou seu emprego na validação da metodologia. Previamente à classificação dessa cena, foi aplicada máscara para exclusão das áreas com nuvens e sombras. Na classificação foram mantidos os parâmetros pré-definidos pelo aplicativo de processamento de imagens ENVI.

Quadro 3. Classes genéricas discriminadas com emprego de *Support Vector Machine* e respectivos alvos.

Classes	Principais Tipos de Alvos Incluídos na Classe
Muito alta biomassa	Florestas
Alta biomassa	Caatinga Florestada/áreas agrícolas cultivadas
Média Biomassa	Caatinga Arborizada/áreas agrícolas cultivadas/pasto plantado
Baixa Biomassa	Caatinga parque/pasto plantado
Muito baixa biomassa	Caatinga gramíneo-lenhosa/pastos naturais e plantados degradados
Irigadas	Lavouras agrícolas irrigadas/vegetação higrófila
Água	Rios, açudes e lagoas
Solo	Solo exposto

Fonte: Dados da pesquisa.

c) Análise das variações temporais do NDVI

O NDVI foi empregado para comparar os sítios de plantio de *Cannabis sativa* e a vegetação circundante e quantificar diferenças em séries temporais. O índice foi calculado usando a equação $NDVI = (\rho_{NIR} - \rho_{red}) / (\rho_{NIR} + \rho_{red})$ onde ρ_{NIR} and ρ_{red} são, respectivamente, os valores de reflectância da superfície respectivamente para as bandas 3 e 2 do sensor multiespectral SPOT 5. Índices de vegetação têm sido usados para estudos de dinâmica da vegetação e monitoramento de safras, inclusive a detecção de anomalias (EL HAJJ *et al.*, 2008). O NDVI é considerado particularmente útil para o monitoramento de atividade fotossintética e para comparações de variações sazonais e interanuais (RATANA; HUETE; FERREIRA, 2005; PONZONI; SHIMABUKURO, 2007).

Neste estudo, a análise teve por objetivo principal identificar e quantificar diferenças observadas nos valores mensais e na variação temporal do NDVI entre os plantios ilícitos de *Cannabis sativa* e as fisionomias naturais assim como avaliar a significância estatística dessas diferenças.

5.3.2 *Investigação dos padrões espaciais*

A análise espacial foi conduzida com o intuito de quantificar possíveis padrões sistemáticos de distribuição dos plantios de *Cannabis sativa* na área de estudo associados a variáveis descritivas selecionadas. Os resultados dessa análise foram usados para subsidiar a definição da importância relativa de cada evidência no modelo espacial de predição da propensão à ocorrência de plantios de *Cannabis sativa*. Consistiu em análises estatísticas dos dados de localização dos plantios e mapas temáticos de evidências selecionadas em ambiente SIG, incluindo: análise de distribuição de frequência, testes de agregação, análise de densidade e análise de pesos de evidência. Foram empregadas, como áreas de treinamento, as coordenadas de plantios ilícitos erradicados durante as Operações Prometeu em 2007, Colheita em 2008 e Liamba em 2010. Para avaliar a tendência ao agrupamento ou dispersão dos plantios nas unidades de paisagem Ilhas, Serras e Caatinga, foi empregado o teste de análise estatística da distância média do vizinho mais próximo.

O índice calculado pelo aplicativo ArcGIS mensura a distância entre cada centróide e o centróide mais próximo e calcula a média de todas essas distâncias. Se o valor resultante for inferior ao valor esperado para a distribuição aleatória, a distribuição dos pontos é considerada agregada. Opostamente, se a distância média for superior à esperada com a distribuição aleatória hipotética, as feições são consideradas dispersas. O índice é expresso como a razão da distância observada pela distância esperada para uma distribuição aleatória com o mesmo número de amostras na área total. Se o valor resultante é inferior a 1, o padrão exhibe agrupamento e, se for superior a 1, a tendência é de dispersão. Neste teste, o valor z (z score) é uma medida de desvio-padrão e o valor P é uma aproximação da área abaixo da curva de distribuição normal, que corresponde à probabilidade de rejeitar indevidamente a hipótese de nulidade.

Para avaliar visualmente se a distribuição dos plantios na área de estudo é aleatória ou se obedece a algum padrão, foram gerados mapas de densidade a partir dos dados de localização dos plantios. Foi empregado o método da densidade Kernel que, segundo Chainey, Tompson e Uhlig (2008), apresentou resultados consistentemente superiores para predição de crimes em comparação às técnicas

de mapeamento de *hotspots* por meio de pontos, mapeamento de *hotspots* por áreas geográficas delimitadas (municípios, bairros), elipses espaciais e mapeamento de *hotspots* em grades (pesos das células associados ao quantitativo de crimes).

A densidade de pontos foi calculada separadamente para as unidades de paisagem Ilhas, Serras e Caatinga com emprego do aplicativo *Spatial Analyst*, considerando um raio de 5 km. A densidade Kernel calcula a densidade de pontos na vizinhança de cada célula do raster e assume o valor máximo na localidade do ponto e diminui até atingir o valor zero na distância determinada para o raio de busca. A densidade resultante em cada célula é calculada pela soma dos valores de todas as superfícies Kernels que se sobrepõem.

Com o objetivo de quantificar possíveis relações entre a localização dos plantios e as variáveis preditivas selecionadas, foram conduzidas análise de pesos de evidências. Os resultados da análise de pesos de evidência foram empregados para estimar como fatores geográficos selecionados, as evidências, podem controlar a configuração espacial dos sítios de plantio da *Cannabis sativa* na área de estudo. Os valores de peso (W^+ e W^-) e contraste (C) subsidiaram a prospecção de possíveis padrões de distribuição dos plantios ilícitos. Ou seja, os valores de W^+ e W^- indicam as classes em que a probabilidade *a posteriori* é significativamente maior ou menor que a probabilidade *a priori* e, com isso, permitem identificar padrões associados a alta ou baixa ocorrência dos plantios ilícitos.

No cálculo dos pesos de evidência foi empregado o aplicativo ArcSDM do *software* Spatial Analyst (SAWATZKY *et al.*, 2004). Para as evidências envolvendo intervalos como distâncias ou áreas foi selecionado o método cumulativo, ascendente ou descendente, e para as evidências com classes mutuamente exclusivas foi selecionado o método categórico.

Os dados empregados nesta análise consistiram nos dados de localização dos plantios e mapas temáticos das evidências selecionadas, que são relacionadas no Quadro 4.

5.4 Desenvolvimento de Técnicas aplicadas de geoprocessamento para apoio às ações de erradicação de cultivos ilícitos de *Cannabis sativa*

A metodologia de apoio operacional às ações de erradicação de cultivos ilícitos desenvolvida neste trabalho integra uma abordagem regional, a modelagem espacial da propensão à ocorrência de plantios ilícitos de *Cannabis sativa* na região do semiárido pernambucano, e uma abordagem local, de metodologia de mapeamento semiautomatizado das feições resultantes dessa atividade criminosa em imagens SPOT 5 HRG.

Quadro 4. Resumo dos fatores avaliados mediante análise de peso de evidência.

Unidade	Fator avaliado	Parâmetro de avaliação
Ilhas	Disponibilidade de terras desocupadas/isolamento	Tamanho da ilha
Caatinga	Disponibilidade de água	Distância de grandes drenagens
		Distância de canais e barragens
		Distância de drenagens de 1ª e 2ª ordem (períodos chuvosos)
	Acesso	Distância estradas e caminhos
	Potencial agrícola/Substrato	Declividade
		Forma de relevo
Orientação de vertentes		
Isolamento/Camuflagem	Cobertura vegetal e uso do solo	
Serras	Disponibilidade de água	Distância de drenagens (situadas nas serras)
	Acesso	Distância estradas e caminhos
	Potencial agrícola	Declividade
		Forma de relevo
		Orientação de vertentes
Isolamento / Camuflagem	Cobertura vegetal e uso do solo	

Fonte: Dados da pesquisa.

5.4.1 Abordagem regional - Modelagem espacial da propensão à ocorrência de plantios ilícitos

Para fins de modelagem, foram ajustadas funções de pertinência *fuzzy* para quantificar a associação entre a distribuição dos plantios ilícitos e os fatores distância da hidrografia e espelhos d' água, distância de estradas, e uso e cobertura do solo na unidade caatinga e tamanho na unidade ilha.

A pertinência *fuzzy* para o plano de informação Dimensões das ilhas foi definida com base na função *Small* do aplicativo ArcSDM indicada quando os valores baixos são os mais compatíveis com o conjunto *fuzzy*. Essa função foi selecionada para representar que as ilhas com menor superfície são mais propensas à ocorrência de plantios de *Cannabis sativa*. A modelagem da propensão nas ilhas baseou-se neste único critério e, por esse motivo, é considerada apenas uma modelagem preliminar que requer aprimoramento futuro com integração de dados de maior resolução espacial.

A pertinência *fuzzy* dos mapas de distância de fontes de água também foi definida com base na função *Small* do aplicativo Arc-SDM. Essa função foi selecionada para representar que as áreas situadas nas proximidades das fontes de água são mais propensas à ocorrência de plantios de *Cannabis sativa*. Adicionalmente, com o intuito de quantificar a maior ou menor influência dos diferentes tipos de drenagens na distribuição dos plantios no processo de modelagem, foram aplicados fatores redutores estimados a partir da comparação dos valores máximos dos pesos de evidência obtidos para cada tipo de fonte de água. Por este motivo, o mapa de propensão para espelhos d' água manteve seus valores originais, enquanto os mapas de propensão *fuzzy* para as grandes drenagens e drenagens temporárias foram divididos respectivamente pelos fatores 2 e 3. Os mapas assim definidos foram cruzados mediante o operador *fuzzy* "OR", gerando o mapa de pertinência *fuzzy* para o fator disponibilidade de água, considerando-se os dados gerados para o período chuvoso no ano de 2007. A combinação dos planos de informação relativos à disponibilidade de água com o operador *fuzzy* OR baseou-se na percepção de que uma única fonte de água disponível é suficiente para permitir a implantação de um plantio de *Cannabis sativa*.

A pertinência *fuzzy* das classes de cobertura vegetal e uso do solo foi dividida em grupos categóricos em que foram atribuídos valor máximo para as classes de cobertura vegetal natural de alta e média biomassa, valor intermediário para as classes de cobertura vegetal natural de baixa biomassa e valor mínimo para as áreas antropizadas (Tabela 2). O mapa de cobertura vegetal e uso do solo utilizado como base para gerar a respectiva pertinência *fuzzy* foi produzido a partir da classificação da cena SPOT5 724367 de 14/10/2007 devido a ausência de nebulosidade.

Tabela 2. Pertinências *fuzzy* atribuídas às classes de uso e cobertura do solo.

Uso e Cobertura	Pertinência <i>Fuzzy</i>
Floresta	1
Caatinga Florestada	1
Caatinga Arborizada	1
Caatinga Parque ou Pasto	0,3
Caatinga Gramíneo-lenhosa ou pasto degradado	0,3
Outros usos	0,1
Área antropizada	0

Fonte: Dados da pesquisa.

A pertinência *fuzzy* dos planos de informação distância de acessos foi definida com base na função linear do aplicativo ArcSDM que atribui uma variação linear do grau de pertinência *fuzzy* entre 0 e 1, para os valores situados respectivamente entre os limiares mínimo e máximo definidos pelo especialista. Com intuito de ponderar a importância da evidência distância de acessos na modelagem, o mapa de pertinência *fuzzy* foi dividido pelo fator 3.

Os mapas de pertinência *fuzzy* gerados para as evidências distância de água, uso e cobertura do solo, e acessos foram então combinados com o emprego do operador *Fuzzy Sum*, ou Soma Algébrica *Fuzzy*, resultando no mapa de propensão à ocorrência de plantios ilícitos na unidade Caatinga. Esse operador foi selecionado a partir da percepção que a combinação das evidências do modelo é mais importante para definir o grau de propensão à ocorrência de plantios ilícitos, que os fatores isoladamente. Dessa forma, a combinação dos mapas de pertinência *fuzzy* mediante o emprego de operadores da lógica *fuzzy* permitiu espacializar o grau de propensão à ocorrência de plantios ilícitos na área de estudo mediante valores variando entre 0 (área sem propensão ao plantio de *Cannabis sativa*) e 1 (área propensa ao plantio de *Cannabis sativa*) com valores intermediários denotando diferentes graus de propensão ao plantio de *Cannabis sativa*. A sequência de operações *fuzzy* executada para o mapeamento da propensão à ocorrência dos plantios de *Cannabis sativa* no semiárido pernambucano é ilustrada na Figura 10.

5.4.2 Abordagem local - Metodologia de detecção de feições suspeitas por classificação baseada em objetos

A classificação de imagens baseada em objetos permite empregar, além das informações espectrais, características intrínsecas dos objetos como tamanho e forma, informações de contexto como vizinhança, assim como permite a integração de diferentes camadas de informação tais como mapas temáticos e/ou modelos digitais do terreno (NUSSBAUM; MENZ, 2008).

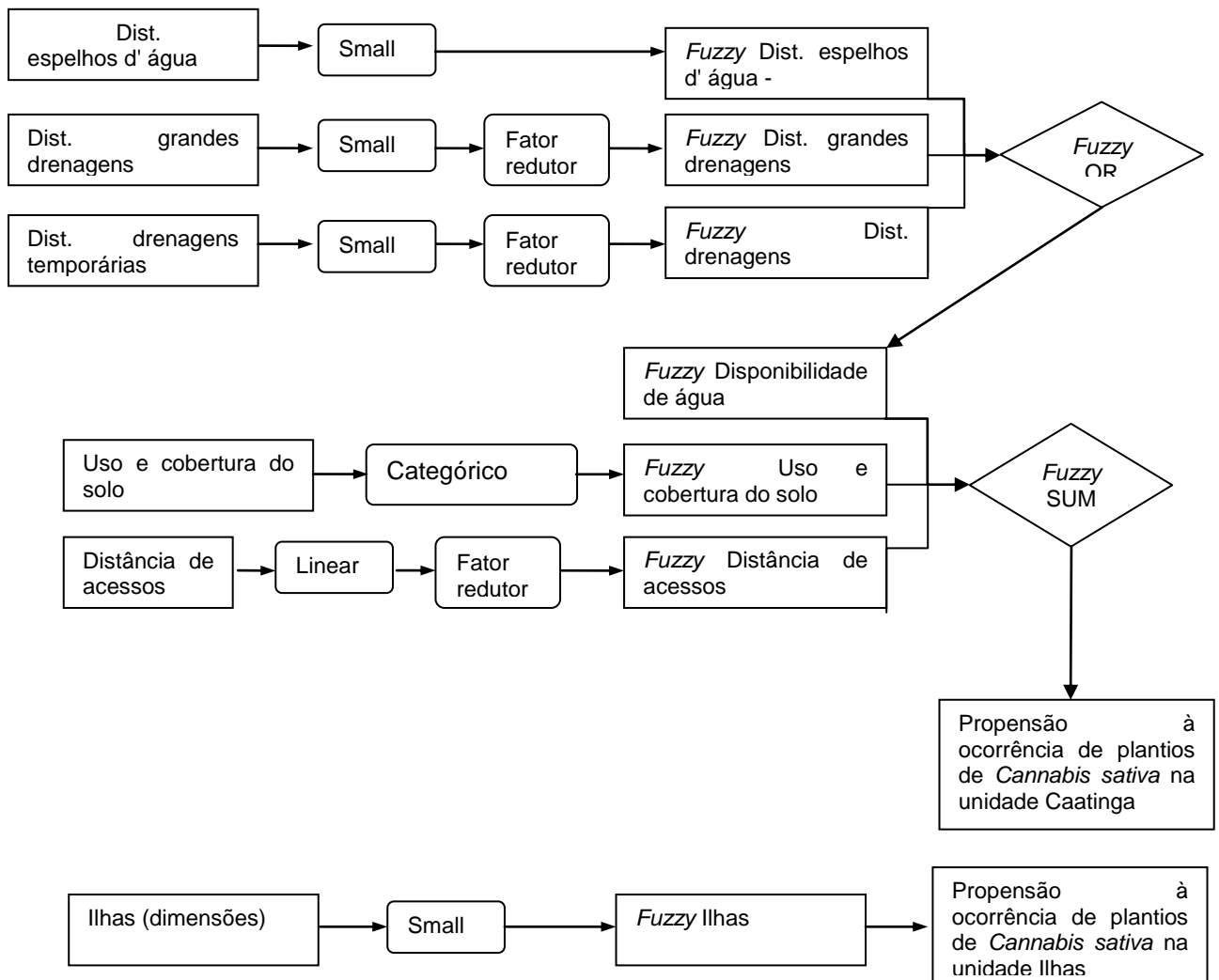


Figura 10: Fluxograma da modelagem da propensão à ocorrência dos plantios de *Cannabis sativa* no semiárido pernambucano.

Fonte: Dados da pesquisa.

As etapas da classificação baseada em objetos incluem a segmentação dos dados de entrada e a definição da hierarquia de classificação em que são explicitadas as classes semânticas relevantes para o mapeamento das feições de cultivos de *Cannabis*, os respectivos descritores, e as relações entre as classes.

Neste trabalho, a classificação teve por objetivo mapear feições em imagens SPOT 5 compatíveis com os padrões espaciais e espectrais assumidos pelos plantios de *Cannabis sativa* no semiárido pernambucano. Nesse processo, é empregado o conhecimento acumulado sobre as características intrínsecas e relacionais dos cultivos de *Cannabis sativa* na área de estudo.

Para a classificação, foi empregado o aplicativo *E-cognition Developer* e respectivo algoritmo de segmentação multiresolução. Essa segmentação emprega a técnica do crescimento de regiões e inicia com um pixel constituindo um objeto. À cada etapa, um par de objetos da imagem é agrupado em um objeto maior, baseado em critérios de homogeneidade que descrevem a similaridade de objetos adjacentes. O processo finaliza quando não há mais objetos a agrupar (BAATZ; SCHÄPE, 2000). Com a segmentação, são calculados os atributos espectrais, espaciais e relacionais dos objetos para uso no processo de análise de imagens e na definição das regras de classificação.

O algoritmo de classificação do *E-cognition Developer* usa descritores de classe para classificar os objetos e, conforme o grau de pertinência calculado, é selecionado o melhor ajuste da classe. Os descritores definem as características dos objetos a serem classificados e, no caso específico dos plantios ilícitos, tiveram por objetivo descrever padrões espectrais, geometria e contexto, tais como: dimensões máximas, relações de vizinhança com fitofisionomias e água, posição topográfica, entre outros. Os descritores podem ser definidos por funções de pertinência baseadas em lógica *fuzzy* ou mediante a definição de limiares fixos (*thresholds*) de inclusão ou não de um objeto em determinada classe. É necessário definir a função de pertinência à qual serão associados os valores de cada atributo e os parâmetros que serão empregados para determinar o grau de pertinência de cada segmento a cada classe.

A sequência de procedimentos adotada na classificação é detalhada a seguir.

a) Camadas de entrada

Os dados de entrada para a segmentação e classificação foram constituídos por imagens multiespectrais SPOT 5 com resolução de 10 m, imagem pancromática SPOT 5 com resolução de 2,5 m, mapa de classes de cobertura vegetal gerado mediante classificação supervisionada SVM, NDVI, declividade, rasters de distância

das fontes de água, distância de acessos, mapa de áreas antropizadas e máscara de nuvens e sombras.

Optou-se por adicionar as camadas pancromáticas e multiespectrais separadamente devido a ganhos de desempenho computacional quando comparado ao emprego de arquivos de imagens multiespectrais fusionadas com bandas de alta resolução. Nos experimentos realizados no decorrer da pesquisa, apesar do ganho de tempo de processamento, não houve perda de qualidade nos segmentos para a finalidade do trabalho.

A informação espectral foi privilegiada ao se integrar o resultado da classificação SVM o que permite a separação mais eficiente dos alvos, e em particular neste estudo, dos tipos de vegetação. Esse artifício ainda possui a vantagem de reduzir tempo de processamento ao substituir, no processo de segmentação e classificação, as quatro bandas de reflectância, com dimensões aproximadas de 400 megabytes com valores dos pixels variando entre -1155 e +2104, por uma camada única com nove classes e dimensões de 98 megabytes.

b) Segmentação

Após testes de segmentação, optou-se por empregar o algoritmo de segmentação multiresolução com a manutenção dos parâmetros padrão da segmentação (fator de escala 10; forma 0,1; compacidade 0,5) que, conforme avaliação visual, produziram segmentos de tamanho compatível com a delimitação dos plantios ilícitos. Os pesos atribuídos às camadas de entrada na segmentação são resumidos na Tabela 3.

Os maiores pesos foram atribuídos à imagem pancromática de alta resolução e à camada com o NDVI. O maior peso da imagem pancromática teve por intuito privilegiar a informação espacial da imagem de alta resolução, contribuindo para a melhor definição dos limites dos objetos, ao passo que o maior peso da camada de NDVI teve por objetivo privilegiar a informação espectral e favorecer a separação mais acurada das classes de vegetação, contribuindo para a obtenção de resultados mais acurados na classificação.

c) Regras

As regras tiveram por objetivo separar a cobertura vegetal e uso do solo da área de estudo nas seguintes classes semânticas: Floresta montana, Caatinga

florestada, Caatinga arborizada, Caatinga parque ou pasto, Caatinga gramíneo-lenhosa ou pastagens naturais degradadas, Áreas antropizadas, solo exposto, lâminas d' água e áreas de alerta para possíveis plantios de *Cannabis sativa*. A separação das áreas antropizadas usou, como referência, a camada vetorial de áreas antropizadas.

Tabela 3. Peso de cada camada na segmentação.

Camada	Descrição	Peso
1	SPOT 5 HRG – banda 1 - 10 m	1
2	SPOT 5 HRG – banda 2 - 10 m	1
3	SPOT 5 HRG – banda 3 - 10 m	1
4	SPOT 5 HRG – banda 4 - 10 m	1
5	NDVI	2
6	SPOT 5 PAN - 2,5 m	2
7	Declividade	0
8	Classes SVM	1
9	Distância espelhos d' água	0
10	Distância grandes drenagens	0
11	Distância drenagens temporárias	0
12	Vetor de áreas antropizadas	sim
13	Vetor - máscara de nuvens e sombras	sim

Fonte; Dados da pesquisa.

Para separação das fisionomias naturais, foi empregado o atributo classe de cobertura vegetal da classificação SVM, assumindo-se que as fisionomias da Caatinga: Floresta Montana (Estacional), Caatinga Florestada, Caatinga Arborizada, Caatinga Parque e Caatinga gramíneo-lenhosa apresentam conteúdo decrescente de biomassa. Portanto, adotou-se, respectivamente, a equivalência dessas fisionomias às seguintes classes da classificação SVM: muito alta biomassa, alta biomassa, média biomassa, baixa biomassa e muito baixa biomassa. Além da biomassa, foram empregados os atributos de restrição para áreas antropizadas (camada vetorial auxiliar) e de área mínima. O atributo área teve por objetivo mapear as grandes áreas de vegetação natural e manter a classificação SVM dos fragmentos menores inseridos em meio à vegetação natural por considerar esses objetos potenciais candidatos a plantios ilícitos.

No mapeamento dos cultivos ilícitos, considerou-se que os possíveis plantios deveriam se localizar em áreas isoladas com condições mínimas de camuflagem. Por isso, foram definidas regras de que os plantios não devem incidir nem confrontar com áreas antropizadas (áreas urbanas ou de uso agrícola intensivo). Ao mesmo tempo, adotou-se o pressuposto que, em função das práticas de preparo do solo e emprego de irrigação, esses objetos apresentariam transição abrupta e contraste com as áreas vizinhas de vegetação natural suficiente para permitir sua individualização mediante o emprego de técnicas avançadas de classificação espectral. Ou seja, considerou-se que esses objetos receberiam classificação distinta das áreas de vegetação não antropizadas adjacentes, o que possibilitaria a sua separação. Assim, objetos inseridos em meio à vegetação natural com dimensões e comportamento espectral compatíveis foram considerados como candidatos a plantios ilícitos. A esse respeito, visto que a contribuição do solo (*background*) e das plantas de *Cannabis sativa* varia conforme o estágio de crescimento das plantas, considerou-se como comportamento espectral compatível aquele correspondente a classes de vegetação de biomassa variada, solo ou mistura de ambos contrastante com a vegetação natural adjacente.

Em termos de dimensões, foi adotado o atributo geométrico área máxima, visto que esses plantios apresentam dimensões reduzidas na área de estudo. Ressalte-se, entretanto, que o limite de área máxima estabelecido excede as dimensões normalmente esperadas para os plantios de *Cannabis sativa*, visto que é comum a limpeza de uma área maior que a efetivamente plantada e que frequentemente a área estimada na imagem é maior que a área medida em campo devido ao contraste induzido pela remoção da cobertura vegetal nos pixels limítrofes aos plantios.

Outros atributos de contexto empregados referem-se à distância de fontes de água e estradas, conforme padrões de associação identificados na análise espacial e tipo de vegetação circundante. A esse respeito, conforme observações de campo, considerou-se mais provável que os plantios se localizem nas adjacências de vegetação natural de maior porte e densidade (Floresta, Caatinga Florestada e Caatinga Arborizada).

Por fim, tendo em vista a finalidade principal do trabalho de apoiar ações de erradicação de cultivos ilícitos, a estratégia de classificação foi orientada para evitar

erros de omissão. Ou seja, as regras foram definidas de modo a reduzir a possibilidade de não mapeamento de sítios de produção de *Cannabis sativa* ativos. Ao mesmo tempo, consideram-se aceitáveis os erros de inclusão ocasionados pelo mapeamento indevido de áreas que correspondam a outros tipos de alvo ou que tenham sido plantios de *Cannabis*, porém, não estejam mais ativos. Por isso, é esperado que a técnica implique em superestimativa das áreas suspeitas.

As classes resultantes em cada nível e as regras preliminares da classificação são resumidas no Quadro 5 e na Figura 11. Para cada uma dessas classes, foram definidos os respectivos descritores e parâmetros associados mediante o emprego de funções de pertinência com uso da lógica *fuzzy* ou a definição de limiares fixos (*thresholds*), com base no conhecimento acumulado a partir das análises espectrais e espaciais conduzidas previamente.

Quadro 5. Classes discriminadas pela classificação baseada em objetos em cada nível.

Nível	Classe	Lógica
1	Não classificado	Segmentos
2	Muito alta biomassa	Classe Muito alta biomassa na camada SVM
	Alta biomassa	Classe Alta biomassa na camada SVM
	Média Biomassa	Classe Média biomassa na camada SVM
	Baixa Biomassa	Classe Baixa biomassa na camada SVM
	Muito baixa biomassa	Classe Muito baixa biomassa na camada SVM
	Irrigadas	Classe Irrigadas na camada SVM
	Água	Classe Água na camada SVM
	Solo	Classe Solo na camada SVM
3	Antropizadas (agrícolas e urbanas)	Candidatos: todas as classes Áreas correspondentes no vetor de áreas antrópicas
4		Fusão dos segmentos da mesma classe
5	Floresta Montana	Filtro: Classe Muito alta biomassa no nível 4 Declividade > <i>threshold</i> mínimo
	Caatinga Florestada	Filtro: Classe Alta biomassa no nível 4 Área > <i>threshold</i> mínimo
	Caatinga Arborizada	Filtro: Classe Média biomassa no nível 4 Área > <i>threshold</i> mínimo
	Caatinga parque	Filtro: Classe Baixa biomassa no nível 4 Área > <i>threshold</i> mínimo
	Caatinga gramíneo lenhosa	Filtro: Classe Muito baixa biomassa no nível 4 Área > <i>threshold</i> mínimo

Nível	Classe	Lógica
6	Suspeito alta biomassa	Filtro: Classes Muito alta biomassa, Alta biomassa e Irrigada no nível 6 Restrição: Sem borda com antrópica
	Feijão Suspeita alta biomassa	Filtro: Suspeito alta biomassa Área < <i>threshold</i> máximo Borda com Floresta, Caatinga Florestada ou Caatinga Arborizada > 0
	Suspeito média/baixa biomassa	Filtro: Classes Média biomassa, baixa biomassa e Muito baixa biomassa no nível 6 Restrição: Sem borda com antrópica
	Feijão Suspeita média/baixa biomassa	Filtro: Suspeito média/baixa biomassa Área < <i>threshold</i> máximo Borda com Floresta, Caatinga Florestada ou Caatinga Arborizada > 0
7	Alerta Máximo (possíveis plantios em ponto de colheita)	Filtro: feijão suspeita alta biomassa Classificação das sub-classes Alerta Máximo Lago, Alerta Máximo Perene e Alerta Máximo Drenagens Temporárias com emprego de função de pertinência para distância água (<i>fuzzy</i>)
	Alerta alto (possíveis plantios em estágio inicial de crescimento)	Filtro: feijão suspeita média/baixa biomassa Classificação das sub-classes Alerta Alto Lago, Alerta Alto Perene e Alerta Alto Drenagens Temporárias com emprego de Função de pertinência para distância água (<i>fuzzy</i>)

Fonte. Dados da pesquisa.

Camadas de entrada:

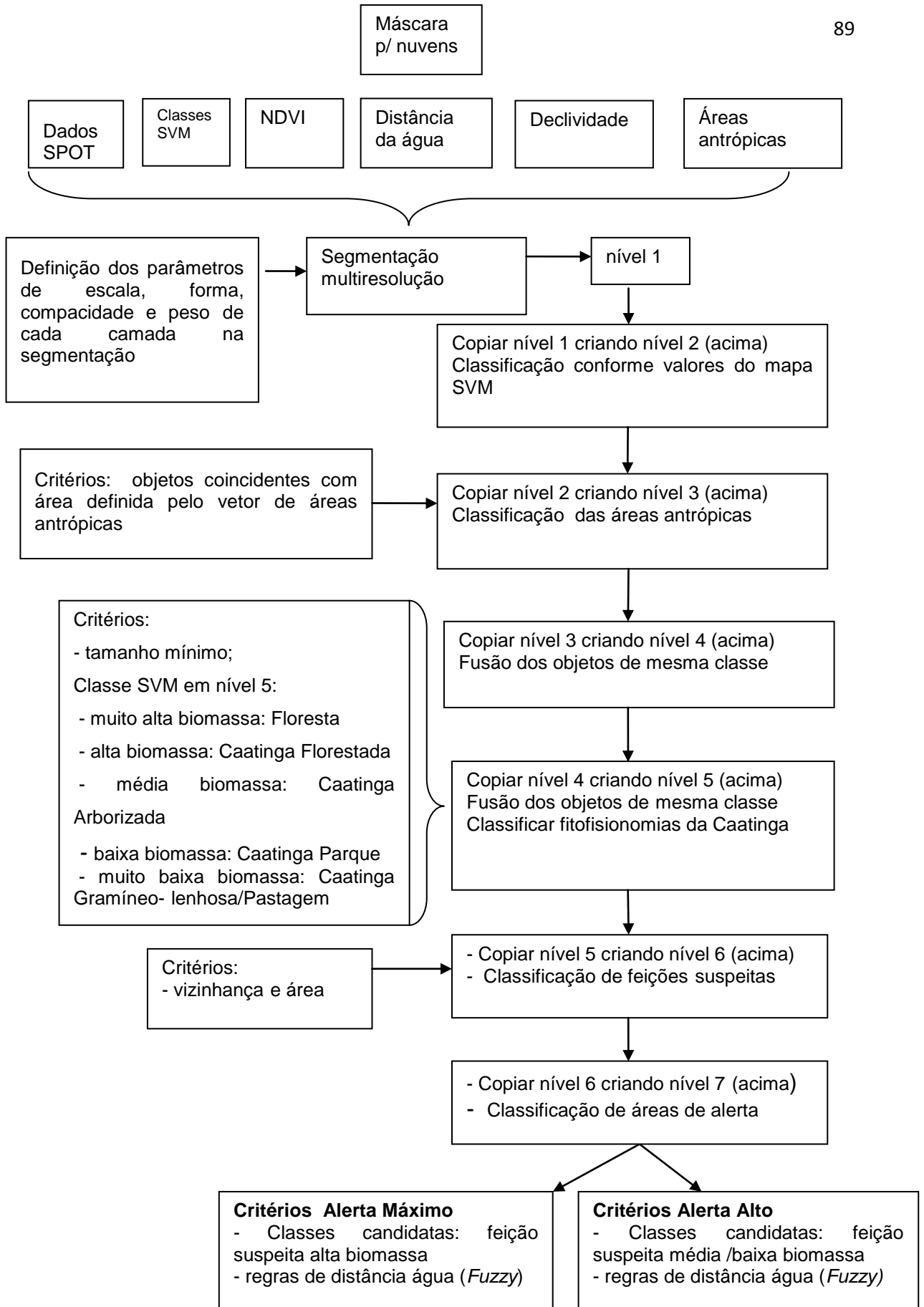


Figura 11. Fluxograma da classificação baseada em objetos para detecção de áreas de alerta para plantios ilícitos. Fonte: Dados da pesquisa.

5.5 Verificação

Os resultados da modelagem espacial foram verificados mediante análise de pesos de evidência. Segundo Câmara *et al.* (2001), o método de Bayes demonstrou ser uma forte ferramenta de avaliação quantitativa de mapas prospectivos gerados por inferência espacial. Ainda segundo esses autores a referida avaliação é baseada na probabilidade *a posteriori*, ou seja no poder explicativo dos mapas de favorabilidade, e o que se espera nessa análise é uma alta correlação das ocorrências com as faixas dos mapas de potencialidade definidas como de alto potencial.

A verificação foi conduzida separadamente para as unidades ilhas e caatinga. Nas ilhas foram usadas coordenadas de 36 plantios de *Cannabis sativa* erradicados durante a operação Prometeu em junho de 2007 e de 40 plantios erradicados na Operação Coheita em maio de 2008. Para análise na unidade Caatinga foram usadas coordenadas de 19 plantios de *Cannabis sativa* erradicados durante a operação Prometeu em junho de 2007, e de 18 plantios erradicados na Operação Coheita em maio de 2008. No cálculo dos pesos de evidência foi empregado o aplicativo ArcSDM do software Spatial Analyst (SAWATZKY *et al.*, 2004). Foi selecionado o método descendente e T (*Studentized contrast*) igual a 2 (aproximadamente 98% de probabilidade). Na Caatinga os pontos de erradicação analisados corresponderam aos plantios que incidiram na área coberta pela cena SPOT 5 724367 de 14/10/2007, utilizada para gerar o mapa *fuzzy* categórico de cobertura do solo. Para fins de verificação, o mapa *fuzzy* de propensão com valores variando entre 0 e 1, onde 0 é considerado um local desfavorável e 1 um local favorável ao cultivo de *Cannabis sativa*, foi classificado em 20 classes de propensão e analisou-se os valores de W^+ , W^- e Contraste para as diferentes classes. Essa análise permitiu verificar se a ocorrência de plantios nas áreas classificadas pelo modelo *fuzzy* com alto grau de propensão foi significativamente maior que a ocorrência esperada ao acaso, de modo a confirmar a alta correlação dos plantios ilícitos e as áreas modeladas como alta propensão.

O resultado da classificação baseada em objetos também foi verificado mediante análise de pesos de evidência com emprego do do aplicativo ArcSDM do software Spatial Analyst (SAWATZKY *et al.*, 2004). Foi selecionado o método

categórico e T (*Studentized contrast*) = 2 (aproximadamente 98% de probabilidade). Os dados empregados nesta análise consistiram nos dados de localização dos plantios e no mapa de cobertura vegetal e uso do solo resultante da classificação de imagens baseada em objetos, cujas classes são discriminadas no Quadro 5.

Para fins de verificação foi classificada a área útil da cena SPOT5, 724367 de 31 de maio de 2007 com resolução de 10 metros no modo multiespectral, 2,5 metros no modo pancromático e demais dados auxiliares que correspondeu à área de aproximadamente 1.802 km². A imagem SPOT foi previamente recortada para remoção das bordas e foi aplicada máscara para remoção de nuvens e sombras, que cobriam aproximadamente 26% da área analisada. A seleção desse jogo de dados foi motivada pelo curto intervalo de tempo entre a aquisição da cena e a deflagração da operação, condição necessária para que não houvesse mudanças significativas na cobertura vegetal e uso do solo da área de estudo, especialmente no que se refere à situação dos plantios de *Cannabis sativa*.

Foram usadas, para avaliação do índice de acerto, coordenadas dos plantios ilícitos erradicados durante a operação denominada Prometeu, executada pela Polícia Federal no período de 05 a 17 de junho de 2007, incidentes na área útil da cena, totalizando 15 pontos amostrais. Após o cálculo dos pesos de evidência analisou-se os valores de W+, W- e Contraste para as diferentes classes (Quadro 5). Essa análise permitiu verificar se a ocorrência de plantios nas áreas classificadas como feições de alerta foi significativamente maior que a ocorrência esperada ao acaso de modo a confirmar a adequação da classificação.

6 RESULTADOS

Esta seção apresenta padrões intrínsecos, espectrais e espaciais associados aos plantios de *Cannabis sativa* no semiárido e os resultados da modelagem espacial e classificação baseada em objetos conduzidas nesta pesquisa.

6.1 Caracterização do objeto de estudo: plantios ilícitos de *Cannabis sativa*

Geralmente as operações de plantio da *Cannabis sativa* incluem a limpeza do terreno, coveamento e plantio e implicam em remoção do estrato arbustivo e acumulação dos restos vegetais nos limites da lavoura. As práticas empregadas resultam em transição abrupta entre os plantios ilícitos e as áreas adjacentes e, conseqüentemente, conferem limites bem definidos a esses elementos.

Durante os levantamentos de campo, constatou-se que a maioria dos plantios apresentava padrão uniforme, com espaçamentos regulares (2 m x 1 m; 1 m x 1 m; entre outros), emprego de irrigação e fertilização. Geralmente são plantadas até oito plantas por cova e, quando adultas, são mantidas três a quatro plantas/cova. O estágio de crescimento dos exemplares de *Cannabis sativa* variou de pequenas plântulas a plantas maduras com até 2 m de altura (Figura 12).

Os tratos culturais contemplam o controle de plantas invasoras, mas também é comum a manutenção de exemplares arbóreos nativos com a finalidade de dissimular as roças e dificultar sua identificação pela Polícia. Essa prática é mais frequente nas áreas localizadas na Caatinga, porém, é menos significativa nas ilhas do rio São Francisco. Os plantios são geralmente irrigados por gravidade ou por rega manual, sendo que, nas ilhas, a água para irrigação provém do rio São Francisco e, nos plantios localizados em terra firme, é utilizada água derivada de drenagens naturais perenes ou temporárias, canais de irrigação, açudes, lagoas, poços e/ou pequenos reservatórios de acumulação de água da chuva.

Com relação ao ciclo da cultura, entrevistas realizadas com policiais indicam que, na região, a planta atinge a maturidade em período que varia de quatro a seis meses. Esses dados são compatíveis com o constante na literatura (CLARKE, 1981; SOUZA *et al.*, 2006), porém, há carência de experimentação controlada para obtenção de informações detalhadas sobre o desenvolvimento da planta na região

de estudo. Quanto às dimensões, os plantios ocupam áreas pequenas, sempre inferiores a 4 hectares. A distribuição de frequência dos plantios erradicados por classes de tamanho durante as operações policiais em junho de 2007, maio de 2008 e maio de 2010 é apresentada nas Figuras 13, 14 e 15. Os referidos gráficos foram elaborados a partir dos dados correspondentes aos plantios situados dentro da área de estudo e, por isso, diferem dos dados totais das operações apresentados nas Figuras 2 e 9. A análise desses dados indica uma tendência de redução da área dos plantios.

6.2 Modelo teórico da distribuição dos plantios de *Cannabis sativa*

O modelo teórico sobre a distribuição dos plantios de *Cannabis sativa* elaborado neste trabalho é representado na Figura 16 e contempla os fatores considerados relevantes para a organização espacial dos plantios ilícitos na área de estudo. As variáveis preditivas e hipóteses sobre as correlações espaciais são discutidas em seguida. É importante considerar que o modelo apresentado constitui-se em uma primeira aproximação e que futuramente outras evidências poderão ser incorporadas ou mesmo excluídas do modelo, a partir dos resultados de novas investigações, ou propiciadas pela melhoria ou enriquecimento da base de dados.

6.2.2 Fatores associados às estratégias dos plantadores

6.2.2.1 Isolamento/camuflagem

Na área de estudo, os plantios de *Cannabis sativa* geralmente encontram-se isolados e camuflados em meio a remanescentes de Caatinga e/ou Floresta, ou em meio à vegetação ripária associada, ou não, a espécies herbáceas invasoras. O isolamento e camuflagem proporcionados pela vegetação também podem estar associados a elementos de hidrografia ou relevo que funcionam como uma segunda barreira natural, restringindo ainda mais as condições de acesso. Ou seja, os plantios geralmente são circundados por fragmentos de Caatinga, Floresta ou vegetação secundária, que funcionam como barreira à visualização e acesso por terceiros, que ainda podem estar associados à presença de barreiras naturais topográficas e hidrográficas, que restringem ainda mais a aproximação de pessoas. Esses três padrões de isolamento/camuflagem observados na área e denominados,

para fins didáticos, neste estudo, como "hidrografia e vegetação", "relevo e vegetação" e "vegetação" são detalhados a seguir.



Plantio de *Cannabis* em fase inicial de crescimento



Plantio de *Cannabis* em fase intermediária de crescimento



Plantio de *Cannabis* em fase intermediária de crescimento



Plantio de *Cannabis* em fase avançada de crescimento (plantio maduro)



Cacimba utilizada como fonte de água para irrigação de plantio de *Cannabis*



Aspecto das folhas de um exemplar de *Cannabis*

Figura 12. Diferentes condições de plantio de *Cannabis sativa* no sertão nordestino. Fonte: Polícia Federal, 2007.

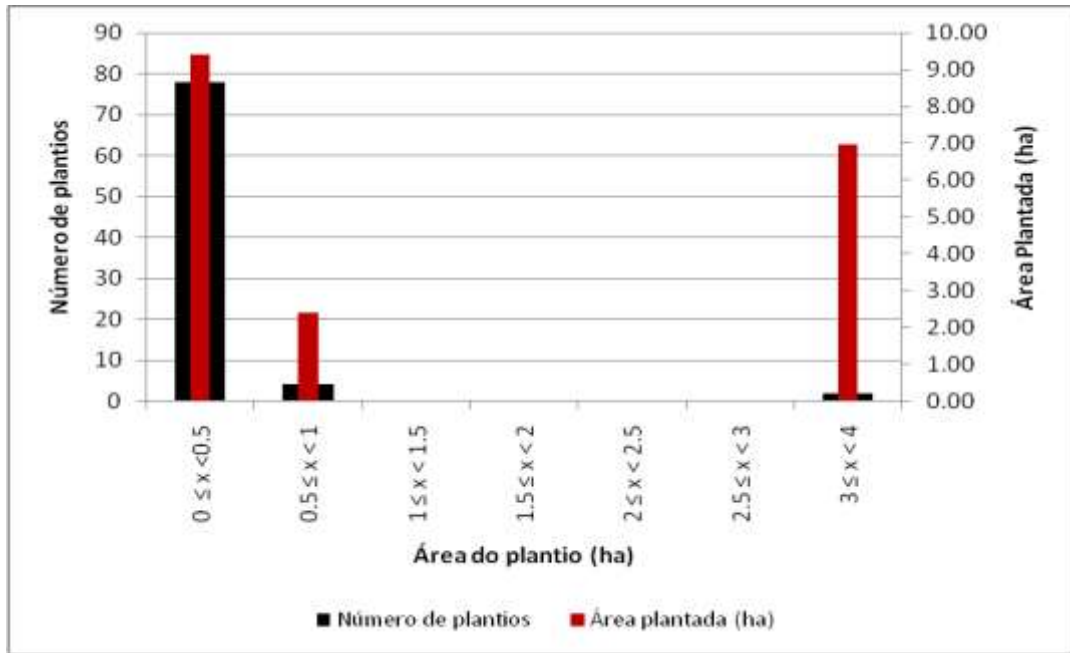


Figura 13. Distribuição de frequência por classes de tamanho dos cultivos de *Cannabis sativa* erradicados em junho de 2007 (Operação Prometeu) na área de estudo.

Fonte: CGPRE (documento interno da Polícia Federal, resumo das operações 2007 – 2010, dados não publicados).

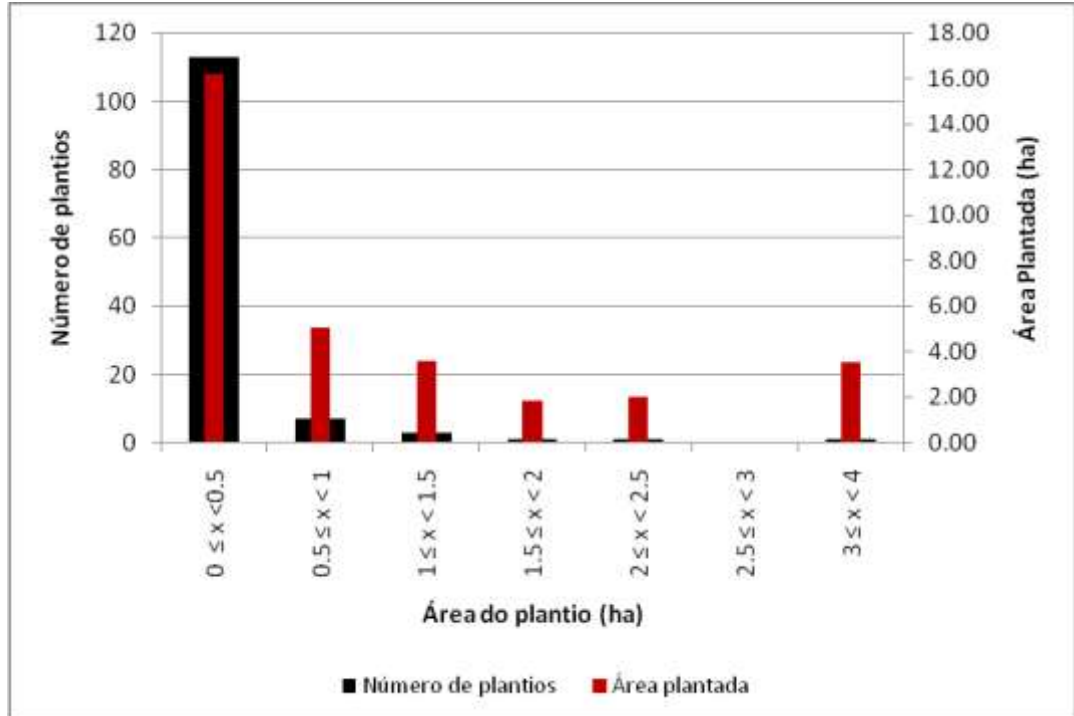


Figura 14. Distribuição de frequência por classes de tamanho dos cultivos de *Cannabis sativa* erradicados em maio de 2008 (Operação Colheita) na área de estudo.

Fonte: CGPRE (documento interno da Polícia Federal, resumo das operações 2007 – 2010, dados não publicados).

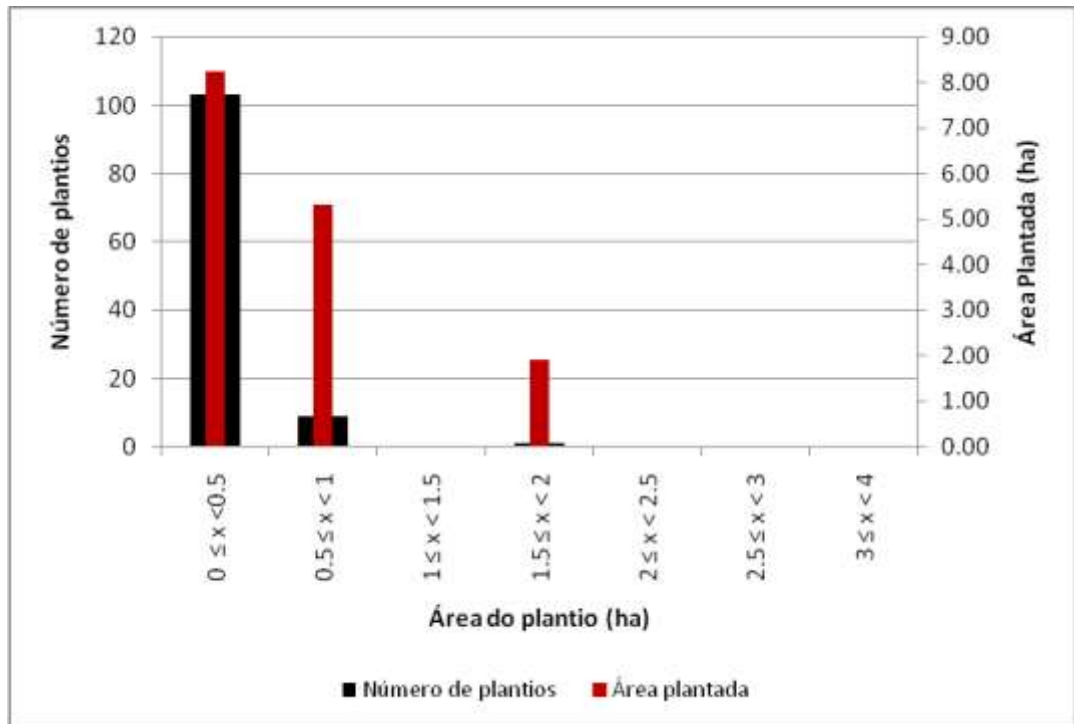


Figura 15. Distribuição de frequência por classes de tamanho dos cultivos de *Cannabis* erradicados em maio de 2010 (Operação Liamba) na área de estudo.
 Fonte: CGPRE (documento interno da Polícia Federal, resumo das operações 2007 – 2010, dados não publicados).

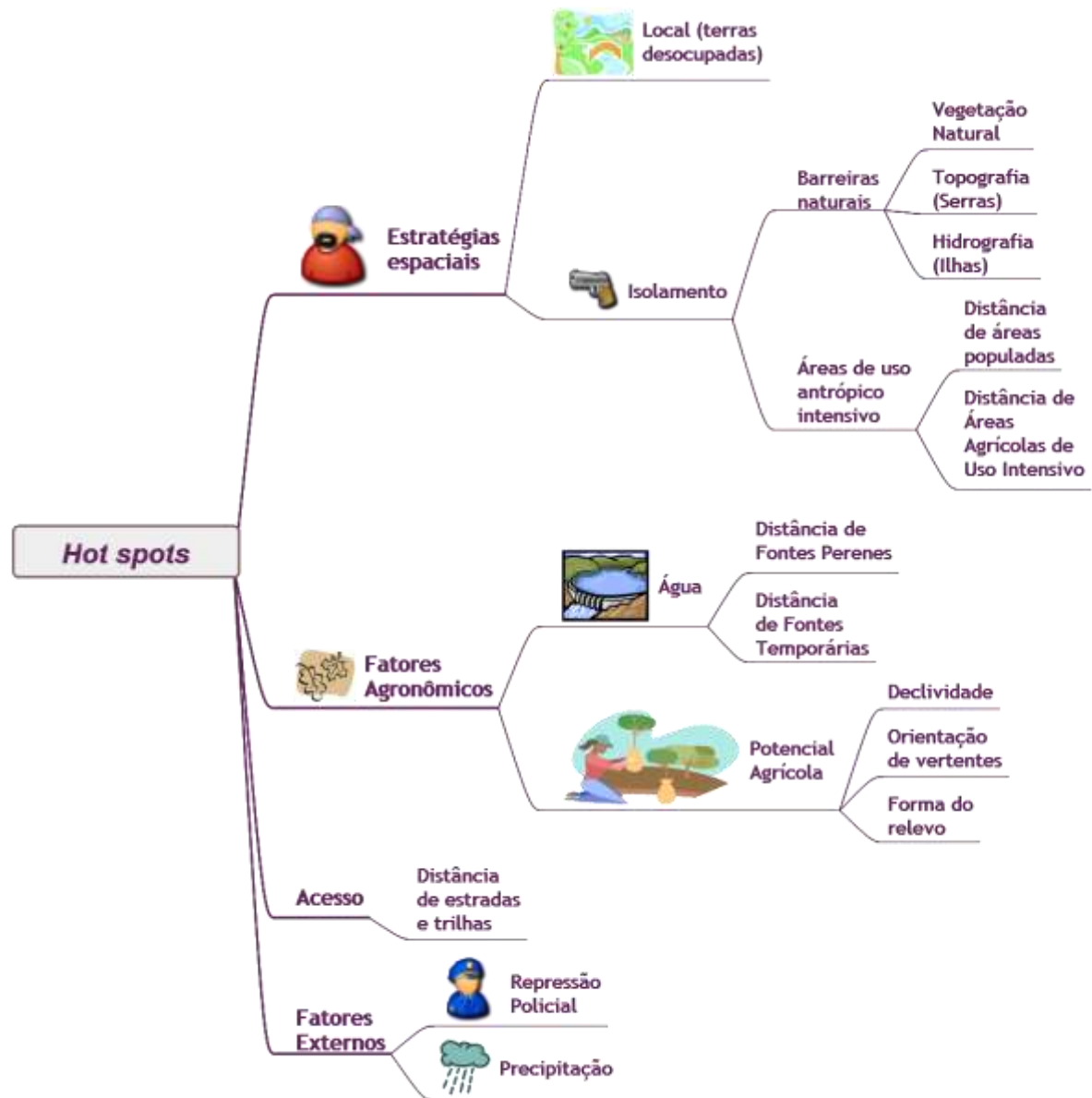


Figura 16. Representação gráfica do modelo teórico da distribuição espacial dos plantios de *Cannabis sativa* no semiárido pernambucano.

Fonte: Dados da pesquisa.

O padrão "hidrografia e vegetação" é observado nas ilhas fluviais do São Francisco, onde os plantios são isolados pela lâmina d'água do rio e pela manutenção de vegetação ripária ou invasora no contorno dos plantios (Figura 17). Nesses locais, a irrigação é facilitada em virtude da disponibilidade abundante de água durante todo o ano.



(a)

Plantio de *Cannabis sativa* circundado por vegetação herbácea invasora e vegetação ripária.

(b)

Plantio de *Cannabis sativa* circundado por vegetação herbácea invasora.

Figura 17. Plantios ilícitos de *Cannabis sativa* situados nas ilhas do rio São Francisco. Padrão de camuflagem e isolamento do tipo "hidrografia e vegetação".

Fonte: Polícia Federal, 2008.

O padrão de isolamento "relevo e vegetação" é observado nas elevações denominadas regionalmente como serras. Nesses locais, os plantios são instalados em encostas íngremes e presença de densa cobertura vegetal, condições que dificultam tanto o acesso quanto a visualização por terceiros e, conseqüentemente, reduzem os riscos de perdas financeiras e de punição para os criminosos (Figura 18). Pressupõe-se que, devido a esse risco reduzido, essas áreas também sejam selecionadas para o plantio, apesar de todas as dificuldades inerentes ao relevo desfavorável. Nesses locais, predominam os solos rasos e drenagens intermitentes e a irrigação geralmente é feita por gravidade, com uso de água das chuvas que é represada nas partes mais altas. Eventualmente nessas áreas ocorrem solos com melhores condições de fertilidade e/ou textura que podem favorecer o desenvolvimento das plantas.

O padrão de isolamento apenas pela vegetação é observado no restante da área de estudo, onde os plantios são instalados em terra firme, em condições de relevo plano ou suave ondulado, e isolados e camuflados da aproximação e visualização por terceiros devido à presença de vegetação natural, Caatinga e/ou Floresta, no seu entorno (Figura 19). Portanto, considerando-se esses três padrões observados regionalmente, serão empregados, como medidas indiretas para inferir sobre as condições de isolamento e camuflagem de determinado sítio, dados de

estratificação da paisagem nas unidades Ilhas, Serras e Caatinga, assim como dados de cobertura vegetal.



(a).

(b)

Figura 18. Fotos a partir de helicóptero mostrando escarpas com afloramento rochoso na vizinhança de plantio de *Cannabis sativa* (a) e o respectivo plantio de *Cannabis sativa* (b, indicado pela seta vermelha) em local de difícil acesso, camuflado por densa vegetação. Padrão de camuflagem e isolamento do tipo "relevo e vegetação".
Fonte: Polícia Federal, 2008.



(a)

(b)

Plantio de *Cannabis sativa* em área de Caatinga Florestada

Plantio de *Cannabis sativa* em área de Caatinga Arborizada

Figura 19. Plantios ilícitos de *Cannabis sativa* situados em meio a diferentes fisionomias vegetais. Padrão de camuflagem e isolamento do tipo "vegetação".
Fonte: Polícia Federal, 2007.

Ainda em relação ao fator isolamento, áreas de uso antrópico intensivo como lavouras comerciais, pastagens plantadas e áreas urbanas (Figura 20) facilitam a visualização por terceiros e, conseqüentemente, não são utilizadas com frequência para a instalação de plantios de *Cannabis sativa*. Por isso, também serão empregadas para inferir sobre as condições locais de isolamento, as seguintes variáveis: uso do solo, distância de áreas agrícolas e áreas urbanas.



(a)
Área com predomínio de fruticultura irrigada, próximo a uma vila.

(b)
Área urbana

Figura 20. Contextos de baixa probabilidade de ocorrência de plantios de *Cannabis sativa* devido à ocupação antrópica.
Fonte: Polícia Federal, 2007.

6.2.2.2 Fatores Agronômicos

a) Água

As fontes de água empregadas usualmente na irrigação dos referidos plantios são constituídas, principalmente, pelos seguintes tipos: drenagens perenes (o rio São Francisco apresenta vazão significativamente superior aos demais, apresentando grande massa d'água durante todo o ano), drenagens intermitentes, lagoas e represas, adutoras de projetos de irrigação, captação e armazenamento da água da chuva em cabeceiras de drenagens (Figuras 21, 22 e 23). Santos *et al.* (1983) já colocavam que as áreas plantadas com *Cannabis sativa* se localizavam geralmente ao longo de cursos d'água e açudes em função da necessidade de irrigação dos plantios duas vezes por dia. Portanto, como a água para irrigação dos plantios geralmente é derivada das fontes superficiais descritas, as variáveis selecionadas para inferir sobre a disponibilidade de água foram, respectivamente, a distância de grandes drenagens, a distância de canais e barragens, e a distância de drenagens de 1ª e 2ª ordem (períodos chuvosos).



(a)
Rio perene (rio São Francisco)



(b)
Lagoa natural



(c)
Canal de irrigação



(d)
Reservatório artificial



(e)
Captação de água em locais úmidos



(f)
Armazenamento da água da chuva ou derivada de drenagens naturais ou canais de irrigação

Figura 21. Fotos ilustrando diferentes tipos de fontes de água utilizadas para irrigação dos plantios de *Cannabis sativa* no sertão pernambucano.
Fonte: Polícia Federal, 2007 a 2009.



Figura 22. Fotos ilustrando diferentes tipos de fontes de água e métodos de irrigação empregados nos plantios de *Cannabis sativa* no sertão pernambucano.
Fonte: Polícia Federal 2006 a 2009.

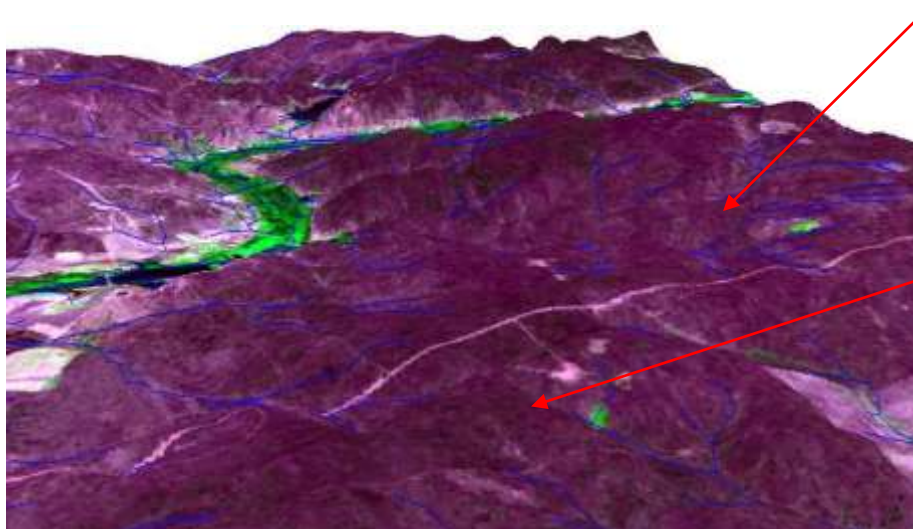


Figura 23. Representação do relevo em perspectiva, ilustrando a localização de plantios de *Cannabis sativa* situados em cabeceiras de drenagem (em verde claro), irrigados com água proveniente da captação em drenagens temporárias.

Fonte: Dados Topodata (VALERIANO, 2008) e Imagens SPOT 5 (Copyright CNES) processados pela pesquisadora.

Em uma análise preliminar sobre as limitações impostas por esses atributos ao plantio da *Cannabis sativa* na área de estudo e considerando-se as práticas agrícolas usualmente empregadas pelos criminosos, verificou-se que, na região estudada, predominam solos arenosos e com baixa fertilidade natural. Entretanto, a carência de nutrientes para o desenvolvimento das plantas de *Cannabis sativa* geralmente é suprida com aplicação de corretivos e fertilizantes e, portanto, a deficiência de fertilidade não foi considerada um fator relevante para a distribuição espacial dos plantios neste estudo.

O mesmo se diz em relação à susceptibilidade à erosão, visto que, no semiárido, é frequente a instalação de plantios em áreas de relevo bastante movimentado, situadas nas unidades geomorfológicas denominadas serras ou serrotes pelo Zoneamento Agroecológico de Pernambuco (EMBRAPA, 2000). Esses locais são considerados extremamente frágeis do ponto de vista de susceptibilidade à erosão e são considerados impróprios para as atividades agrícolas, mas, desde que ofereçam condições de fixação e desenvolvimento das plantas, têm sido utilizados pelos criminosos. Portanto, esse fator não foi considerado um limitante à distribuição dos plantios.

Impedimentos à mecanização também não exercem influência sobre a seleção dos sítios, visto que, localmente, todas as operações de implantação, manutenção e colheita empregam trabalho braçal. De forma localizada, podem

ocorrer áreas com restrições ao plantio como, por exemplo, solos com problemas de aeração ou de salinização, mas, devido à inexistência de uma base cartográfica detalhada que permite avaliar a influência dessas condições, esses fatores também não foram considerados no modelo. Concluindo, as áreas usadas para o plantio da *Cannabis sativa* na área de estudo incluem tanto áreas de bom potencial agrícola, situadas principalmente nas ilhas fluviais do rio São Francisco, como áreas marginais para agricultura, de modo que o tipo de substrato não parece exercer influência significativa na seleção dos locais de plantio pelos criminosos e não será considerado explicitamente no presente modelo.

6.2.2.3 Fator relacionado às condições de acesso para plantio e manutenção

O acesso às lavouras de *Cannabis sativa* para as atividades de implantação, manutenção, colheita e escoamento da droga pronta geralmente é feito por trilhas e picadas dissimuladas em meio à vegetação natural. Especificamente no caso das ilhas fluviais do rio São Francisco, o acesso é feito por meio de embarcações. Neste estudo, serão empregados como medida indireta das condições de acessibilidade dados de distância de estradas e caminhos.

6.2.2.4 Fatores externos – Precipitação/repressão policial

Conforme mencionado na metodologia, os fatores precipitação e repressão policial, apesar de relevantes, não serão ponderados no modelo empírico ajustado neste trabalho. Entretanto, análise preliminar dos dados consolidados das operações de erradicação de cultivos ilícitos e dos dados de precipitação mensal é apresentada a seguir e indica uma relação entre a quantidade de chuva registrada nos meses precedentes às operações de erradicação e o número de plantas ou área erradicada (Figura 24).

Ainda em referência à Figura 24, constatou-se que, no ano de 2008, com chuvas no primeiro semestre excepcionalmente acima das médias históricas, houve um registro de expansão da área plantada, ao contrário da tendência de contração observada nos anos de 2009 e 2010. É importante mencionar, contudo, que a área plantada com *Cannabis sativa* também sofre influência de outros fatores, entre os quais das operações policiais de erradicação e, por isso, não é possível atribuir o

efeito dessa variação exclusivamente a mudanças climáticas sazonais. Por outro lado, é possível inferir que a conjunção de chuvas acima da média e a ausência de ações de repressão policial criam condições favoráveis para a atividade criminosa e podem resultar em explosão da área plantada na região. Por exemplo, o elevado quantitativo de plantas erradicadas em agosto de 2008, embora já no período seco, pode decorrer de uma reserva de água feita no período chuvoso e da ausência de ações sistemáticas nos meses anteriores, que podem ter gerado expectativa de longo período subsequente sem ações de erradicação, incentivando o replantio das lavouras pelos criminosos.

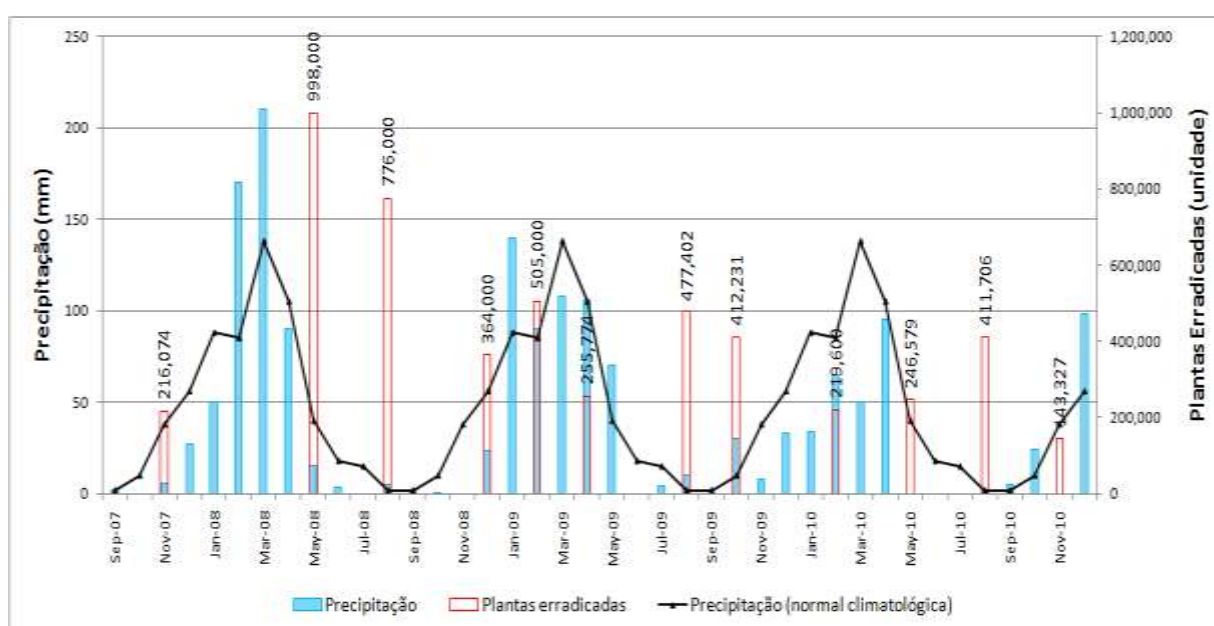


Figura 24. Precipitação, número de plantas erradicadas e normal climatológica de precipitação (1961 – 1990) na área de estudo.

Fontes: Dados climatológicos da estação de Cabrobó/PE – Instituto Nacional de Meteorologia - INMET. Quantitativo de plantas erradicadas: CGPRE (documento interno da Polícia Federal, resumo das operações 2007 – 2010, dados não publicados).

6.3 Investigação de padrões

6.3.1 Padrões espectrais

6.3.1.1 Radiometria espectral

As assinaturas espectrais de folhas de *Cannabis sativa* medidas em laboratório apresentaram padrão de comportamento espectral típico da vegetação verde (Figura 25). Aliado a esse resultado, constatou-se, em campo, grande variabilidade nos sítios de plantio de *Cannabis sativa* em termos de espaçamento de

plântio, porte das plantas, associação com outros tipos de vegetação, tipos de solos, entre outros.

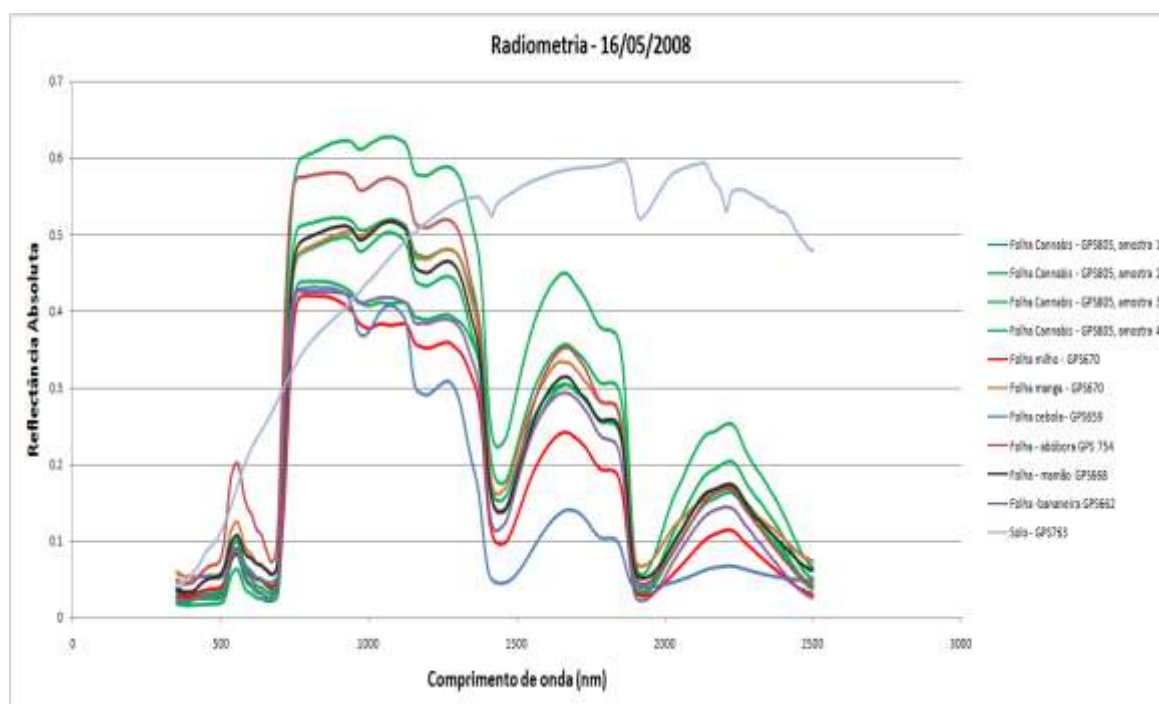


Figura 25. Curvas espectrais de folhas de *Cannabis sativa*, milho, manga, cebola, abóbora, mamão, bananeira e solo arenoso, coletados na área de estudo em 16 de maio de 2008. A amostra de solos apresentou composição textural de 76% de areia fina, 6% de areia grossa, 9% de silte e 9% de argila.

Fonte: Dados da pesquisa.

Portanto, partindo-se da constatação de que as feições de absorção da *Cannabis sativa* não diferem das feições comuns às plantas verdes e da complexidade de composição do alvo em campo, que ainda apresenta dimensões reduzidas, concluiu-se que a identificação dos plantios de *Cannabis sativa* em imagens de sensores multiespectrais, a partir de critérios estritamente espectrais, apresentaria grandes limitações.

6.3.1.2 Análise de imagens

Constatações semelhantes encontradas por Daughtry e Walthall (1998) e Walthall *et al.* (2006) reforçaram a necessidade de se integrar critérios espaciais e de contexto à classificação de imagens para detecção desses plantios.

a) Correção atmosférica

A correção atmosférica das imagens proporcionou a redução da reflectância no visível em função da correção do efeito do espalhamento pelos aerossóis, e o

aumento da reflectância no infravermelho próximo e infravermelho de ondas curtas, em função da correção do efeito de absorção pelo vapor d'água, conforme apresentado na Figura 26. Os valores de reflectância de áreas de solo exposto na imagem corrigida foram coerentes com medições de radiometria espectral de amostras de solos coletadas nesses locais e com imagens calibradas do sensor aerotransportado MSS (LISITA; MOREIRA, 2009) adquiridas no mesmo período. A partir desses resultados, considerou-se que a correção dos efeitos atmosféricos aplicada aos dados SPOT 5 apresentou qualidade satisfatória.

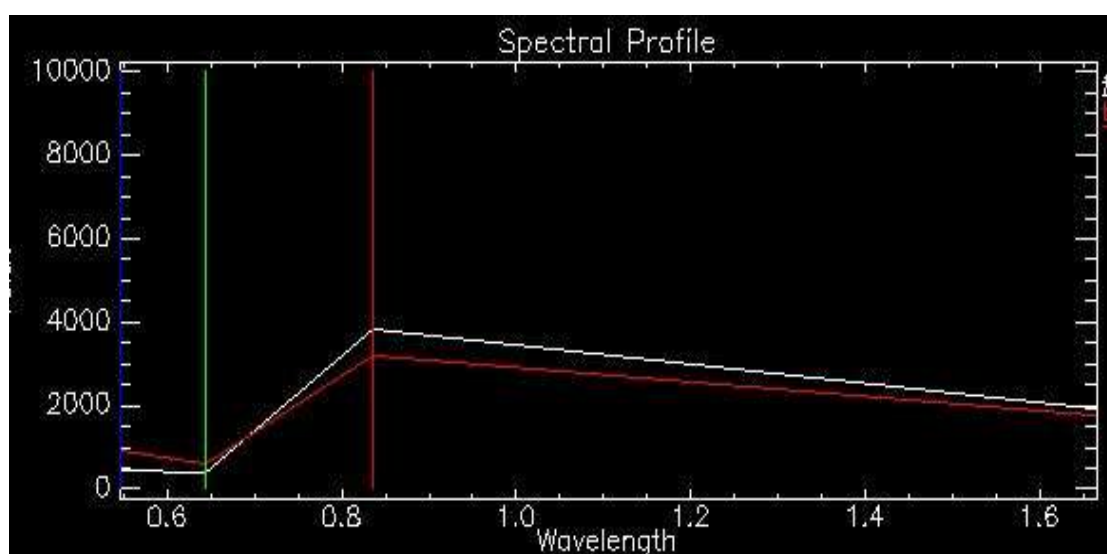


Figura 26. Perfil espectral de amostra de vegetação em valores de reflectância para o topo da atmosfera (em vermelho) e após correção atmosférica absoluta (em branco) em imagens SPOT 5.

Fonte: Imagens SPOT 5 (Copyright CNES) processadas pela pesquisadora.

b) Classificação supervisionada de imagens

A classificação com SVM teve por objetivo promover a separação preliminar em classes genéricas de cobertura vegetal quanto à fitomassa para posterior classificação semântica com algoritmos de classificação baseado em objetos. Os perfis espectrais das amostras selecionadas como áreas de treinamento nas imagens de maio de 2007 e novembro de 2007 são apresentadas respectivamente nas Figuras 27 e 28. A comparação do perfil espectral das classes de cobertura vegetal nas duas datas evidencia o aumento da importância do efeito do *background* nas áreas de vegetação natural durante a estação seca. Esse efeito resulta da crescente participação do solo na reflectância dos pixels, à medida que ocorre a redução da biomassa vegetal relacionada às mudanças climáticas sazonais.

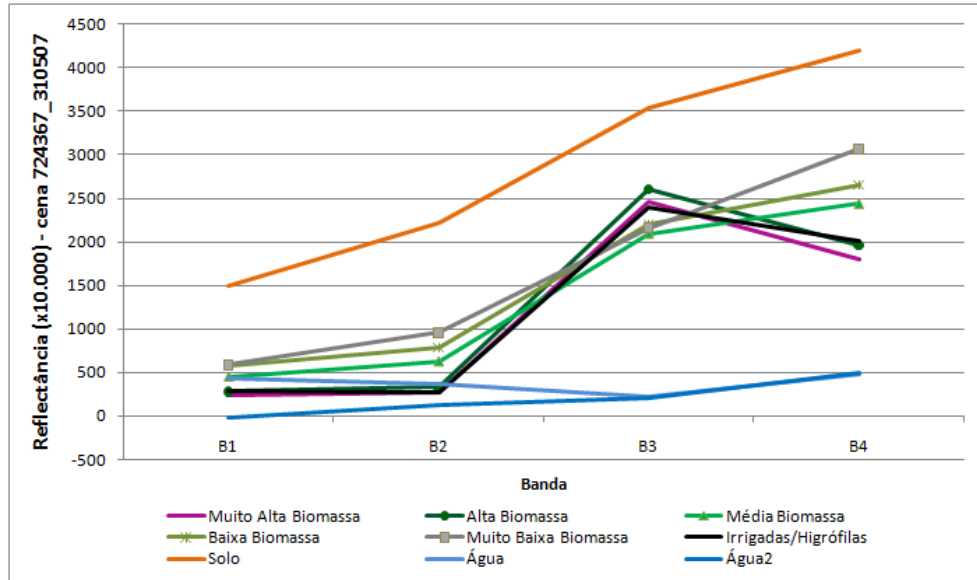


Figura 27. Perfil espectral das áreas de treinamento utilizadas na classificação supervisionada de cena SPOT 5 HRG de 31 de maio de 2007 com classificador *Support Vector Machine* (SVM).

Fonte: Imagens SPOT 5 (Copyright CNES) processadas pela pesquisadora.

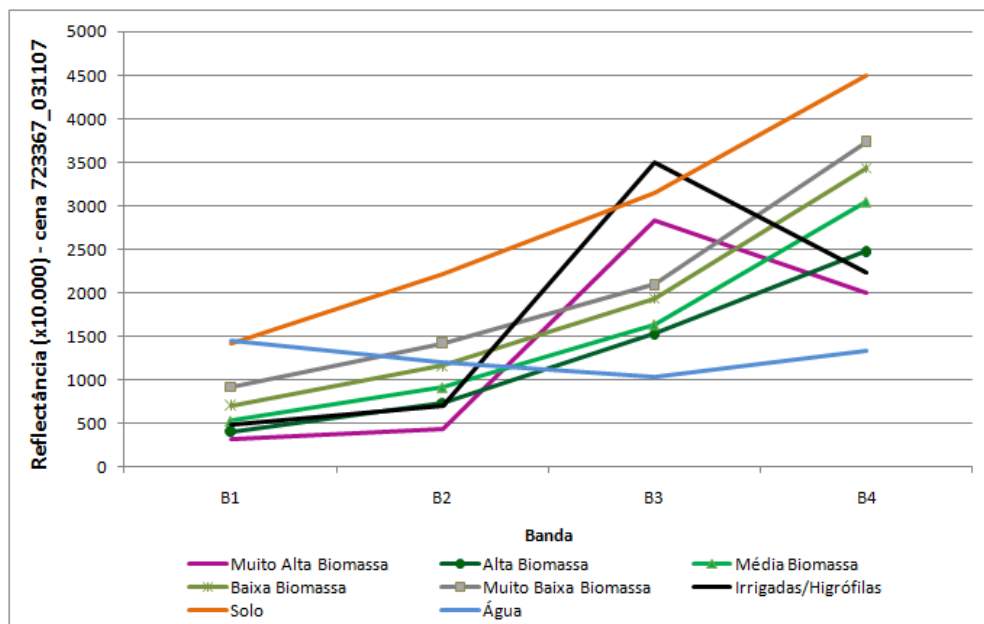


Figura 28. Perfil espectral das áreas de treinamento utilizadas na classificação supervisionada de cena SPOT 5 HRG de 03 de novembro de 2007 com classificador *Support Vector Machine* (SVM).

Fonte: Imagens SPOT 5 (Copyright CNES) processadas pela pesquisadora.

O mapa geral da área, gerado mediante a classificação supervisionada SVM de dados SPOT 5 com baixa cobertura de nuvens é apresentado na Figura 29.

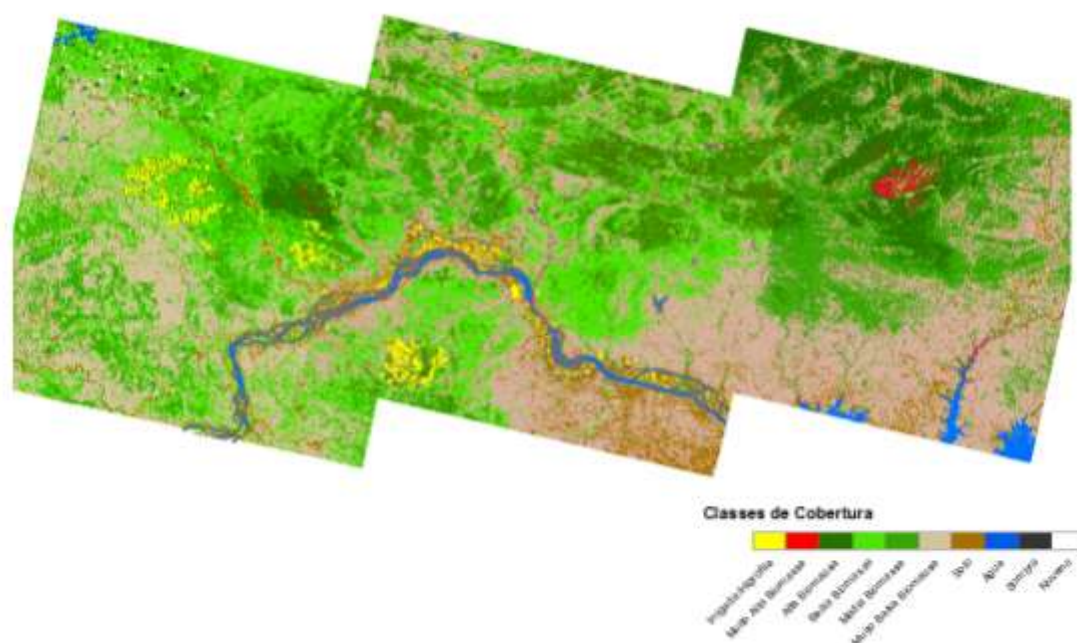


Figura 29. Classes de cobertura geradas com classificação SVM de cenas SPOT 5 HRG, 10 metros de resolução de 01 de julho de 2007, 14 de outubro de 2007 e 19 de outubro de 2007. Fonte: Imagens SPOT 5 (Copyright CNES) processadas pela pesquisadora.

Além do mapa geral da área gerado a partir das cenas SPOT de julho e outubro de 2007, também foi classificada uma cena SPOT de 31 de maio de 2007 para fins de validação da metodologia de detecção de feições suspeitas com técnicas de classificação baseada em objetos. O resultado obtido com a classificação preliminar da referida cena com SVM é apresentado na Figura 30.

c) Padrões espectrais temporais

A análise da dinâmica temporal do NDVI da cobertura vegetal natural e dos sítios de produção de *Cannabis sativa* na área de estudo indicou forte sazonalidade das fisionomias de Caatinga em contraposição aos padrões irregulares de variação dos plantios de *Cannabis sativa*, que apresentaram taxas de crescimento e tendências incompatíveis com as variações observadas na vegetação natural. A justificativa para as diferenças observadas decorre do suprimento artificial de água e nutrientes para as plantas de *Cannabis sativa*, que induz taxas de crescimento muito superiores ao observado na vegetação natural em um mesmo período ou, também, à redução drástica da cobertura vegetal em ocasiões de preparo do solo ou colheita, correspondendo a quedas abruptas no NDVI.

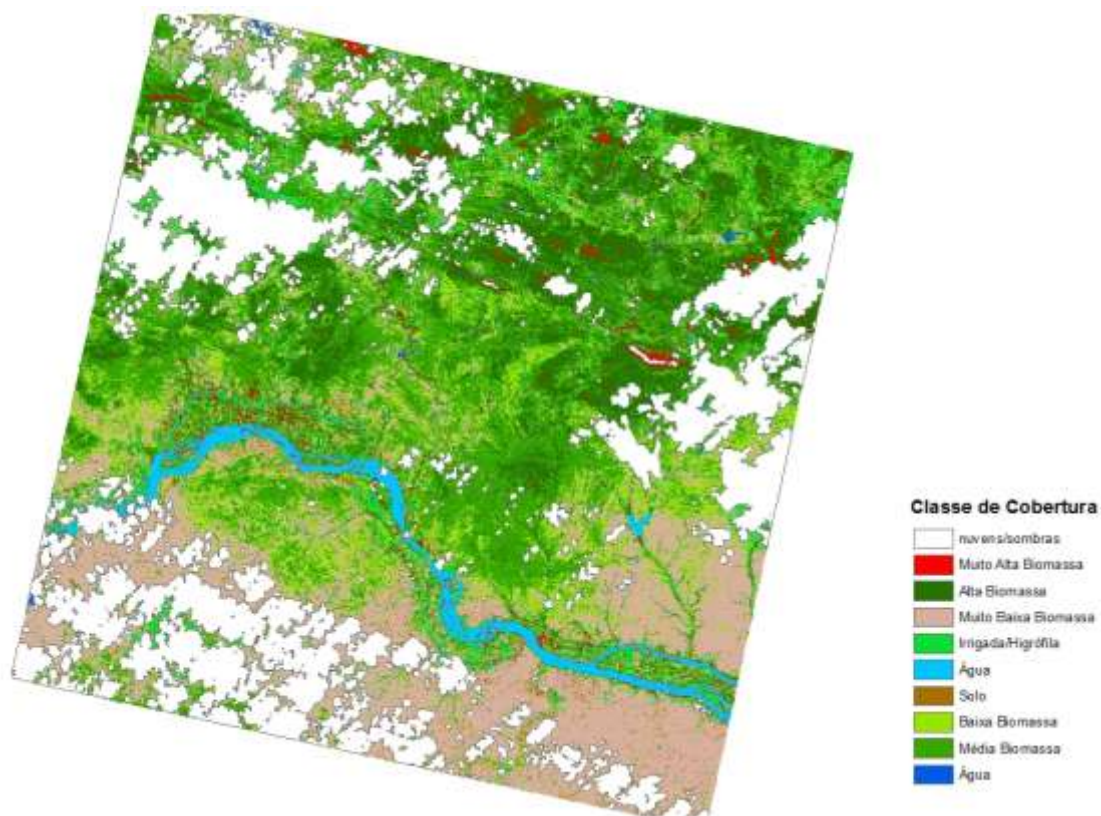


Figura 30. Classes de cobertura geradas com classificação SVM da cena 724367 SPOT 5 HRG, 10 metros de resolução de 31 de maio de 2007.

Fonte: Imagens SPOT 5 (Copyright CNES) processadas pela pesquisadora.

Os resultados de cinco estudos de caso da análise temporal do NDVI de plantios de *Cannabis sativa* e vegetação natural circundante são apresentados e discutidos a seguir. O primeiro exemplo corresponde a plantio de *Cannabis sativa* erradicado em 09 de junho de 2007 com área estimada de 3 ha, 18.000 covas, 72.000 plantas de *Cannabis sativa* com altura média de 1 metro (Figuras 31 e 32).

A análise do NDVI nas datas amostradas indica variações na Caatinga compatíveis com as variações sazonais, visto que, entre abril e maio, a área de Caatinga apresenta incremento sutil no NDVI, seguido por queda gradual no período de maio a julho, já demonstrando a redução do crescimento e indicando que o pico do NDVI ocorreu no final da estação chuvosa. No mês de maio, final da estação chuvosa, os índices na Caatinga apresentam-se elevados, registrando valores sempre acima de 0,8, em oposição aos baixos índices observados na estação seca, que em outubro de 2007 chegou a 0,27, indicando que o NDVI da Caatinga atinge valores mínimos no final da estação seca.

Por outro lado, o sítio de *Cannabis sativa* apresentou crescimento acentuado entre abril e maio de 2007, em função dos tratos culturais e irrigação seguido por queda súbita após a erradicação do plantio pela Polícia em junho de 2007.

A variação do NDVI também foi analisada em termos relativos (Tabela 4, Figura 33), que ressalta ainda mais a discrepância no padrão de crescimento dos sítios de *Cannabis* (Figura 34) em comparação à Caatinga. A variação temporal relativa do NDVI foi gerada por matemática de bandas conforme a equação: $((100 * B2 / B1) - 100)$ onde B1 = NDVI em 15/04/2007 e B2 = NDVI em 31/05/2007.

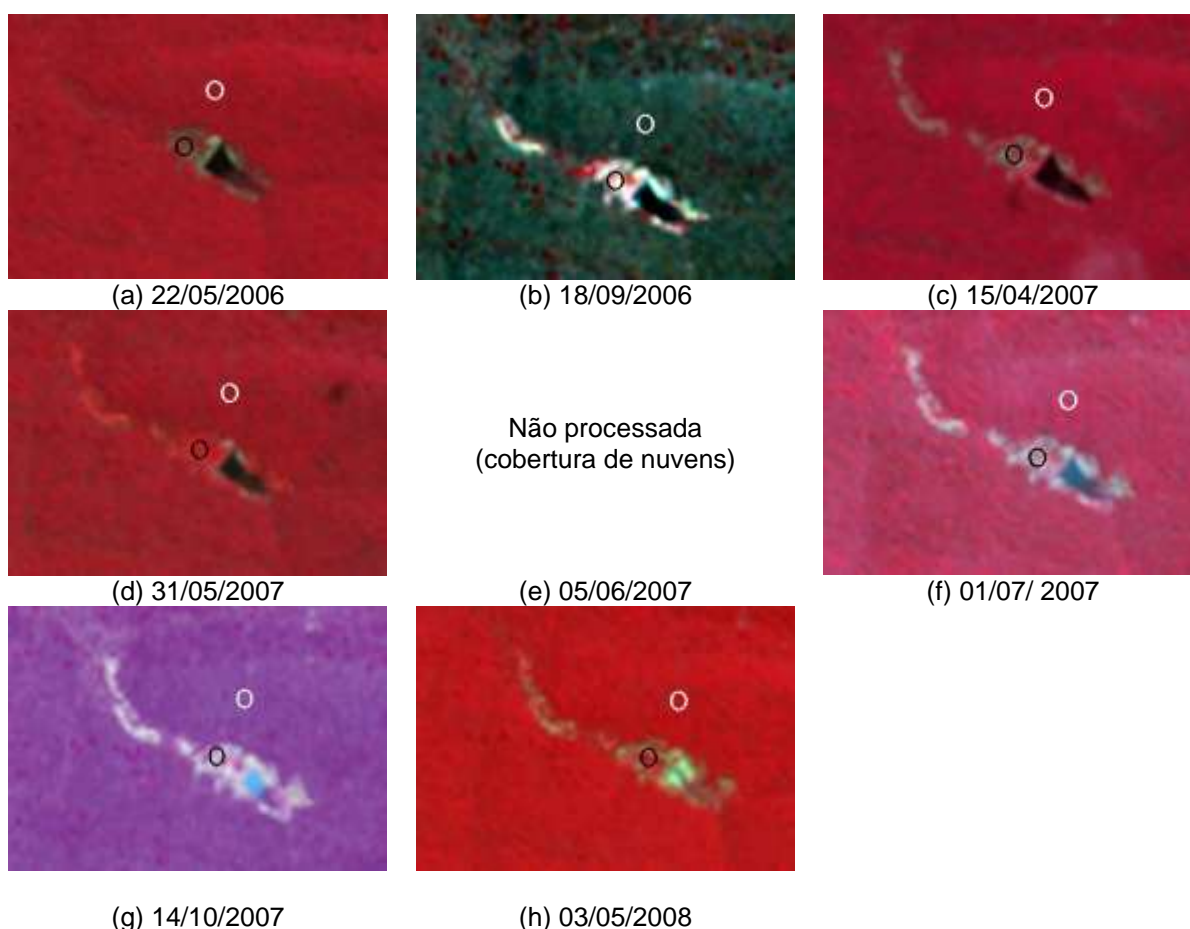


Figura 31. Sítio ilegal de produção de *Cannabis sativa* circundado por Caatinga Florestada em série temporal SPOT 5 - composição colorida (RGB 3/2/1) (a - h). Áreas de treinamento para medição do NDVI estão representadas por círculos pretos (*Cannabis sativa*) e brancos (Caatinga Florestada). Imagens SPOT 5: Copyright CNES, Distribution SISA, Source: SEAS Guyane. Plantio de *Cannabis sativa* confirmado e erradicado durante a Operação Prometeu em 9 de junho de 2007.

Fonte: Imagens SPOT 5 (Copyright CNES) processadas pela pesquisadora.

Os dados demonstram que, enquanto os plantios de *Cannabis sativa* apresentaram incremento relativo do NDVI equivalente a 72% no período entre 15 de abril de 2007 e 31 de maio de 2007, as áreas cobertas com Caatinga Florestada mantiveram-se praticamente estáveis, com variação percentual de 1,85%. A

elevação brusca do NDVI indica vegetação em rápido crescimento que, no caso dos plantios de *Cannabis sativa*, é sustentado mesmo em condições desfavoráveis pela irrigação e demais práticas culturais geralmente empregadas nesse tipo de lavoura como a adição de corretivos e fertilizantes. Ao mesmo tempo, a variação do NDVI da Caatinga é pouco significativa e concomitante à queda da precipitação mensal, período que marca o seu pico vegetativo e o fim da estação de crescimento.

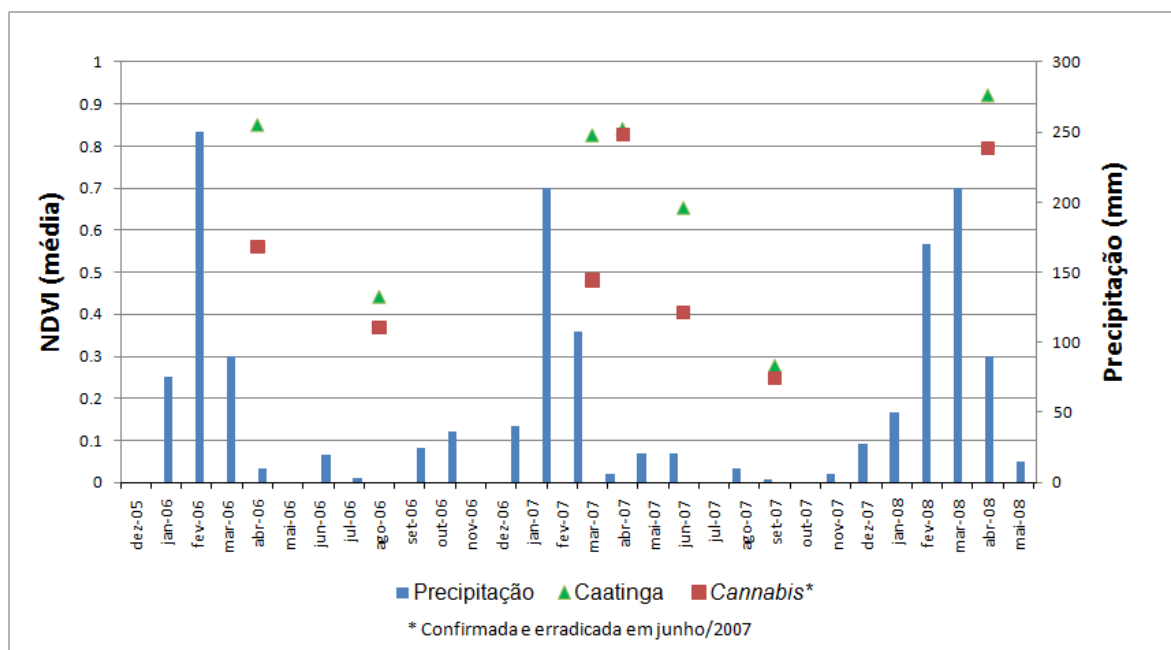


Figura 32. Valores médios do NDVI de sítio ilegal de produção de *Cannabis sativa* e de Caatinga Florestada situada nas adjacências em imagens SPOT 5 HRG,10 metros de resolução (RGB 3/2/1) e os dados de precipitação mensal. Plantio de *Cannabis sativa* confirmado e erradicado durante a Operação Prometeu em 9 de junho de 2007.
Fonte: Imagens SPOT 5 (Copyright CNES) processadas pela pesquisadora.

Tabela 4. Valores médios e variação temporal relativa do NDVI de sítio ilegal de produção de *Cannabis sativa* e de Caatinga Florestada situada nas adjacências a partir de dados de reflectância SPOT 5.

Data	<i>Cannabis</i> NDVI	Caatinga Florestada NDVI	Período	<i>Cannabis</i> Variação NDVI (%)	Caatinga Variação NDVI (%)
22/05/2006	0,5594	0,8498			
18/09/2006	0,3689	0,4421	Maio/setembro	-34,0441	-47,9704
15/04/2007	0,4809	0,8256	Setembro/abril	30,3443	86,74289
31/05/2007	0,8272	0,8409	Abril-maio	72,0222	1,8567
01/07/ 2007	0,4035	0,6535	Maio-julho	-51,2175	-22,2915

Fonte: Imagens SPOT 5 (Copyright CNES) processadas pela pesquisadora.

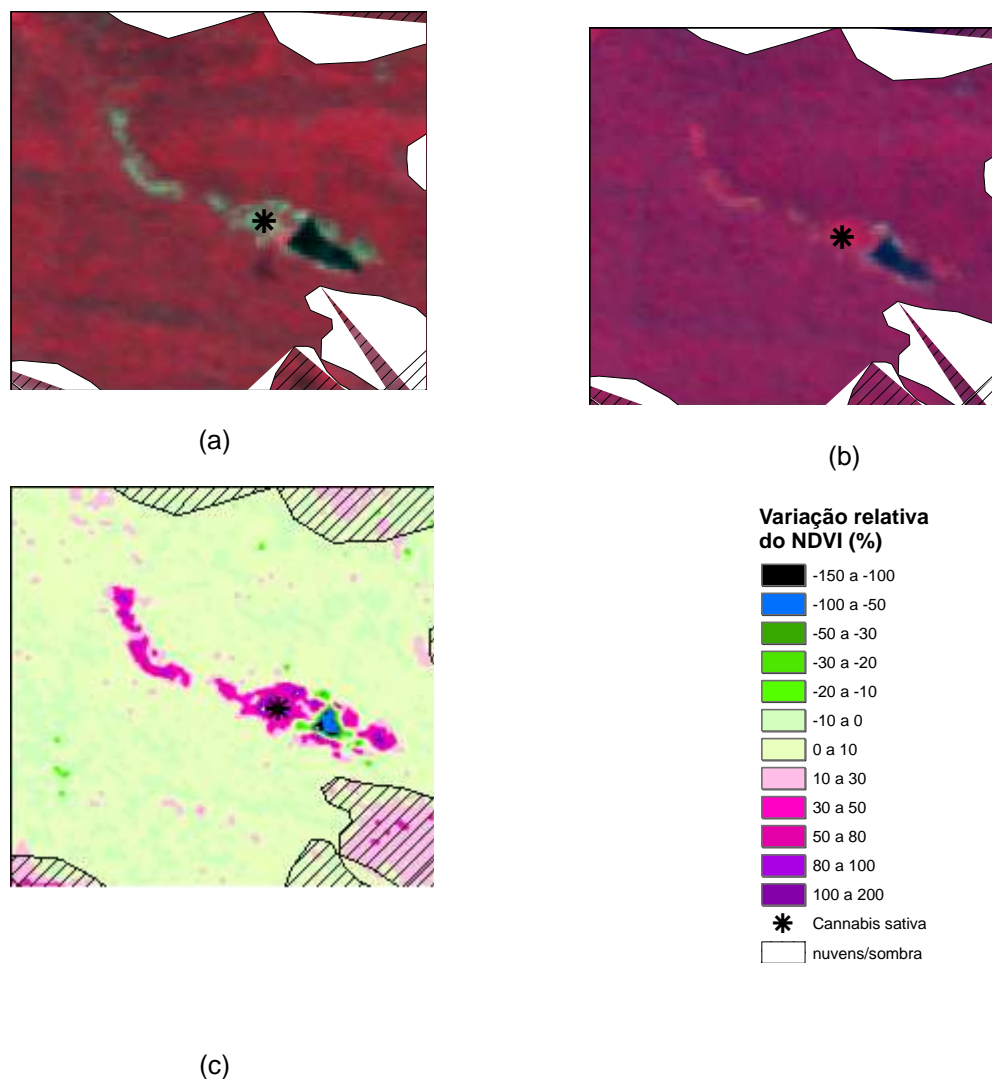


Figura 33. Sítio ilegal de produção de *Cannabis sativa* circundado por Caatinga Florestada em composição colorida SPOT 5 HRG, 10 metros de resolução (RGB 3/2/1) em 15 de abril de 2007 (a) e em 31 de maio de 2007 (b). Variação temporal relativa do NDVI gerada por matemática de bandas conforme a equação: $((100 \cdot B2/B1) - 100)$ onde $B1 = \text{NDVI}$ em 15 de abril de 2007 e $B2 = \text{NDVI}$ em 31 de maio de 2007 (c). Plantio de *Cannabis sativa* confirmado e erradicado durante a Operação Prometeu em 9 de junho de 2007.

Fonte: Imagens SPOT 5 (Copyright CNES) processadas pela pesquisadora.



Figura 34. Fotos a partir de helicóptero do plantio registrado nas imagens SPOT 5.
Fonte: Polícia Federal, 2007.

O segundo exemplo corresponde a três plantios de *Cannabis sativa* erradicados em 13 e 14 de junho de 2007 durante a Operação Prometeu. O plantio maior ocupava área estimada de 3,9 ha, 9.230 covas e 27.690 plantas de *Cannabis sativa* com altura variando entre 1 a 1,6 metros. Os outros dois plantios ocupavam área aproximada de 0,72 ha e 0,35 ha com, respectivamente, 2.129 covas e 8.516 plantas com altura entre 1,6 a 2 metros, e 1260 covas e plantas com altura entre 1,5 a 2 metros (Figuras 35 a 38).

No segundo exemplo, a análise do NDVI nos meses de abril e maio de 2007 foi compatível com a tendência sazonal da Caatinga de apresentar pico vegetativo no final da estação chuvosa, seguido de queda gradual da biomassa com o início da estação seca. Os três sítios de produção de *Cannabis* cobertos pela imagem apresentaram crescimento vegetativo muito superior ao observado nas áreas de vegetação natural, e drástica queda entre maio e julho, após a erradicação do plantio pela Polícia em junho de 2007. Novamente, constatou-se valores de NDVI elevados para a vegetação natural nos meses de maio, final da estação chuvosa, com índices próximos a 0,8, contra valores entre 0,3 e 0,4 em setembro de 2006 e abaixo de 0,3 em outubro de 2007.

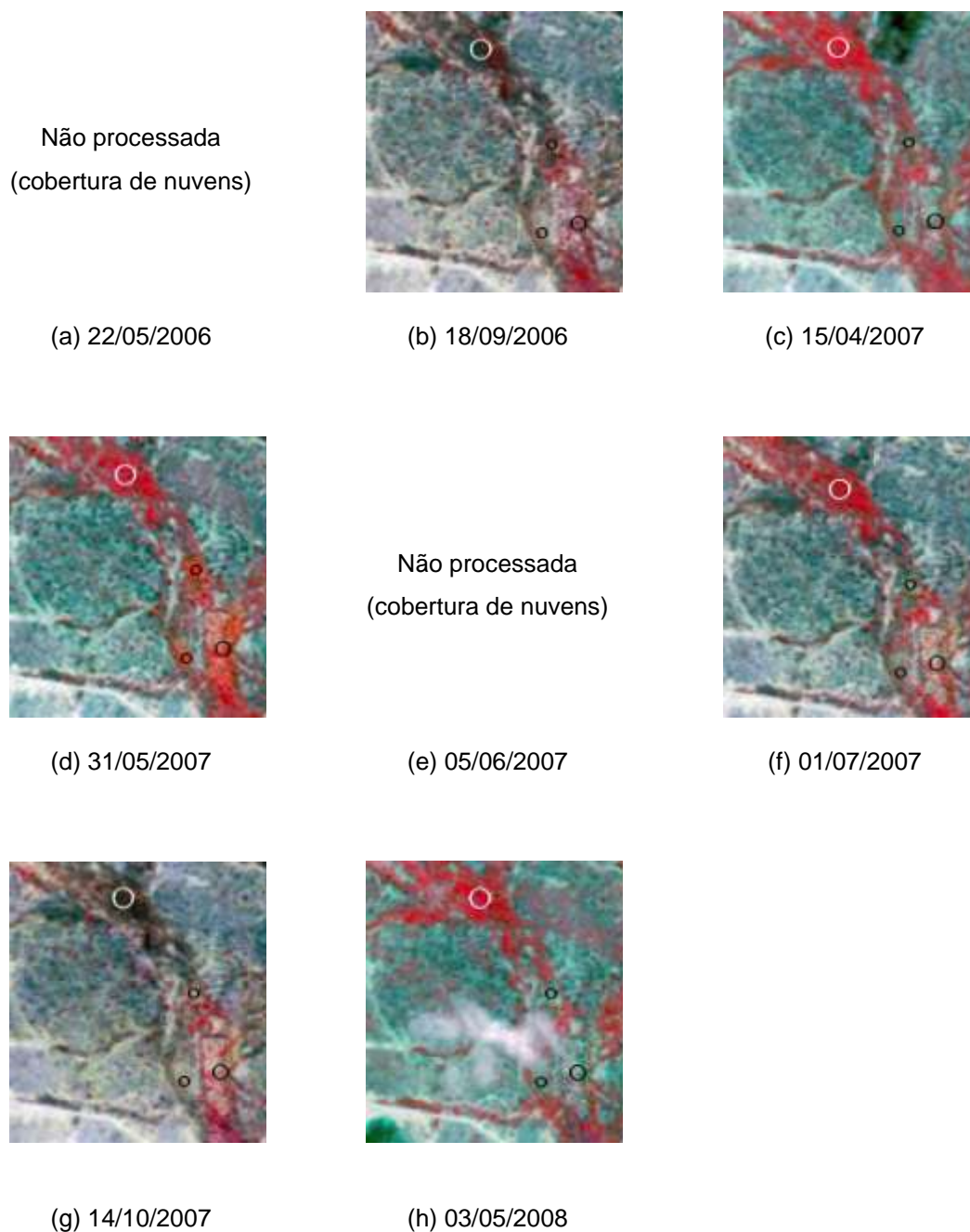


Figura 35. Sítios ilegais de produção de *Cannabis sativa* circundados por vegetação ripária em série temporal SPOT 5 - composição colorida (RGB 3/2/1) (a - h). Áreas de treinamento para medição do NDVI estão representadas por círculos pretos (*Cannabis sativa*) e brancos (vegetação ripária).

Fonte: Imagens SPOT 5: Copyright CNES, Distribution SISA, Source: SEAS Guyane, processadas pela pesquisadora.

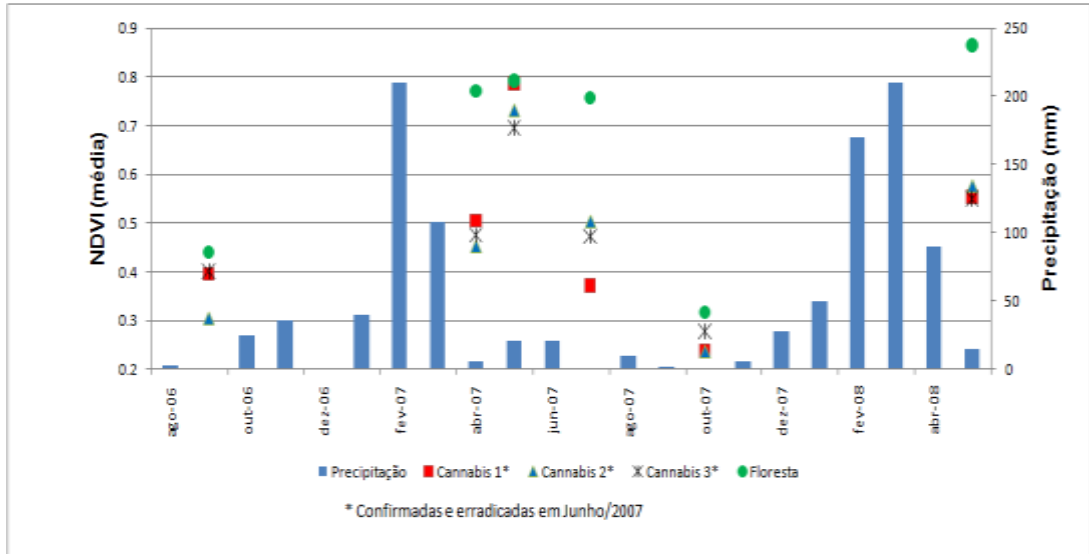


Figura 36. Valores médios do NDVI de sítios ilegais de produção de *Cannabis sativa* e de vegetação ripária adjacente, em imagens SPOT 5 HRG,10 metros de resolução (RGB 3/2/1) e os dados de precipitação mensal. Plantios de *Cannabis sativa* confirmados e erradicados durante a Operação Prometeu em 13 e 14 de junho de 2007.
 Fonte: Imagens SPOT 5 (Copyright CNES) processadas pela pesquisadora.

:



Figura 37. Foto de um dos plantios registrado nas imagens SPOT 5. Esse plantio encontrava-se em área de planícies aluviais com cobertura de algarobeiras (*Prosopis juliflora*), espécie exótica de comportamento invasor.
 Fonte: Polícia Federal, 2007.

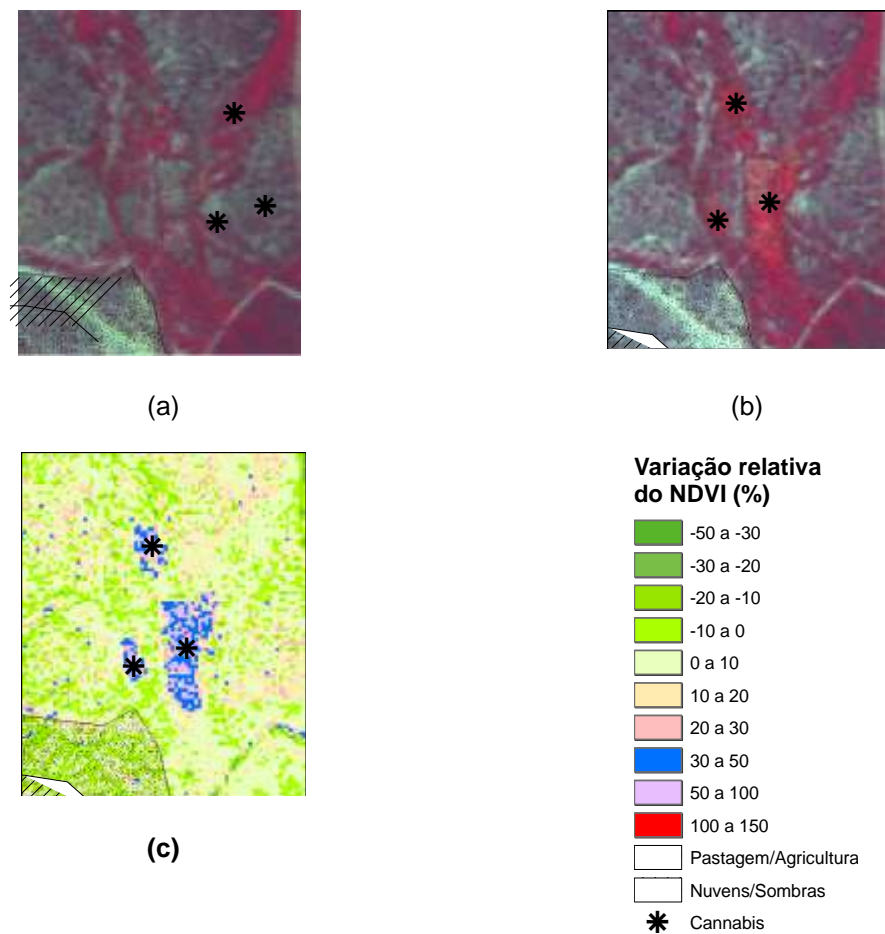


Figura 38. Sítios ilegais de produção de *Cannabis sativa* circundados por vegetação ripária em composição colorida SPOT 5 HRG, 10 metros de resolução (RGB 3/2/1) em 15 de abril de 2007 (a) e em 31 de maio de 2007 (b). Variação temporal relativa do NDVI entre 15 de abril de 2007 e em 31 de maio de 2007 (c). Plantios confirmados e erradicados durante a Operação Prometeu em 13 e 14 de junho de 2007.

Fonte: Imagens SPOT 5: Copyright CNES, Distribution SISA, Source: SEAS Guyane, processadas pela pesquisadora.

A variação relativa do NDVI no período resulta em incrementos entre 46 e 62% para os plantios de *Cannabis sativa* contra 2,72% na área de vegetação de galeria, indicando o emprego de técnicas artificiais de cultivo nas áreas de *Cannabis sativa* em momento que ocorre a redução do crescimento da vegetação natural (Tabela 5; Figura 38).

Tabela 5. Valores médios e variação temporal relativa do NDVI de sítios ilegais de produção de *Cannabis sativa* e de vegetação ripária situada nas adjacências a partir de dados de reflectância SPOT 5.

Parâmetro	Data					
	18/09/2006	15/04/2007	31/05/2007	01/07/2007	14/10/2007	03/05/2008
<i>Cannabis</i> 1 NDVI	0,3945	0,5040	0,7864	0,3713	0,2367	0,5542
<i>Cannabis</i> 2 NDVI	0,3032	0,4513	0,7301	0,5019	0,2348	0,5748
<i>Cannabis</i> 3 NDVI	0,4015	0,4752	0,6951	0,4726	0,2777	0,5504
Ripária	0,4395	0,7708	0,7917	0,7569	0,3172	0,8650
Período		setembro- abril	abril-maio	maio-julho	julho- outubro	outubro- maio
<i>Cann.</i> 1 Variação NDVI (%)		27,77	56,03	-52,78	-36,24	134,10
<i>Cann.</i> 2 Variação NDVI (%)		48,83	61,77	-31,25	-53,21	144,76
<i>Cann.</i> 3 Variação NDVI (%)		18,35	46,25	-32,01	-41,22	98,15
Ripária Variação NDVI (%)		75,38	2,72	-4,40	-58,09	172,67

Fonte: Imagens SPOT 5 (Copyright CNES) processadas pela pesquisadora.

A situação a seguir refere-se ao plantio de *Cannabis sativa* erradicado em 20 de novembro de 2007 durante a Operação Labareda, com área estimada de 0,3 ha; 2.494 covas; 11.976 plantas com altura média de 0,5 metros (Figuras 39 a 42).

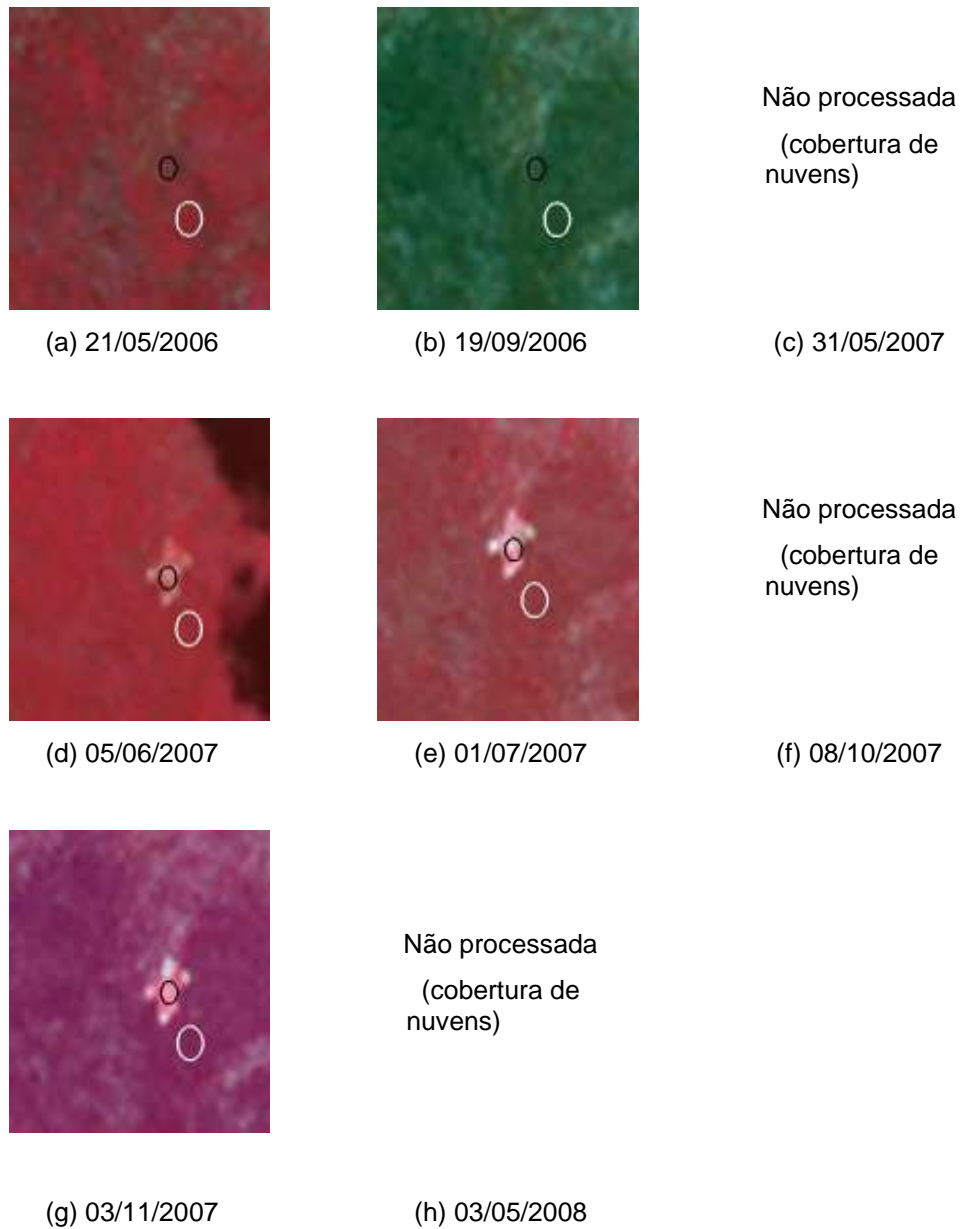


Figura 39. Sítio ilegal de produção de *Cannabis sativa* circundado por Caatinga Arborizada em série temporal SPOT 5 - composição colorida (RGB 3/2/1) (a - h). Áreas de treinamento para medição do NDVI estão representadas por círculos pretos (*Cannabis sativa*) e brancos (Caatinga Arborizada). Plantio de *Cannabis sativa* confirmado e erradicado durante a Operação Prometeu em 20 de novembro de 2007.

Fonte: Imagens SPOT 5: Copyright CNES, Distribution SISA, Source: SEAS Guyane, processadas pela pesquisadora.

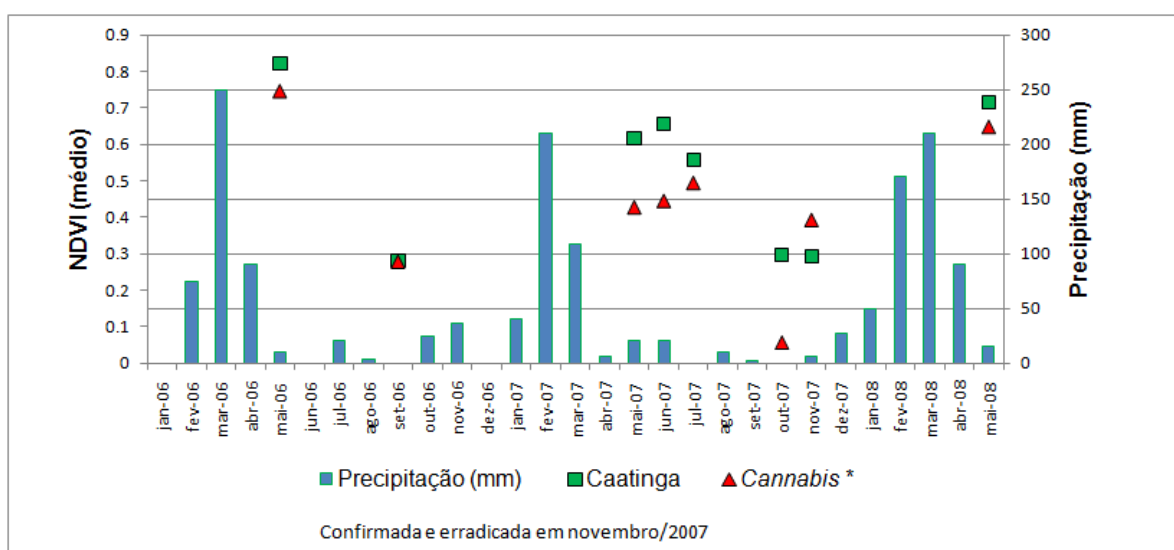


Figura 40. Valores médios do NDVI de sítio ilegal de produção de *Cannabis sativa* e de Caatinga Arborizada adjacente, em imagens SPOT 5 HRG, 10 metros de resolução (RGB 3/2/1) e os dados de precipitação mensal. Plantio de *Cannabis sativa* confirmado e erradicado durante a Operação Labareda em 20 de novembro de 2007.

Fonte: Imagens SPOT 5 (Copyright CNES) processadas pela pesquisadora.

Os dados observados na Figura 40 confirmam o padrão sazonal de altos índices de NDVI para a Caatinga no mês de maio (0,82 em 21 de maio de 2006) e valores baixos na estação seca (0,28 em 19 de setembro de 2006 e 0,29 em 03 de novembro de 2007). Nesse mesmo período, as amostras coletadas nas coordenadas do sítio erradicado apresentaram valores similares ao da Caatinga e a análise visual das imagens demonstra que a feição do plantio ainda não existia, indicando que a implantação ocorreu após setembro de 2006. Em relação ao plantio de *Cannabis sativa*, as diferenças na variação temporal são perceptíveis entre junho e julho de 2007 (Tabela 6).

Neste período, enquanto a vegetação natural da Caatinga apresenta queda de 15% no NDVI ocasionada pela menor disponibilidade hídrica, o sítio de *Cannabis* registrou elevação do índice em 11%. Entre julho e novembro, a Caatinga apresentou decréscimo ainda mais acentuado no NDVI (47%) enquanto o NDVI do sítio de *Cannabis* decresceu apenas 20%, e, pela primeira vez, registrou valores mais elevados que o da Caatinga. Em novembro de 2007, a Caatinga registrou valores de NDVI bem próximos ao valor registrado em setembro de 2006, enquanto os valores medidos nas coordenadas do sítio de *Cannabis* apresentou elevação de 0,27, em setembro de 2006 - ainda sem o plantio - para 0,39 em novembro de 2007, incremento que é indício de anomalia.



Figura 41. Sítio ilegal de produção de *Cannabis sativa* circundado por Caatinga Arborizada em imagem SPOT 5 - composição colorida (RGB 3/2/1) de 08 de outubro de 2007. Apesar da presença de nuvens, foi possível visualizar que o plantio (tonalidade vermelha correspondente à elevada reflectância na banda do infra vermelho próximo) apresentou quantidade de biomassa vegetal bastante superior à vegetação adjacente. Plantio de *Cannabis sativa* confirmado e erradicado durante a Operação Prometeu em 20 de novembro de 2007.

Fonte: Imagens SPOT 5 (Copyright CNES) processadas pela pesquisadora.

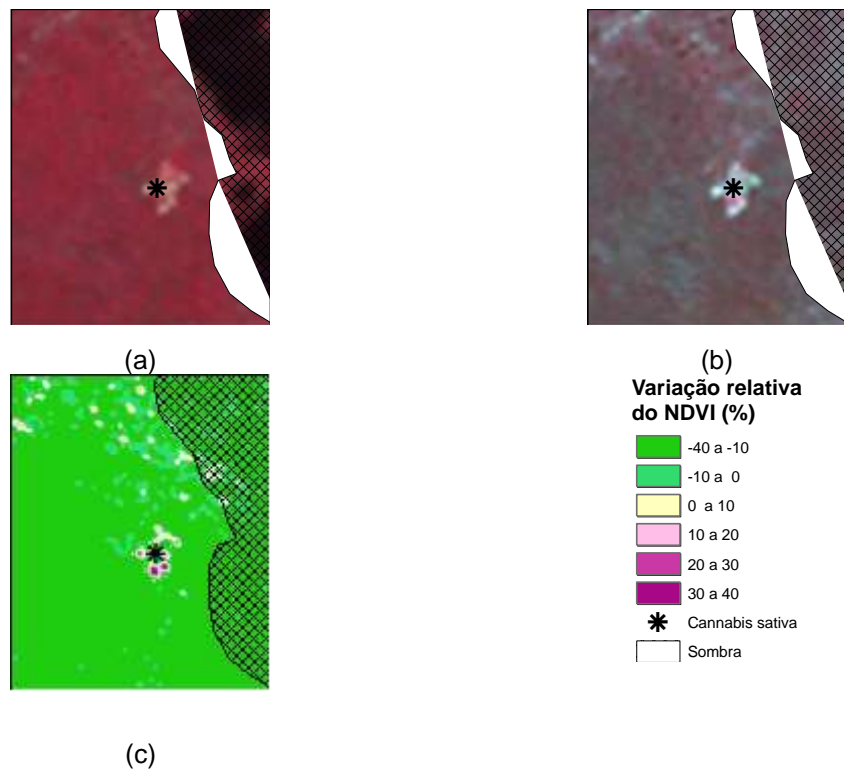


Figura 42. Sítio ilegal de produção de *Cannabis sativa* circundado por Caatinga Arborizada em composição colorida SPOT 5 HRG, 10 metros de resolução (RGB 3/2/1) em 05 de junho de 2007 (a) e em 01 de julho de 2007 (b). Variação temporal relativa do NDVI entre 05 de junho de 2007 e 01 de julho de 2007 (c). Plantio de *Cannabis sativa* confirmado e erradicado durante a Operação Labareda em 20 de novembro de 2007.

Fonte: Imagens SPOT 5: Copyright CNES, Distribution SISA, Source: SEAS Guyane, processadas pela pesquisadora.

Tabela 6. Valores médios e variação temporal relativa do NDVI de sítio ilegal de produção de *Cannabis sativa* e de Caatinga Arborizada situada nas adjacências a partir de dados de reflectância SPOT 5.

Data	<i>Cannabis</i> NDVI	Caatinga Arborizada NDVI	Período	<i>Cannabis</i> Variação NDVI (%)	Caatinga Variação NDVI (%)
21/05/06	0,7438	0,8212			
19/09/06	0,2772	0,2814	Maio-setembro	-62,7353	-65,7252
05/06/07	0,4431	0,6545	Setembro- junho	59,8737	132,5246
01/07/07	0,4927	0,5567	Junho-Julho	11,1916	-14,9357
03/11/07	0,3913	0,2911	Julho- novembro	-20,5744	-47,7075

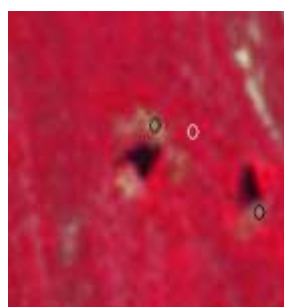
Fonte: Imagens SPOT 5 (Copyright CNES) processadas pela pesquisadora.

A situação seguinte refere-se a plantios de *Cannabis sativa* erradicados em 19 de maio de 2008 durante a Operação Colheita. O plantio maior ocupava área estimada de 2 ha, 2.662 covas e 10.648 plantas de *Cannabis sativa* com altura média de 1 metro. O outro plantio ocupava área aproximada de 0,9 ha, 1.057 covas e 3.171 plantas com altura média de 1 metro (Figuras 43 a 45).

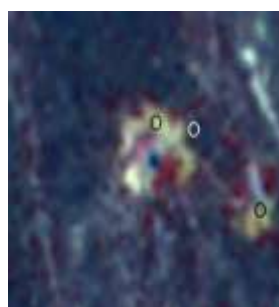
Os dados observados na Figura 44 confirmaram o padrão sazonal de altos índices de NDVI para a Caatinga no mês de maio (0,79 em 22 de maio de 2006, 0,73 em 31 de maio de 2007 e 0,84 em 03 de maio de 2008) e valores baixos na estação seca (0,34 em 18 de setembro de 2006, 0,26 em 14 de outubro de 2007). Os plantios de *Cannabis sativa*, entretanto, apresentaram variações irregulares, com quedas bruscas do NDVI durante a estação chuvosa, equivalente a 30 e 40% entre 15 de abril de 2007 e 31 de maio de 2007, enquanto a Caatinga ainda apresentava-se em fase de crescimento (incremento de 7% do NDVI).

Essa variação no sítio de produção de *Cannabis* provavelmente decorreu de operações de colheita ou preparo do solo para plantio. Outra anomalia do sítio de produção de *Cannabis* em relação às áreas de vegetação natural constituiu-se na grande variação interanual dos índices NDVI, em referência aos valores registrados no mês de maio (Tabela 7). Enquanto a vegetação natural circundante apresentou variação de aproximadamente 5% quando comparados os valores de NDVI registrados em maio de 2006 e maio de 2008, as áreas de *Cannabis* apresentaram

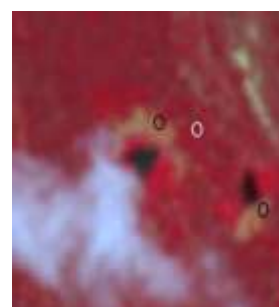
variação de 31 e 43%, índices bem superiores ao normalmente observados nas áreas naturais.



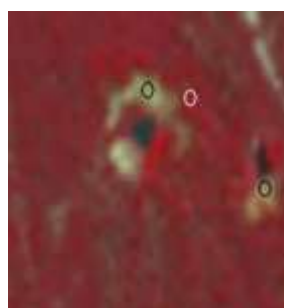
(a) 22/05/2006



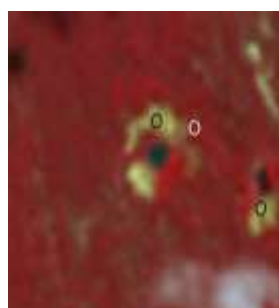
(b) 18/09/2006



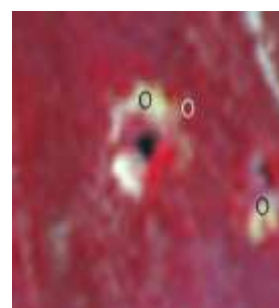
(c) 15/04/2007



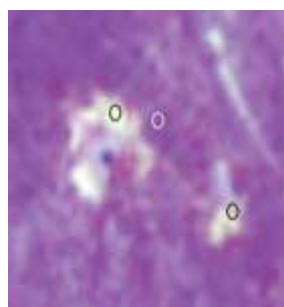
(d) 31/05/2007



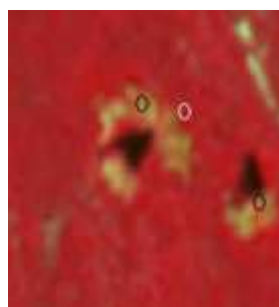
(e) 05/06/2007



(f) 01/07/2007



(g) 14/10/2007



(h) 03/05/2008

Figura 43. Sítios ilegais de produção de *Cannabis sativa* circundados por Caatinga (Florestada e Arborizada) em série temporal SPOT 5 - composição colorida (RGB 3/2/1) (a - h). Áreas de treinamento para medição do NDVI estão representadas por círculos pretos (*Cannabis sativa*) e brancos (Caatinga Arborizada). Plantios confirmados e erradicados durante a Operação Colheita em 19 de maio de 2008.

Fonte: Imagens SPOT 5: Copyright CNES, Distribution SISA, Source: SEAS Guyane, processadas pela pesquisadora.

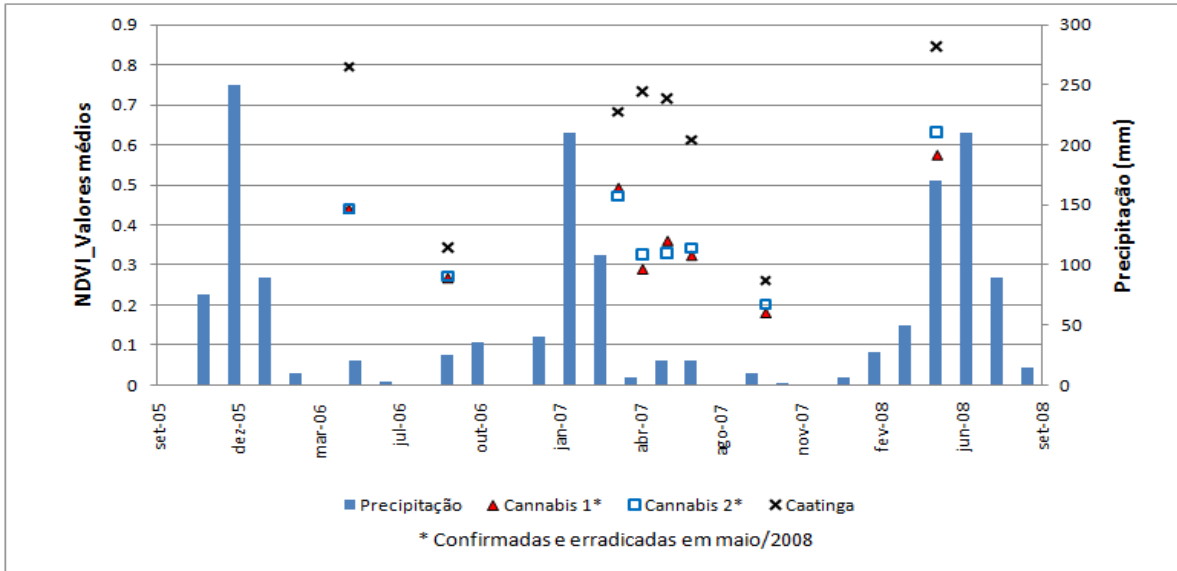


Figura 44. Valores médios do NDVI de sítios ilegais de produção de *Cannabis sativa* e de Caatinga Arborizada adjacente, em imagens SPOT 5 HRG, 10 metros de resolução (RGB 3/2/1) e os dados de precipitação mensal. Plantios de *Cannabis sativa* confirmados e erradicados durante a Operação Colheita em 19 de maio de 2008. Fonte: Imagens SPOT 5 (Copyright CNES) processadas pela pesquisadora.

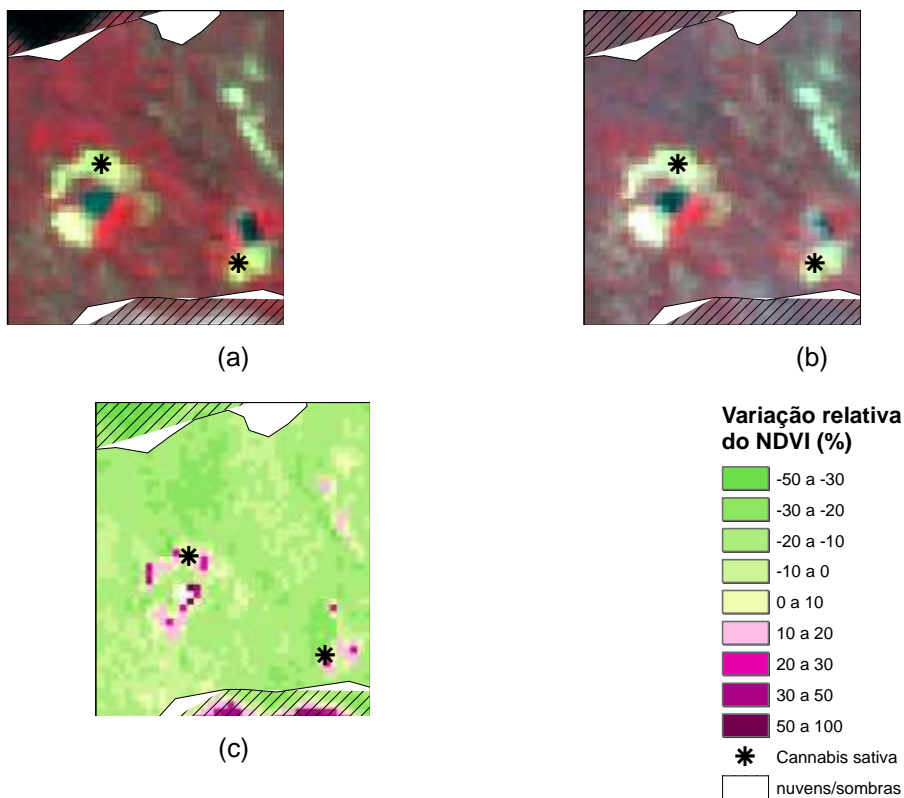


Figura 45. Sítios ilegais de produção de *Cannabis sativa* circundados por Caatinga Arborizada em composição colorida SPOT 5 HRG, 10 metros de resolução (RGB 3/2/1) em 05 de junho de 2007 (a) e em 01 de julho de 2007 (b). Variação temporal relativa do NDVI entre 05 de junho de 2007 e 01 de julho de 2007 (c). Plantios confirmados e erradicados durante a Operação Colheita em 19 de maio de 2008. Fonte: Imagens SPOT 5: Copyright CNES, Distribution SISA, Source: SEAS Guyane, processadas pela pesquisadora.

Tabela 7. Valores médios e variação temporal relativa do NDVI de sítios ilegais de produção de *Cannabis sativa* e de Caatinga Arborizada adjacente a partir de dados de reflectância SPOT 5.

Data	Cann. 1 NDVI	Cann. 2 NDVI	Caatinga NDVI	Período	Cann. 1 Var. NDVI (%)	Cann. 2 Var. NDVI (%)	Caatinga Var. NDVI (%)
22/05/2006	0,4403	0,4406	0,7947				
18/09/2006	0,2680	0,2721	0,3445	maio- setembro	-39,1360	-38,2422	-56,6470
15/04/2007	0,4928	0,4723	0,6831	setembro- abril	83,8702	73,5812	98,2950
31/05/2007	0,2897	0,3259	0,7334	abril- maio	-41,2007	-30,9994	7,3545
05/06/2007	0,3604	0,3302	0,7165	maio- junho	24,3842	1,32874	-2,2955
01/07/2007	0,3239	0,3419	0,6129	junho- julho	-10,1154	3,5460	-14,4580
14/10/2007	0,1803	0,2014	0,2617	julho- outubro	-44,3327	-41,0853	-57,3062
03/05/2008	0,5746	0,6306	0,8468	outubro- maio	218,6231	212,9847	223,5908

Fonte: Imagens SPOT 5 (Copyright CNES) processadas pela pesquisadora.

A situação a seguir refere-se a plantio de *Cannabis sativa* erradicado em 06 de junho de 2007 durante a Operação Prometeu, com área estimada de 0,51 ha; 1.520 covas, 6.080 plantas de *Cannabis sativa* com altura variando de 10 cm a mais de 1 metro. O plantio apresentava elevado percentual de falhas (Figuras 46 a 49).

Os dados observados na Figura 47 confirmaram o padrão sazonal de elevação do NDVI da Caatinga e da Floresta no mês de maio quando ocorre o final da estação chuvosa (NDVI da Caatinga de 0,66 em 21 de maio de 2006, 0,52 em 31 de maio de 2007 e 0,70 em 03 de maio de 2008 e da Floresta de 0,79 em 21 de maio de 2006, 0,75 em 31 de maio de 2007 e 0,77 em 03 de maio de 2008), e valores baixos na estação seca (0,27 em 19 de setembro de 2006, 0,26 em 03 de novembro de 2007 para a Caatinga e 0,29 em 19 de setembro de 2006, 0,42 em 03 de novembro de 2007 para a Floresta). O plantio de *Cannabis sativa*, entretanto,

apresentou variação anômala, registrando NDVI de 0,57 em setembro de 2006, bem acima dos valores esperados para a vegetação natural que na mesma data registrou índices de 0,27 e 0,29 (Tabela 8). Outra anomalia corresponde à queda brusca de 20% entre maio e julho, enquanto a vegetação natural se manteve praticamente estável. Essa queda do NDVI do sítio de produção de *Cannabis* é resultado da erradicação pela Polícia em junho de 2007.

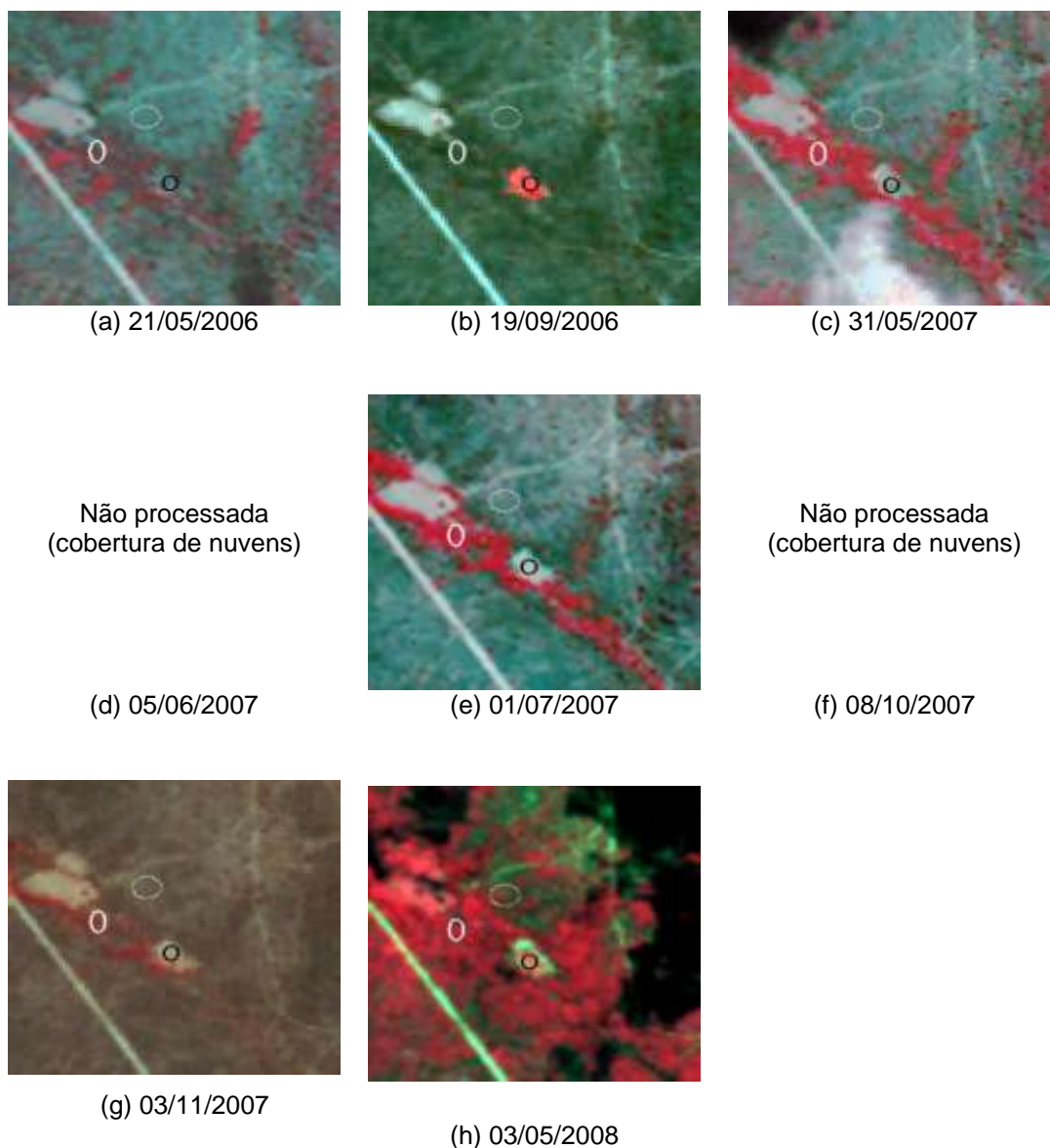


Figura 46. Sítio ilegal de produção de *Cannabis sativa* circundado por Caatinga Arborizada e Floresta de galeria em série temporal SPOT 5 - composição colorida (RGB 3/2/1) (a - h). Áreas de treinamento para medição do NDVI estão representadas por círculos pretos (*Cannabis sativa*), branco pontilhado (Caatinga Arborizada) e branco contínuo (Floresta de galeria).

Fonte: Imagens SPOT 5: Copyright CNES, Distribution SISA, Source: SEAS Guyane, processadas pela pesquisadora.

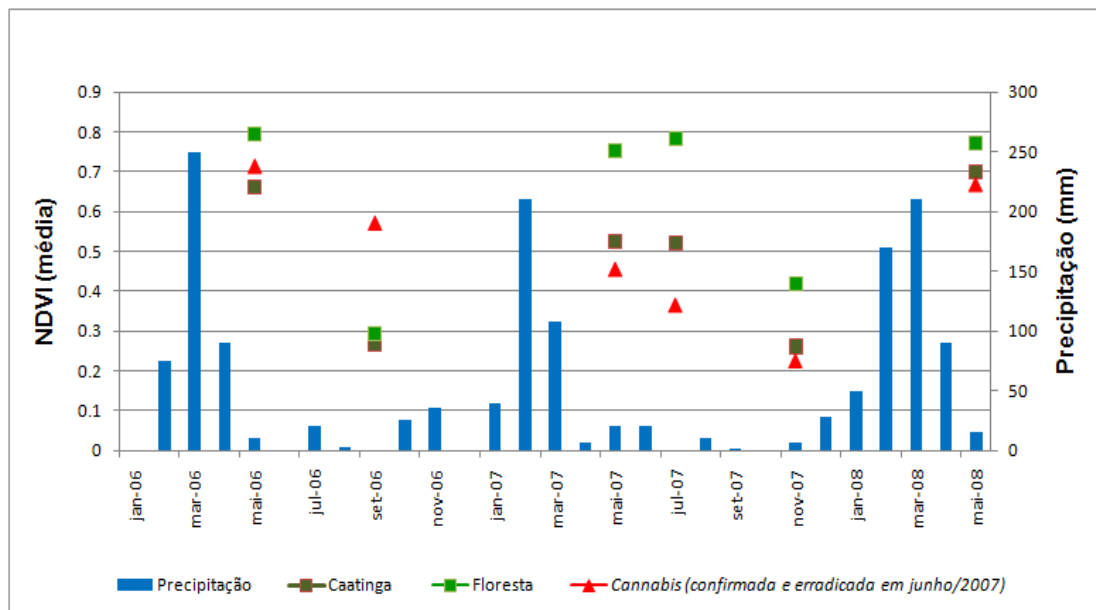


Figura 47. Valores médios do NDVI de sítio ilegal de produção de *Cannabis sativa* e de Caatinga e Floresta de galeria adjacentes, em imagens SPOT 5 HRG, 10 metros de resolução (RGB 3/2/1) e os dados de precipitação mensal. Plantio de *Cannabis sativa* confirmado e erradicado durante a Operação Prometeu em 06 de junho de 2007. Fonte: Imagens SPOT 5 (Copyright CNES) processadas pela pesquisadora.



Figura 48. Foto do plantio registrado nas imagens SPOT 5. Fonte: Polícia Federal, 2007.

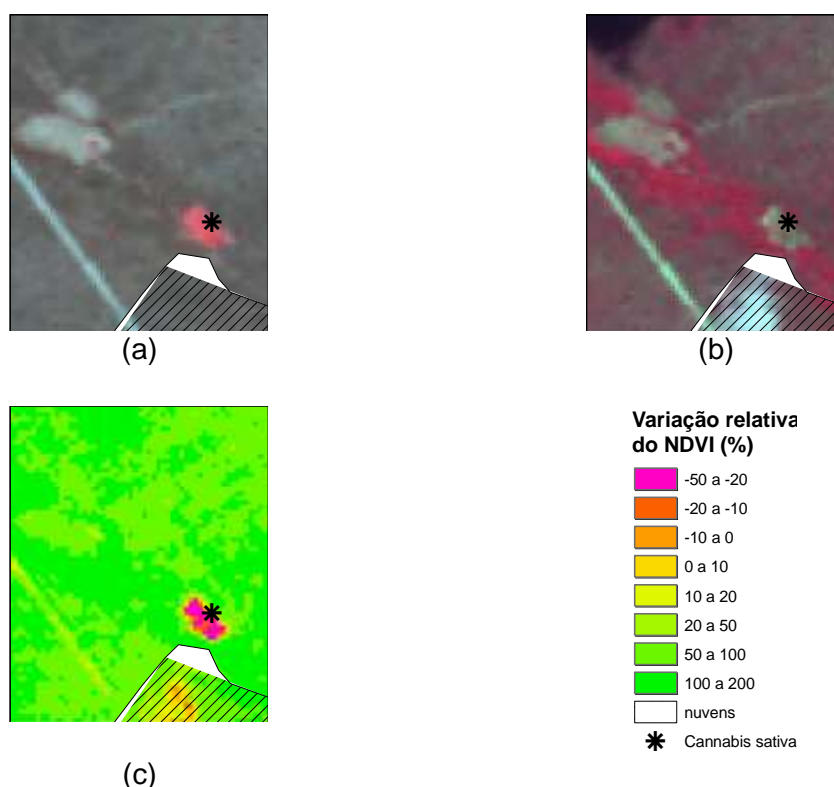


Figura 49. Sítio ilegal de produção de *Cannabis sativa* circundado por Caatinga Arborizada e Floresta de galeria adjacentes em composição colorida SPOT 5 HRG, 10 metros de resolução (RGB 3/2/1) em 19 de setembro de 2006 (a) e em 31 de maio de 2007 (b). Variação temporal relativa do NDVI entre 19 de setembro de 2006 e 31 de maio de 2007 (c). Plantio confirmado e erradicado durante a Operação Prometeu em 06 de junho de 2007. Fonte: Imagens SPOT 5 (Copyright CNES) processadas pela pesquisadora.

Tabela 8. Valores médios e variação temporal relativa do NDVI de sítio ilegal de produção de *Cannabis sativa* e Caatinga Arborizada e Floresta de Galeria adjacentes a partir de dados de reflectância SPOT 5.

Data	Caatinga Arborizada NDVI	Floresta NDVI	Cannabis NDVI	Período	Caatinga Variação NDVI (%)	Floresta Variação NDVI (%)	Cannabis Variação NDVI (%)
21/05/06	0,66	0,79	0,71				
19/09/06	0,27	0,29	0,57	Maio-setembro	-59,35	-63,28	-19,93
31/05/07	0,52	0,75	0,46	Setembro-maio	94,89	157,99	-20,26
01/07/07	0,52	0,78	0,37	Maio-julho	-0,73	3,91	-19,73
03/11/07	0,26	0,42	0,23	Julho-novembro	-49,96	-46,48	-38,06
03/05/08	0,70	0,77	0,67	Novembro-maio	168,15	84,32	194,92

Fonte: Imagens SPOT 5 (Copyright CNES) processadas pela pesquisadora.

Nos cinco exemplos analisados, a vegetação natural apresentou padrões sazonais de elevação do NDVI no final da estação chuvosa e queda durante a estação seca, com pequenas variações interanuais nos índices registrados.

Contrariamente, observou-se comportamento bastante irregular dos plantios de *Cannabis sativa*, com incrementos ou quedas bruscas do NDVI decorrentes, respectivamente, de períodos de rápido crescimento sustentado artificialmente com emprego de irrigação ou da remoção do estrato vegetal durante colheitas pelos plantadores ou erradicações pela polícia.

Por fim, a análise do contraste do NDVI em séries temporais SPOT 5 por meio de imagens de diferença demonstrou que análise de mudanças pode contribuir para a detecção de cultivos de *Cannabis sativa* em áreas propícias à instalação de plantios ilícitos (Figuras 33, 38, 42, 45 e 49).

6.3.2 Padrões espaciais – análise exploratória de dados espaciais

6.3.2.1 Padrões de agregação e densidade dos plantios

A análise da Figura 50 e Tabela 9 indica maior frequência de plantios por unidade de área nas Ilhas, seguida pelas Serras e, por último, na Caatinga. Uma hipótese que pode explicar a localização preferencial nas áreas de Ilhas pode ser a disponibilidade abundante de água para irrigação, que supre as exigências agronômicas da planta e o baixo risco de punição para os criminosos. Como as ilhas fluviais são consideradas bens da União, essas áreas não são susceptíveis de ações expropriatórias e, portanto, resultam em menor risco para os criminosos.

Já os plantios localizados nas Serras estão menos sujeitos à identificação pelos agentes policiais em função da dificuldade de acesso proporcionada pelo relevo excessivamente íngreme, associado à densa cobertura vegetal com alto poder de camuflagem. Dessa maneira, embora o manejo do plantio nas serras seja mais trabalhoso, uma hipótese é que essas áreas sejam selecionadas pelos criminosos para o plantio da *Cannabis sativa* devido ao menor risco de punição e perdas financeiras. Por último, a grande extensão da unidade de paisagem Caatinga resulta em uma baixa frequência de plantios de *Cannabis sativa* por unidade de área quando comparada às demais.

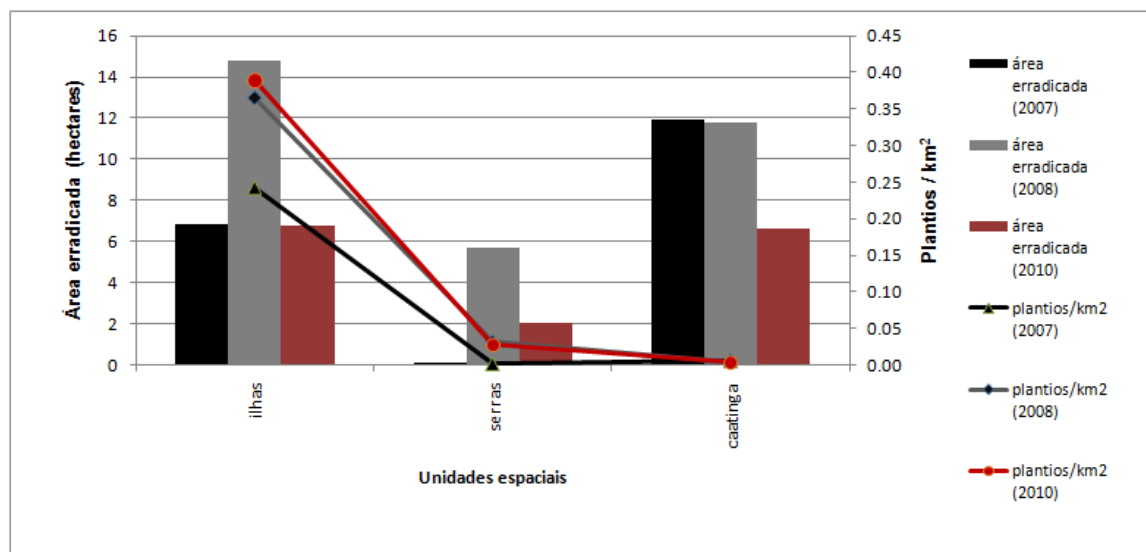


Figura 50. Área de cultivos ilícitos erradicada nas unidades de paisagem Ilhas, Serras e Caatinga durante operações policiais conduzidas em junho de 2007, maio de 2008 e maio de 2010. Em 2007, as áreas de serras foram sobrevoadas em uma 2ª etapa da Operação Policial, o que impactou os resultados da erradicação nessa unidade.
Fonte: Dados da pesquisa.

O cálculo do índice do vizinho mais próximo aplicado aos dados da erradicação conduzida em junho de 2008 indicou tendência de agrupamento dos plantios nas unidades Ilhas e Caatinga e tendência de dispersão na unidade Serras (Tabela 10). O índice mensura a distância entre cada centróide e o centróide mais próximo e calcula a média de todas essas distâncias. Se o valor resultante for inferior ao valor esperado para a distribuição aleatória, a distribuição dos pontos é considerada agregada. Opostamente, se a distância média for superior à esperada com a distribuição aleatória hipotética, as feições são consideradas dispersas.

A análise da distribuição dos plantios nas Ilhas e na Caatinga resultaram em valor de z negativo e em valor de P próximo a zero, indicando que é improvável que a hipótese de nulidade, de que o padrão de distribuição observado seja resultado do acaso, tenha sido rejeitada indevidamente. Ou seja, a distribuição dos plantios nessas unidades de paisagem obedeceu a padrões de agregação estatisticamente significantes que podem ser úteis para subsidiar a compreensão da distribuição dos plantios na paisagem. Em relação às Serras, os resultados não permitiram rejeitar a hipótese de nulidade de que a distribuição dos plantios na unidade é aleatória.

Porém, embora a análise da distância média do vizinho mais próximo tenha identificado padrão de agregação apenas nas Ilhas e na Caatinga, a análise visual do mapa de densidade Kernel gerada para os mesmos dados (Figura 51)

possibilitou a identificação de áreas com elevada densidade e áreas de densidade reduzida também nas Serras, indicando provável distribuição não aleatória nesta unidade, que será alvo de investigação complementar por técnicas de análise de pesos de evidência.

Tabela 9. Comparativo dos resultados das operações policiais de erradicação nas unidades de paisagem Ilhas, Serras e Caatinga.

Fator/Unidades	Ilhas	Serras	Caatinga	Total
Extensão ⁽¹⁾	169,7 km ² (2% da área total)	833 km ² (9,4% da área total)	7.872,9 km ² (88,6% da área total)	8.875 km ²
Resultados das erradicações				
Junho/2007 ^(2,3)				
Número de plantios	41	1	42	84
Área erradicada - dados absolutos	68.328 m ²	400 m ²	119.046 m ²	187.774 m ²
Frequência/área	0,24 plantios/km ²	0,0012 plantios/km ²	0,005 plantios/km ²	0,009 plantios/km ²
Maior/2008 ⁽²⁾				
Número de plantios	62	26	38	126
Área erradicada - dados absolutos	148.229 m ²	56.647 m ²	117.607 m ²	322.483 m ²
Frequência/área	0,36 plantios/km ²	0,03 plantios/km ²	0,005 plantios/km ²	0,014 plantios/km ²
Maior/2010 ⁽²⁾				
Número de plantios	66	23	24	113
Área erradicada - dados absolutos	67.456 m ²	20.635 m ²	66.408 m ²	154.499 m ²
Frequência/área	0,388 plantios/km ²	0,027 plantios/km ²	0,003 plantios/km ²	0,0127 plantios/km ²

⁽¹⁾ a área da unidade ilhas ocupa aproximadamente 274 km², considerando-se a lâmina d'água do rio São Francisco; ⁽²⁾ os dados incluem plantios situados em ilhas que, em função de localização imprecisa (coordenadas incidentes na lâmina d'água), foram desconsiderados nas análises de pesos de evidência nas ilhas; ⁽³⁾ em 2007, as áreas de serras foram sobrevoadas em uma 2ª etapa da Operação Policial, o que impactou os resultados da erradicação nessa unidade.

Fonte: Dados da pesquisa.

Tabela 10. Análise estatística da distância média do vizinho mais próximo referente aos plantios erradicados em maio de 2007 nas unidades de paisagem Ilhas, Serras e Caatinga.

Parâmetros	Ilhas	Serras	Caatinga
Distância média observada	873,32	3642,04	2455,27
Distância média esperada	2454,02	3376,64	4498,43
Razão do vizinho mais próximo	0,355873	1,078597	0,545807
z score	-8,173892	0,766693	-5,356279
p-value	0,000000	0,443264	0,000000
Tendência	agrupamento	dispersão	agrupamento

Fonte: Dados da pesquisa.

6.3.2.2 Análise de pesos de evidência

São apresentados a seguir os resultados das análises de pesos de evidência que foram conduzidas com o intuito de investigar e ponderar a influência de diferentes fatores ambientais na distribuição dos plantios de *Cannabis sativa* na área de estudo.

As análises foram efetuadas separadamente para as unidades Ilhas, Caatinga e Serras em função das peculiaridades de cada unidade de paisagem, detalhadas anteriormente. Nesta análise, foram empregados dados de localização dos plantios erradicados durante a Operação Prometeu, em junho de 2007, dados da Operação Colheita, em maio de 2008, e dados da Operação Liamba, em maio de 2010, situados dentro dos limites da área de estudo. A análise de dados de anos diferentes teve por objetivo avaliar a persistência temporal do padrão estudado. Foram excluídos da análise de pesos de evidência nas Ilhas, os pontos de localização imprecisa, cujas coordenadas incidiram na lâmina d'água do rio São Francisco.

Para cada evidência foram analisados os valores de W^+ , W^- e do contraste C . Valores positivos de W^+ e negativos de W^- indicam associação positiva com as ocorrências de plantios ilícitos e vice-versa. Por sua vez, o valor máximo do contraste pode ser utilizado para selecionar classes categóricas de mais forte associação com os plantios ilícitos (método categórico), ou para indicar o ponto de corte em análises cumulativas como no caso de classes de distâncias acumuladas (método ascendente ou descendente)

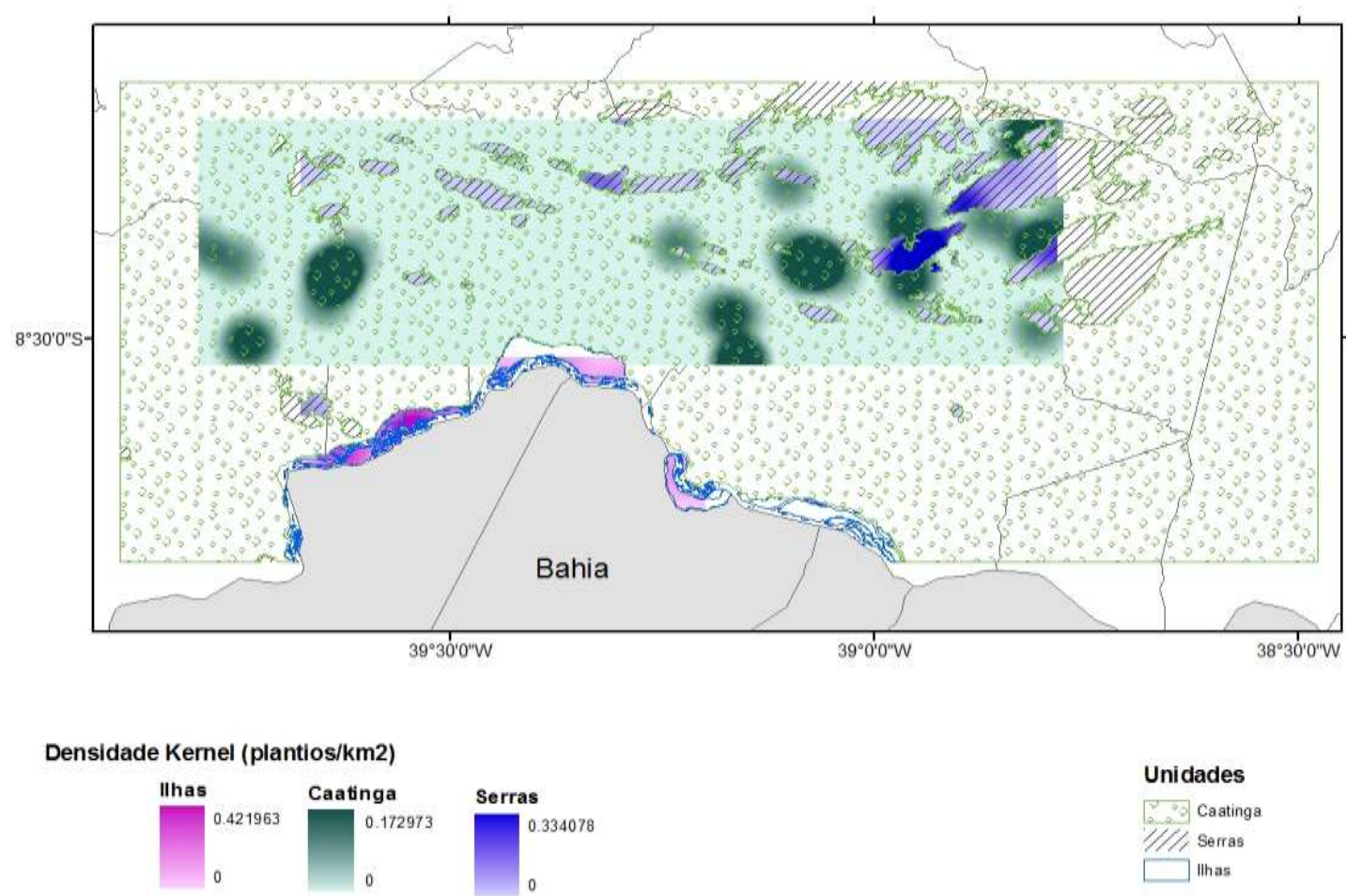


Figura 51. Densidade Kernel dos plantios de *Cannabis sativa* erradicados em maio de 2008, gerada separadamente para cada unidade de paisagem para um raio de busca de 5 km.

Fonte: Mapa de unidades de paisagem e dados de localização dos plantios processados pela pesquisadora.

a. Relações espaciais na unidade Ilhas

Como demonstrado anteriormente, a incidência de cultivos ilícitos nas ilhas fluviais do rio São Francisco é muito elevada e concentrada em uma área bastante restrita, condições que justificam o emprego de sensores de maior resolução espacial para análise detalhada da superfície. Por esse motivo, a análise de pesos de evidência nesta unidade avaliou um único fator e consistiu em uma avaliação preliminar voltada à identificação de *hotspots* que visa fornecer subsídios para estudos específicos posteriores. Os resultados também podem subsidiar ações de varredura aérea ou seleção de áreas prioritárias para imageamento.

O fator testado foi o tamanho das ilhas, visto que, a partir da análise visual, percebe-se maior incidência de plantios de *Cannabis sativa* nas ilhas menores, talvez em decorrência da menor procura dessas ilhas para a agricultura tradicional. Foi empregado o método ascendente, pressupondo-se que, quanto menor a ilha, maior a propensão à ocorrência dos plantios de *Cannabis sativa*. Os resultados (Tabelas 11 e 12; Figuras 52 e 53) confirmaram essa tendência ao nível de 98% de probabilidade. Ou seja, verificou-se uma tendência crescente de concentração dos plantios de *Cannabis sativa* naquelas de menor tamanho. Para os dados de 2007 e 2008 (tabelas 11 e 12) os valores máximos de W^+ foram de 2,41 e 2,54 para as ilhas com dimensões entre 1 e 5 hectares. Ressalte-se que valores absolutos de peso maiores que 2 são considerados como extremamente preditivos (KEMP; BONHAM-CARTER; RAINES, 1999) indicando que essa classe é extremamente associada à ocorrência de plantios ilícitos. Entretanto, o valor de W^- não é negativo o suficiente para desconsiderar a ocorrência de plantios ilícitos nas ilhas com dimensões superiores a 5 hectares. Ou seja, a análise de pesos de evidência indicou que a ocorrência de plantios ilícitos decresce quanto maiores as dimensões das ilhas sendo a ocorrência significativa para ilhas de até 50 hectares (contraste máximo para classe de até 50 hectares e igual a 5,32 em 2007 e 4,73 em 2008).

Tabela 11. Resultados da análise de pesos de evidência do fator tamanho das ilhas com emprego do método ascendente e para T (*Studentized contrast*) = 2 (aproximadamente 98% de probabilidade). Foram usados, como áreas de treinamento, plantios de *Cannabis sativa* erradicados durante a operação Prometeu em junho de 2007.

Cl.	Área da ilha (ha)	Área (km ²)	n	W+	S_W+	W-	S_W-	C	C (S)	Stud (C)	Gen	Peso	W_STD
1	0,2-0,5	0,88	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2	1,87	0,17
2	0,2-1	1,93	3	1,98	0,58	-0,07	0,17	2,05	0,61	3,38	2	1,87	0,17
3	0,2-5	7,19	17	2,41	0,25	-0,57	0,22	2,98	0,33	8,97	2	1,87	0,17
4	0,2-10	11,17	20	2,12	0,23	-0,71	0,24	2,83	0,33	8,55	2	1,87	0,17
5	0,2 -50	25,77	36	1,87	0,17	-3,45	1,00	5,32	1,01	5,24	2	1,87	0,17
6	0,2-100	37,88	36	1,48	0,17	-3,36	1,00	4,84	1,01	4,77	1	-3,45	1,00
7	0,2-250	57,01	36	1,07	0,17	-3,20	1,00	4,27	1,01	4,21	1	-3,45	1,00
8	0,2-500	70,20	36	0,86	0,17	-3,08	1,00	3,94	1,01	3,88	1	-3,45	1,00
9	0,2-1000	89,99	36	0,61	0,17	-2,86	1,00	3,47	1,01	3,42	1	-3,45	1,00
10	0,2-4443	169,70	37	0,00	0,16	6,13	14,14	-6,13	14,14	-0,43	1	-3,45	1,00

onde: **S_W+** é o desvio-padrão de **W+**; **W-** é o peso das demais classes combinadas; **S_W-** é o desvio-padrão de **W-**; **C** é o contraste calculado pela diferença entre **W+** e **W-**; **C (S)** é o desvio-padrão do contraste; **Stud (C)** é o *Studentized contrast* calculado pela divisão do contraste pelo desvio-padrão; **Gen** é a classificação conforme resultados de peso de evidência onde o valor 1 corresponde às classes que não atendem o critério de confiança e o valor 2 corresponde às classes que atendem o critério de confiança.

Fonte: Dados da pesquisa.

Tabela 12. Resultados da análise de pesos de evidência do fator tamanho das ilhas com emprego do método ascendente e para T (*Studentized contrast*) = 2 (aproximadamente 98% de probabilidade). Foram usados como áreas de treinamento, plantios de *Cannabis sativa* erradicados durante a operação Colheita em maio de 2008.

Cl.	Área da ilha (ha)	Área (km ²)	n	W+	S_W+	W-	S_W-	C	C (S)	Stud (C)	Gen	Peso	W_STD
1	0,2-0,5	0,88	2	2,24	0,72	-0,04	0,16	2,28	0,73	3,11	2	1,85	0,16
2	0,2-1	1,93	9	2,98	0,34	-0,23	0,17	3,21	0,38	8,38	2	1,85	0,16
3	0,2-5	7,19	22	2,54	0,22	-0,70	0,22	3,24	0,31	10,42	2	1,85	0,16
4	0,2-10	11,17	33	2,51	0,18	-1,47	0,33	3,98	0,38	10,55	2	1,85	0,16
5	0,2-50	25,77	40	1,85	0,16	-2,88	0,71	4,73	0,72	6,53	2	1,85	0,16
6	0,2-100	37,88	40	1,46	0,16	-2,79	0,71	4,25	0,72	5,87	1	-2,88	0,71
7	0,2-250	57,01	41	1,07	0,16	-3,33	1,00	4,40	1,01	4,35	1	-2,88	0,71
8	0,2-500	70,20	41	0,86	0,16	-3,21	1,00	4,07	1,01	4,02	1	-2,88	0,71
9	0,2-1000	89,99	42	0,64	0,15	-7,59	10,00	8,23	10,00	0,82	1	-2,88	0,71
10	0,2-4443	169,70	42	0,00	0,15	6,00	14,14	-6,00	14,14	-0,42	1	-2,88	0,71

onde: **S_W+** é o desvio-padrão de **W+**; **W-** é o peso das demais classes combinadas; **S_W-** é o desvio-padrão de **W-**; **C** é o contraste calculado pela diferença entre **W+** e **W-**; **C (S)** é o desvio-padrão do contraste; **Stud (C)** é o *Studentized contrast* calculado pela divisão do contraste pelo desvio-padrão; **Gen** classificação conforme resultados de peso de evidência onde o valor 1 corresponde às classes que não atendem o critério de confiança e o valor 2 corresponde às classes que atendem o critério de confiança.

Fonte: Dados da pesquisa.

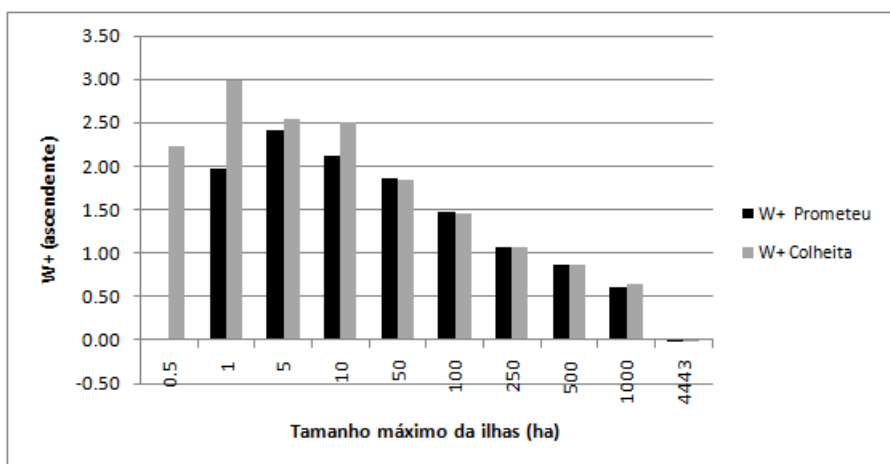


Figura 52. Peso da evidência "Tamanho das ilhas" na distribuição dos plantios ilícitos. Foram usadas, como áreas de treinamento, a localização de plantios de *Cannabis sativa* erradicados nas ilhas fluviais do rio São Francisco durante as operações policiais Prometeu (junho/2007) e Colheita (maio/2008).

Fonte: Dados da pesquisa.

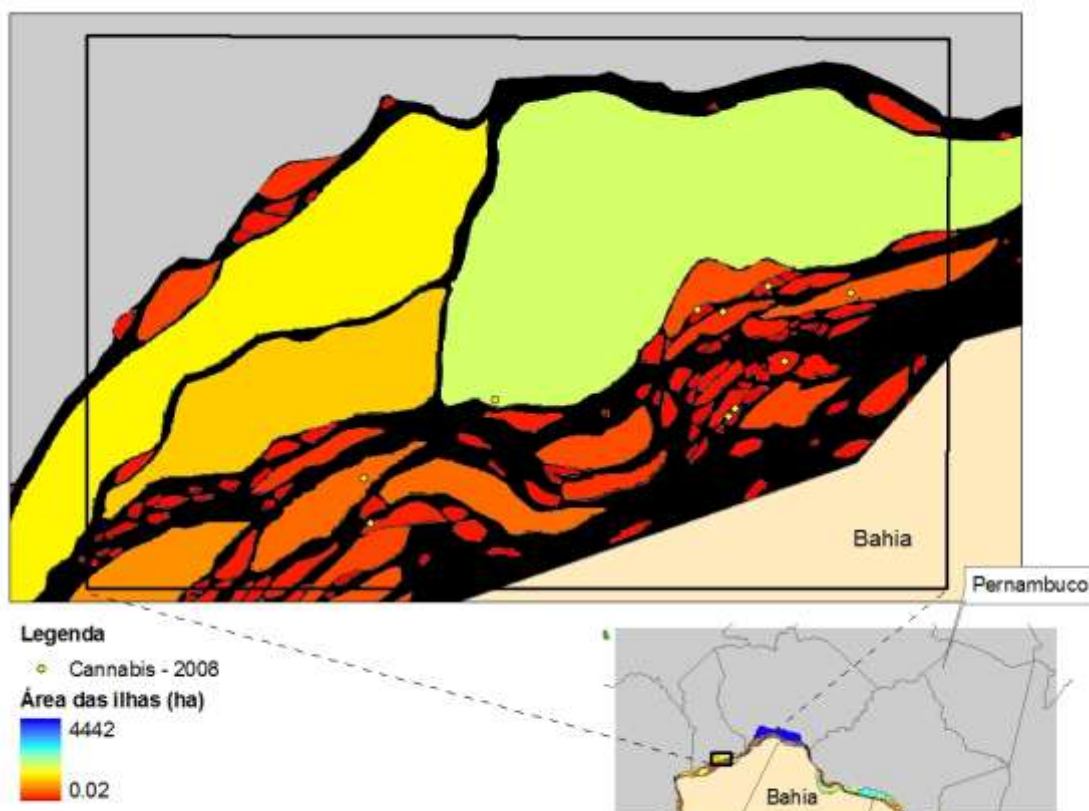


Figura 53. Mapa de tamanho das ilhas (geral e detalhe). No detalhe, é possível constatar a tendência de concentração dos plantios - representados pelos pontos amarelos (*Cannabis* - 2008) - nas ilhas menores, conforme confirmado pelos resultados da análise de pesos de evidência.

Fonte: Imagens SPOT 5 (Copyright CNES) processadas pela pesquisadora.

b. Relações espaciais na unidade Caatinga

Conforme resultados das análises de densidade, os cultivos ilícitos apresentam padrão de distribuição agregada na unidade Caatinga e, com o intuito de investigar se esses padrões estão associados a determinados fatores ambientais, foi conduzida a análise de pesos de evidência. Os fatores testados relacionaram-se principalmente às exigências agronômicas da planta, à necessidade de acesso para plantio e manutenção da lavoura e às condições de isolamento e camuflagem, e consistiram em: proximidade da água, declividade, forma de terreno, orientação de vertentes, proximidade de acessos e cobertura vegetal e uso do solo.

b.1. *Cannabis sativa* x proximidade da água

Considerando que são empregadas diferentes fontes de água para irrigação dos plantios na região, elas foram classificadas para fins de análise em: canais de irrigação e espelhos d'água (barragens, lagos, etc.); grandes drenagens; e drenagens temporárias. Foi empregado o método ascendente, pressupondo-se que, quanto menor a distância da fonte de água, maior a propensão à ocorrência dos plantios de *Cannabis sativa*.

Os resultados indicaram que existe uma tendência crescente de concentração dos plantios de *Cannabis sativa* à medida que se aproxima das fontes de água, ao nível de 98% de probabilidade. Depreende-se ainda que as principais fontes de água associadas à distribuição dos plantios de *Cannabis sativa* são os espelhos d'água e canais, e que geralmente esses plantios se localizam a até 100 metros de distância dessas fontes (valores máximos de W^+ de 2,09 e 2,34 respectivamente em 2007 e 2008 para a classe de distância de 0 a 100 metros - Tabelas 13 e 14; Figuras 54 e 55). A segunda fonte de maior importância são as grandes drenagens, sendo que, neste caso, a maior parte dos plantios geralmente se concentra a até 50 metros de distância dessas fontes (valores máximos de W^+ de 1,41 e 1,42 respectivamente em 2007 e 2008 - Tabelas 15 e 16; Figuras 56 e 57). Ainda, conforme os resultados obtidos, os plantios também tendem a se concentrar nas adjacências das drenagens temporárias. Neste caso a ocorrência mais significativa ocorre a até 50 metros das drenagens (valores máximos de W^+ de 0,60 e 0,76 respectivamente em 2007 e 2008 - Tabelas 17 e 18; Figuras 58 e 59) mas persistem com ocorrência significativa a até 150 metros das drenagens temporárias. Sobre os valores de pesos, Kemp, Bonham-

Carter e Raines (1999) consideram que, em geral, valores absolutos de pesos entre 0 e 0,5 são fracamente preditivos, entre 0,5 e 1 são moderadamente preditivos, valores entre 1 e 2 são fortemente preditivos e acima de 2 são extremamente preditivos.

Outrossim, é importante considerar a necessidade de uma base cartográfica coerente com o período analisado porque a disponibilidade de água é uma variável muito dinâmica na área de estudo. Esse fator sofre constantes mudanças na configuração espacial, tanto devido a mudanças sazonais, quanto devido a intervenções antrópicas. São comuns mudanças sazonais significativas nos níveis de água das lagoas e barragens de um ano para o outro, ou mesmo na presença ou não dos espelhos d'água em função de desativação de obras existentes ou de novas construções. O mesmo se aplica às drenagens temporárias, que por definição, estarão disponíveis apenas em determinados períodos do ano.

b.2. *Cannabis sativa* x proximidade de acessos

A investigação do fator proximidade de acessos parte do pressuposto que, em função da necessidade de deslocamento de pessoal e insumos para as atividades de implantação e manutenção dos plantios, a propensão à ocorrência de plantios de *Cannabis sativa* será maior nas proximidades dos acessos.

Os resultados indicaram que, ao nível de 98% de probabilidade, existe uma tendência de concentração dos plantios de *Cannabis sativa* em relação às estradas e caminhos (Tabelas 19 e 20; Figuras 60 e 61). Conforme os dados de 2007, os plantios se concentraram a uma distância de até 1.000 metros dos acessos e, segundo os dados de 2008, a até 400 metros. Em referência aos dados de 2008, observou-se também a tendência de resguardar uma distância mínima dos acessos, provavelmente decorrente da necessidade de ocultação dos plantios.

b.3. *Cannabis sativa* x relevo

A investigação dos fatores associados à declividade (Tabelas 26 e 27; Figuras 84 e 85 do Anexo), forma do terreno (Tabelas 28 e 29; Figuras 86, 87 e 88 do Anexo), e orientação de vertentes (Tabelas 30 e 31; Figuras 89 e 90 do Anexo) foi conduzida tendo em vista a possível influência desses nas condições de luminosidade, temperatura, umidade, limitações topográficas ao manejo agrícola, entre outras, que afetassem significativamente a possibilidade de estabelecimento e

desenvolvimento da *Cannabis sativa* e, com isso, impactassem na seleção dos sítios de plantio pelos criminosos, gerando padrões espaciais consistentes. Os resultados, entretanto, não indicaram tendências significativas ao nível de 98% de probabilidade que persistissem na análise temporal.

b.4. *Cannabis sativa* x cobertura vegetal e uso do solo

A ponderação do efeito dos diferentes tipos de cobertura vegetal e uso do solo na distribuição dos plantios baseou-se na experiência acumulada durante os levantamentos de campo, que indicou que os plantios geralmente ocorrem em meio a vegetação natural com porte favorável à dissimulação (Caatinga Florestada, Caatinga Arborizada, Florestas ou Vegetação Ripária) sendo menos frequentes em área de vegetação esparsa (Caatinga Parque, Caatinga Gramíneo-Lenhosa).

A ocorrência em áreas de uso antrópico intensivo - áreas urbanas, fruticultura, lavoura comercial e pastagens plantadas -, é considerada pouco significativa. Dessa forma, para as três unidades, considerou-se maior favorabilidade aos plantios em meio à cobertura vegetal natural de alta e média biomassa, condições intermediárias nos locais em meio a cobertura vegetal natural de baixa biomassa e valor mínimo para as áreas antropizadas. Considera-se ainda que a mesma lógica vigora nas diferentes unidades Caatinga, Serra e Ilhas.

c. Relações espaciais na unidade Serras

A investigação da influência dos fatores associados à distância das fontes de água, acessos e relevo na distribuição dos plantios de *Cannabis sativa* na unidade Serras não indicou tendências significativas ao nível de 98% de probabilidade que persistissem na análise temporal (Tabelas 32 a 42 do Anexo). Considerando que o teste de agregação também não identificou tendência de agregação nos plantios erradicados nessa unidade, optou-se por desconsiderar as áreas localizadas na unidade serras da modelagem espacial.

Tabela 13. Resultados da análise de pesos de evidência do fator distância da água (espelhos d'água e canais) na unidade Caatinga com emprego do método ascendente e para T (*Studentized contrast*) = 2 (aproximadamente 98% de probabilidade). Foram usados, como áreas de treinamento, plantios de *Cannabis sativa* erradicados durante a operação Prometeu em junho de 2007.

Cl.	Dist. (m)	Área (km ²)	n	W+	S_W+	W-	S_W-	CNT	CNT (S)	STUD. CNT	GEN	Peso	W_STD
1	0-100	139	6	2,09	0,41	-0,14	0,17	2,23	0,44	5,05	2	2,09	0,41
2	0-200	319	9	1,66	0,33	-0,20	0,17	1,86	0,38	4,95	1	-0,14	0,17
3	0-300	550	10	1,22	0,32	-0,20	0,18	1,42	0,36	3,93	1	-0,14	0,17
4	0-400	817	11	0,92	0,30	-0,19	0,18	1,12	0,35	3,19	1	-0,14	0,17
5	0-500	1.109	13	0,79	0,28	-0,22	0,19	1,01	0,33	3,01	1	-0,14	0,17
6	0-750	1.870	17	0,53	0,24	-0,25	0,20	0,78	0,31	2,48	1	-0,14	0,17
7	0-1000	2.609	21	0,41	0,22	-0,29	0,22	0,70	0,31	2,27	1	-0,14	0,17
8	0-1500	3.874	32	0,44	0,18	-0,76	0,32	1,19	0,36	3,30	1	-0,14	0,17
9	0-3000	5.972	42	0,28	0,15	-6,92	10,00	7,20	10,00	0,72	1	-0,14	0,17
10	0-14560	7.871	42	0,00	0,15	9,84	14,14	-9,84	14,14	-0,70	1	-0,14	0,17

Fonte: Dados da pesquisa.

Tabela 14. Resultados da análise de pesos de evidência do fator distância da água (espelhos d'água e canais) na unidade Caatinga com emprego do método ascendente e para T (*Studentized contrast*) = 2 (ou aproximadamente 98% de probabilidade). Foram usados como áreas de treinamento, plantios de *Cannabis sativa* erradicados durante a operação Colheita em maio de 2008.

Cl.	Dist. (m)	Área (km ²)	n	W+	S_W+	W-	S_W-	CNT	CNT (S)	STUD. CNT	GEN	Peso	W_STD
1	0-100	139	7	2,34	0,38	-0,19	0,18	2,53	0,42	6,05	2	2,34	0,38
2	0-200	319	8	1,65	0,35	-0,20	0,18	1,84	0,40	4,63	1	-0,19	0,18
3	0-300	550	11	1,42	0,30	-0,27	0,19	1,69	0,36	4,72	1	-0,19	0,18
4	0-400	817	13	1,19	0,28	-0,31	0,20	1,50	0,34	4,39	1	-0,19	0,18
5	0-500	1.109	14	0,96	0,27	-0,31	0,20	1,27	0,34	3,77	1	-0,19	0,18
6	0-750	1.870	17	0,63	0,24	-0,32	0,22	0,95	0,33	2,93	1	-0,19	0,18
7	0-1000	2.609	21	0,51	0,22	-0,40	0,24	0,91	0,33	2,80	1	-0,19	0,18
8	0-1500	3.874	24	0,25	0,20	-0,32	0,27	0,57	0,34	1,70	1	-0,19	0,18
9	0-3000	5.972	37	0,25	0,16	-2,22	1,00	2,47	1,01	2,43	1	-0,19	0,18
10	0-14560	7.871	38	0,00	0,16	9,94	14,14	-9,94	14,14	-0,70	1	-0,19	0,18

Fonte: Dados da pesquisa.

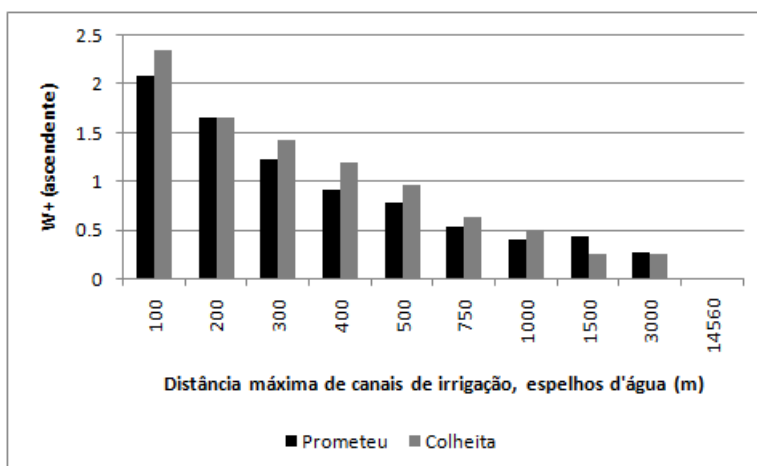


Figura 54. Peso da evidência "Distância de espelhos d'água e canais de irrigação" na distribuição dos plantios ilícitos. Foram usadas, como áreas de treinamento, a localização de plantios de *Cannabis sativa* erradicados durante as operações policiais Prometeu (junho/2007) e Colheita (maio/2008).

Fonte: Dados da pesquisa.

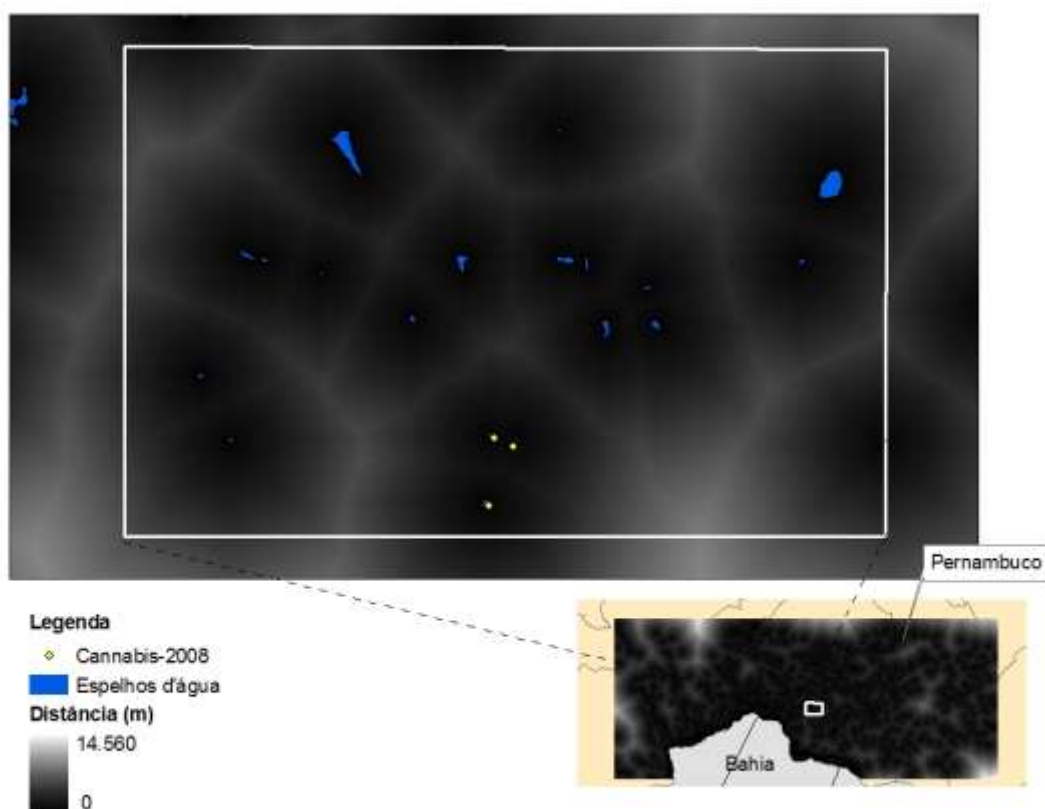


Figura 55. Mapa de distância de espelhos d' água e canais de irrigação para a área de estudo (geral e detalhe). No detalhe, é possível constatar a tendência de concentração dos plantios - representados pelos pontos amarelos (*Cannabis* - 2008) nas proximidades de espelhos d'água (áreas escuras) conforme confirmado pelos resultados da análise de pesos de evidência.

Fonte: Imagens SPOT 5 (Copyright CNES) de julho de 2007 processadas pela pesquisadora.

Tabela 15. Resultados da análise de pesos de evidência do fator distância da água (grandes drenagens) na unidade Caatinga com emprego do método ascendente e para T (*Studentized contrast*) = 2 (aproximadamente 98% de probabilidade). Foram usados, como áreas de treinamento, plantios de *Cannabis sativa* erradicados durante a operação Prometeu em junho de 2007.

Cl.	Dist. (m)	Área (km ²)	n	W+	S_W+	W-	S_W-	CNT	CNT (S)	STUD. CNT	GEN	Peso	W_STD
1	0-50	550	12	1,41	0,29	-0,26	0,18	1,67	0,34	4,89	2	1,41	0,29
2	0-100	968	16	1,13	0,25	-0,35	0,20	1,48	0,32	4,65	1	-0,26	0,18
3	0-200	1.757	20	0,76	0,22	-0,39	0,21	1,15	0,31	3,73	1	-0,26	0,18
4	0-300	2.492	23	0,55	0,21	-0,41	0,23	0,96	0,31	3,10	1	-0,26	0,18
5	0-400	3.183	25	0,39	0,20	-0,39	0,24	0,77	0,31	2,46	1	-0,26	0,18
6	0-500	3.830	26	0,24	0,20	-0,30	0,25	0,54	0,32	1,70	1	-0,26	0,18
7	0-750	5.264	31	0,10	0,18	-0,23	0,30	0,33	0,35	0,95	1	-0,26	0,18
8	0-1000	6.407	38	0,11	0,16	-0,67	0,50	0,78	0,53	1,47	1	-0,26	0,18
9	0-1250	7.214	42	0,09	0,15	-5,86	10,00	5,95	10,00	0,59	1	-0,26	0,18
10	0-1500	7.665	42	0,03	0,15	-4,70	10,00	4,73	10,00	0,47	1	-0,26	0,18
11	0-2000	7.865	42	0,00	0,15	-1,18	10,00	1,18	10,00	0,12	1	-0,26	0,18
12	0-2614	7.871	42	0,00	0,15	9,84	14,14	-9,84	14,14	-0,70	1	-0,26	0,18

Fonte: Dados da pesquisa.

Tabela 16. Resultados da análise de pesos de evidência do fator distância da água (grandes drenagens) na unidade Caatinga com emprego do método ascendente e para T (*Studentized contrast*) = 2 (aproximadamente 98% de probabilidade). Foram usados, como áreas de treinamento, plantios de *Cannabis sativa* erradicados durante a operação Colheita em maio de 2008.

Cl.	Dist. (m)	Área (km ²)	n	W+	S_W+	W-	S_W-	CNT	CNT (S)	STUD. CNT	GEN	Peso	W_STD
1	0-50	550	11	1,42	0,30	-0,27	0,19	1,69	0,36	4,72	2	1,42	0,30
2	0-100	968	16	1,23	0,25	-0,42	0,21	1,65	0,33	5,01	1	-0,27	0,19
3	0-200	1.757	20	0,86	0,22	-0,49	0,24	1,35	0,32	4,16	1	-0,27	0,19
4	0-300	2.492	22	0,60	0,21	-0,48	0,25	1,09	0,33	3,31	1	-0,27	0,19
5	0-400	3.183	22	0,36	0,21	-0,35	0,25	0,71	0,33	2,15	1	-0,27	0,19
6	0-500	3.830	24	0,26	0,20	-0,33	0,27	0,59	0,34	1,76	1	-0,27	0,19
7	0-750	5.264	31	0,20	0,18	-0,59	0,38	0,79	0,42	1,88	1	-0,27	0,19
8	0-1000	6.407	34	0,09	0,17	-0,57	0,50	0,66	0,53	1,26	1	-0,27	0,19
9	0-1250	7.214	38	0,09	0,16	-5,76	10,00	5,85	10,00	0,58	1	-0,27	0,19
10	0-1500	7.665	38	0,03	0,16	-4,60	10,00	4,63	10,00	0,46	1	-0,27	0,19
11	0-2000	7.865	38	0,00	0,16	-1,08	10,00	1,08	10,00	0,11	1	-0,27	0,19
12	0-2614	7.871	38	0,00	0,16	9,94	14,14	-9,94	14,14	-0,70	1	-0,27	0,19

Fonte: Dados da pesquisa.

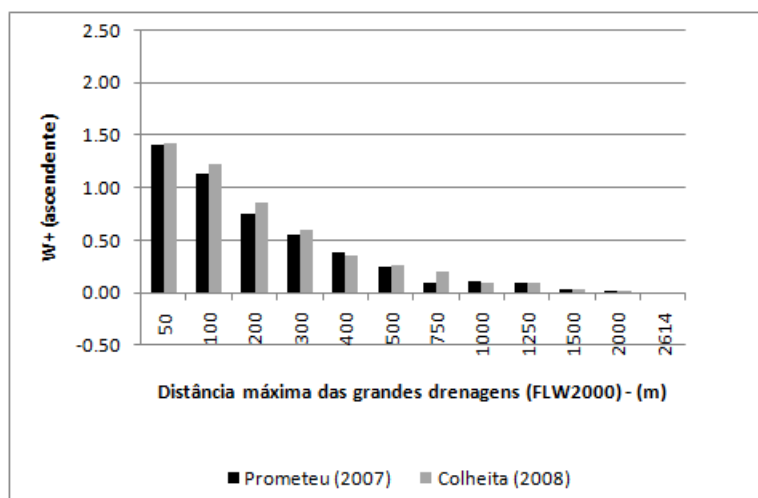


Figura 56. Peso da evidência "Distância de grandes drenagens" na distribuição dos plantios ilícitos. Foram usadas, como áreas de treinamento, a localização de plantios de *Cannabis sativa* erradicados durante as operações policiais Prometeu (junho/2007) e Colheita (maio/2008).

Fonte: Dados da pesquisa.

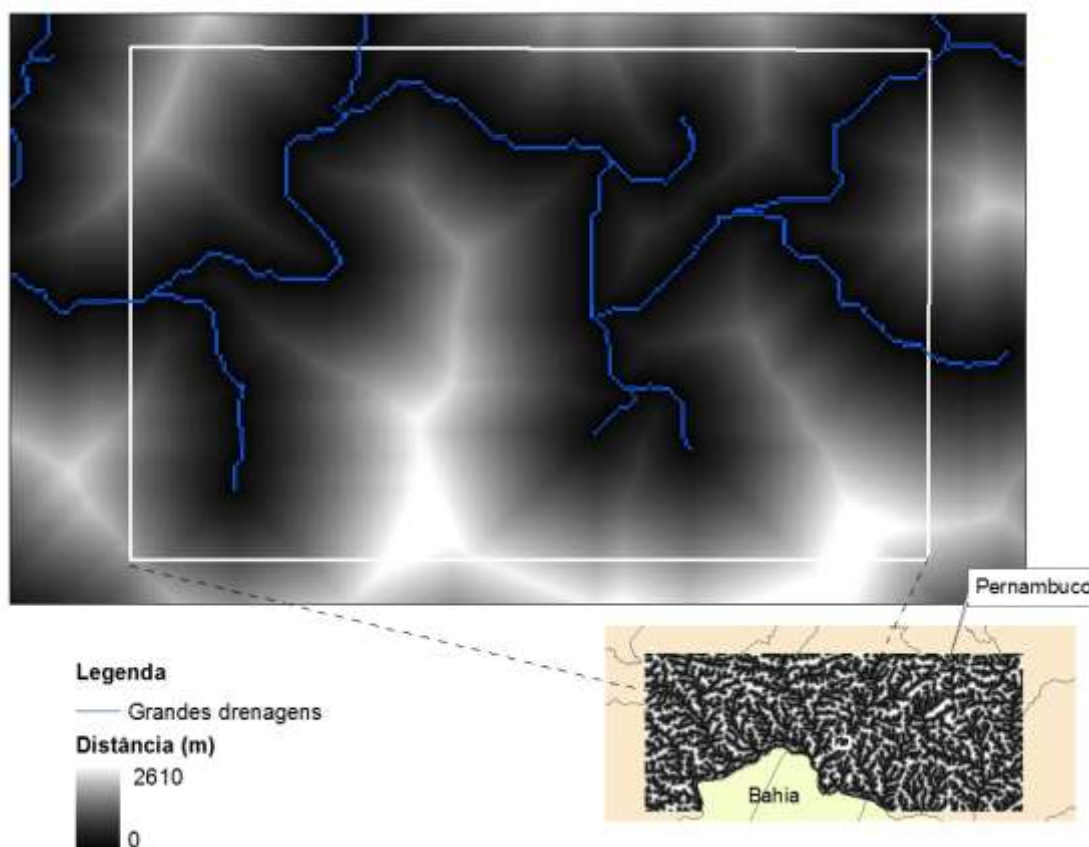


Figura 57. Mapa de distância de grandes drenagens para a área de estudo (geral e detalhe).
Fonte: Dados Topodata (VALERIANO, 2008) processados pela pesquisadora.

Tabela 17. Resultados da análise de pesos de evidência do fator distância da água (drenagens de 1ª e 2ª ordem) na unidade Caatinga com emprego do método ascendente e para T (*Studentized contrast*) = 2 (aproximadamente 98% de probabilidade). Foram usados, como áreas de treinamento, plantios de *Cannabis sativa* erradicados durante a operação Prometeu em junho de 2007.

Cl.	Dist. (m)	Área (km ²)	n	W+	S_W+	W-	S_W-	CNT	CNT (S)	STUD. CNT	GEN	Peso	W_STD
1	0-50	17.482	17	0,60	0,24	-0,27	0,20	0,87	0,31	2,76	2	0,33	0,16
2	0-100	35.717	33	0,55	0,17	-0,94	0,33	1,49	0,38	3,95	2	0,33	0,16
3	0-150	5.141	38	0,33	0,16	-1,29	0,50	1,62	0,53	3,08	2	0,33	0,16
4	0-200	6.450	39	0,13	0,16	-0,93	0,58	1,05	0,60	1,76	1	-1,29	0,50
5	0-871	7.871	42	0,00	0,15	9,84	14,14	-9,84	14,14	-0,70	1	-1,29	0,50

Fonte: Dados da pesquisa.

Tabela 18. Resultados da análise de pesos de evidência do fator distância da água (drenagens de 1ª e 2ª ordem) na unidade Caatinga com emprego do método ascendente e para T (*Studentized contrast*) = 2 (aproximadamente 98% de probabilidade). Foram usados como áreas de treinamento, plantios de *Cannabis sativa* erradicados durante a operação Colheita em maio de 2008.

Cl.	Dist. (m)	Área (km ²)	n	W+	S_W+	W-	S_W-	CNT	CNT (S)	STUD. CNT	GEN	Peso	W_STD
1	0-50	1.748	18	0,76	0,24	-0,39	0,22	1,15	0,32	3,53	2	0,28	0,17
2	0-100	3.571	27	0,45	0,19	-0,64	0,30	1,08	0,36	3,03	2	0,28	0,17
3	0-150	5.141	33	0,28	0,17	-0,97	0,45	1,25	0,48	2,61	2	0,28	0,17
4	0-200	6.450	35	0,12	0,17	-0,83	0,58	0,94	0,60	1,57	1	-0,97	0,45
5	0-871	7.871	38	0,00	0,16	9,94	14,14	-9,94	14,14	-0,70	1	-0,97	0,45

Fonte: Dados da pesquisa.

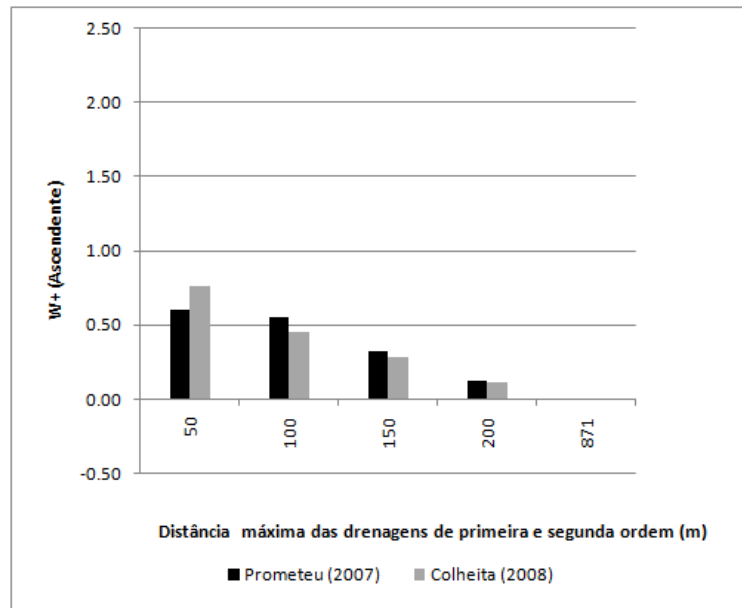


Figura 58. Peso da evidência "Distância de drenagens de 1ª e 2ª ordem" na distribuição dos plantios ilícitos. Foram usadas, como áreas de treinamento, a localização de plantios de *Cannabis sativa* erradicados durante as operações policiais Prometeu (junho/2007) e Colheita (maio/2008).

Fonte: Dados da pesquisa.

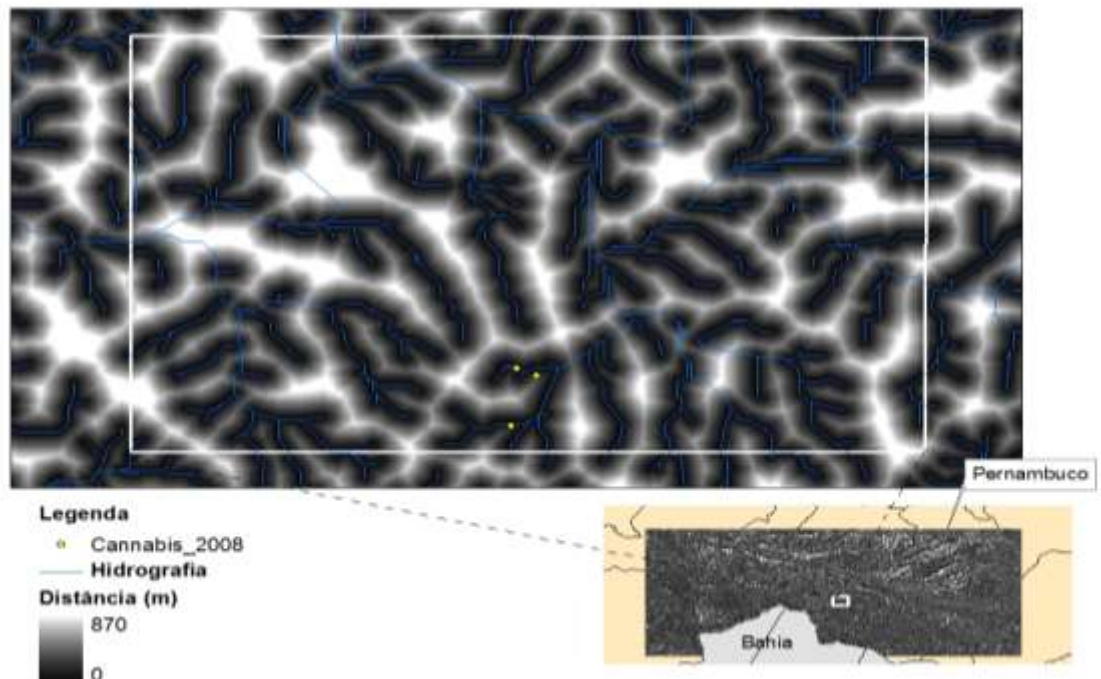


Figura 59. Mapa de distância de drenagens de 1ª e 2ª ordem para a área de estudo (geral e detalhe). No detalhe, é possível constatar a tendência de concentração dos plantios, representados pelos pontos amarelos (*Cannabis* - 2008) nas proximidades das drenagens de 1ª e 2ª ordem (áreas escuras), conforme confirmado pelos resultados da análise de pesos de evidência.

Fonte: Dados Topodata (VALERIANO, 2008) processados pela pesquisadora.

Tabela 19. Resultados da análise de pesos de evidência do fator distância de acessos na unidade Caatinga com emprego do método ascendente e para T (*Studentized contrast*) = 2 (aproximadamente 98% de probabilidade). Foram usados, como áreas de treinamento, plantios de *Cannabis sativa* erradicados durante a operação Prometeu em junho de 2007.

Cl.	Dist. (m)	Área ⁽¹⁾ (km ²)	n	W+	S_W+	W-	S_W-	CNT	CNT (S)	STUD. CNT	GEN	Peso	W_STD
1	0-100	999,86	8	0,34	0,35	-0,07	0,17	0,40	0,39	1,03	2	0,23	0,16
2	0-200	1834,76	18	0,54	0,24	-0,27	0,20	0,82	0,31	2,62	2	0,23	0,16
3	0-300	2550,43	25	0,54	0,20	-0,48	0,24	1,02	0,31	3,25	2	0,23	0,16
4	0-400	3159,98	31	0,54	0,18	-0,78	0,30	1,32	0,35	3,77	2	0,23	0,16
5	0-500	3681,09	33	0,45	0,17	-0,85	0,33	1,30	0,38	3,46	2	0,23	0,16
6	0-750	4690,52	36	0,30	0,17	-0,93	0,41	1,23	0,44	2,79	2	0,23	0,16
7	0-1000	5407,74	39	0,23	0,16	-1,31	0,58	1,55	0,60	2,59	2	0,23	0,16
8	0-1500	6287,60	41	0,13	0,16	-1,82	1,00	1,95	1,01	1,93	1	-1,31	0,58
9	0-2000	6760,71	42	0,09	0,15	-5,84	10,00	5,93	10,00	0,59	1	-1,31	0,58
10	0-17073	7365,44	42	0,00	0,15	9,77	14,14	-9,77	14,14	-0,69	1	-1,31	0,58

⁽¹⁾ a diferença no valor da área calculada em relação à área da unidade Caatinga decorre de diferença na área útil do raster distância de estradas.
Fonte: Dados da pesquisa.

Tabela 20. Resultados da análise de pesos de evidência do fator distância de acessos na unidade Caatinga com emprego do método ascendente e para T (*Studentized contrast*) = 2 (aproximadamente 98% de probabilidade). Foram usados, como áreas de treinamento, plantios de *Cannabis sativa* erradicados durante a operação Colheita em maio de 2008.

Cl.	Dist. (m)	Área ⁽¹⁾ (km ²)	n	W+	S_W+	W-	S_W-	CNT	CNT (S)	STUD. CNT	GEN	Peso	W_STD
1	0-100	999	3	-0,54	0,58	0,06	0,17	-0,61	0,60	-1,01	2	0,39	3
2	0-200	1.834	14	0,39	0,27	-0,17	0,20	0,56	0,34	1,68	2	0,39	14
3	0-300	2.550	19	0,37	0,23	-0,27	0,23	0,64	0,32	1,96	2	0,39	19
4	0-400	3.159	24	0,39	0,20	-0,44	0,27	0,82	0,34	2,45	2	0,39	24
5	0-500	3.681	25	0,27	0,20	-0,38	0,28	0,65	0,34	1,92	1	-0,44	25
6	0-750	4.690	26	0,07	0,20	-0,14	0,29	0,21	0,35	0,61	1	-0,44	26
7	0-1000	5.407	32	0,14	0,18	-0,52	0,41	0,66	0,44	1,48	1	-0,44	32
8	0-1500	6.287	34	0,05	0,17	-0,33	0,50	0,38	0,53	0,71	1	-0,44	34
9	0-2000	6.760	37	0,06	0,16	-1,14	1,00	1,20	1,01	1,18	1	-0,44	37
10	0-17073	7.365	38	0,00	0,16	9,87	14,14	-9,87	14,14	-0,70	1	-0,44	38

(1) a diferença no valor da área calculada em relação à área da unidade Caatinga decorre de diferença na área útil do raster distância de estradas.
Fonte: Dados da pesquisa.

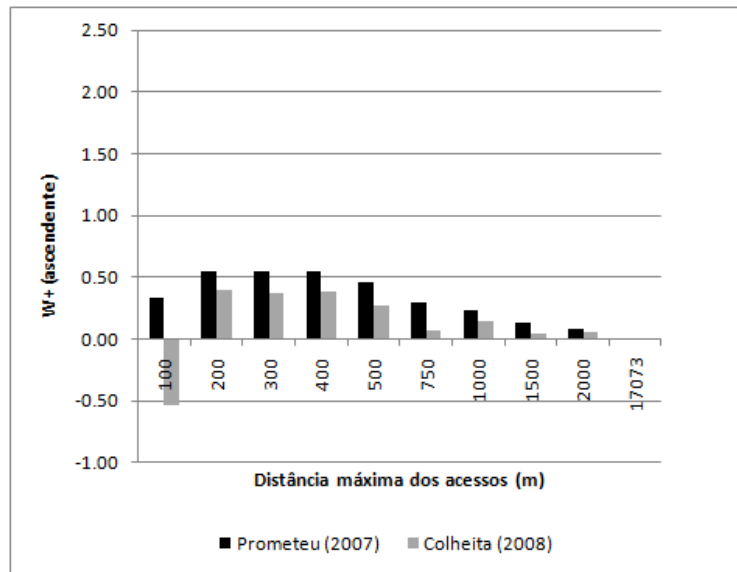


Figura 60. Peso da evidência "Distância de acessos" na distribuição dos plantios de *Cannabis sativa*. Foram usadas, como áreas de treinamento, a localização de plantios de *Cannabis sativa* erradicados durante as operações policiais Prometeu (junho/2007) e Colheita (maio/2008).

Fonte: Dados da pesquisa.

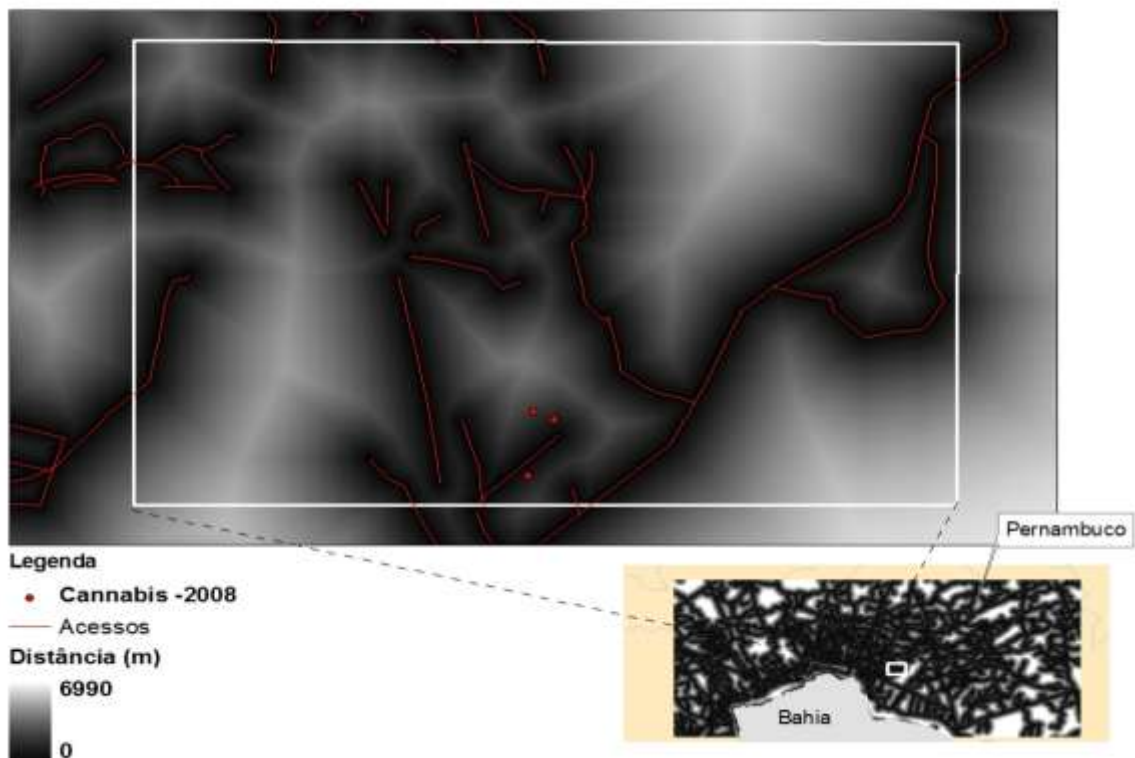


Figura 61. Mapa de distância de acessos para a área de estudo (geral e detalhe). No detalhe, é possível constatar a tendência de concentração dos plantios, representados pelos pontos amarelos (*Cannabis* - 2008) nas proximidades dos acessos (áreas escuras) conforme confirmado pelos resultados da análise de pesos de evidência.

Fonte: Imagens SPOT 5 (Copyright CNES) de julho de 2007 processadas pela pesquisadora.

6.4 Geoprocessamento aplicado às ações de erradicação

Nesta seção, são apresentados os resultados obtidos com a modelagem por lógica nebulosa da propensão à ocorrência de plantios ilícitos e respectiva verificação conduzidas para uma fração das unidades Caatinga e ilhas correspondentes ao polígono delimitado pela cena SPOT 5 724367.

6.4.1 Abordagem regional – Mapeamento da propensão espacial à ocorrência de plantios ilícitos

Os dados apresentados incluem (Quadro 6): 1) modelagem simplificada para a unidade ilhas; 2) mapas padronizados em formato *fuzzy* das evidências distância de água, uso e cobertura do solo e distância de acessos; 3) mapa de propensão à ocorrência de plantios ilícitos nas unidades Caatinga e Ilhas; e 4) verificação do modelo mediante análise da distribuição dos plantios ilícitos nas diferentes classes de propensão com técnicas de pesos de evidência. A predição da propensão nas Serras não foi conduzida visto que as análises espaciais não identificaram nenhum padrão passível de modelagem nessa unidade.

Quadro 6. Resumo das análises espaciais aplicadas às unidades Ilhas, Serras e Caatinga e padrões de concentração de plantios de *Cannabis sativa* identificados.

Unidade	Fator avaliado	Parâmetro de avaliação	Padrão
Ilhas	Disponibilidade de terras desocupadas/ isolamento	Tamanho da ilha	Concentração decrescente de plantios com o aumento do tamanho das ilhas. Função monotônica decrescente com valor máximo para ilhas com dimensões entre 0,5 ha e 1 ha e mínimo para ilhas com dimensões a partir de 50 ha.
Caatinga	Disponibilidade de água	Distância de grandes drenagens	Concentração decrescente dos plantios à medida que se distancia das fontes de água. Descrição: Função monotônica decrescente com valor máximo para distâncias de até 50 metros e mínimo para distâncias superiores a 1.250 m.
		Distância de canais e barragens	Concentração decrescente dos plantios à medida que se distancia das fontes de água. Descrição: Função monotônica decrescente com valor máximo para distâncias de até 100 metros e mínimo para distâncias superiores a 3.000 m

Unidade	Fator avaliado	Parâmetro de avaliação	Padrão
		Distância de drenagens de 1ª e 2ª ordem (períodos chuvosos)	Concentração decrescente dos plantios à medida que se distancia das fontes de água. Descrição: Função monotônica decrescente com valor máximo para distâncias de até 50 metros e mínimo para distâncias superiores a 200 metros.
	Acesso	Distância estradas e caminhos	Concentração decrescente dos plantios à medida que se distancia dos acessos. Função monotônica decrescente com valor máximo para distâncias de até 400 metros e mínimo para distâncias superiores a 2 km.
	Potencial agrícola	Declividade	Não significativo
		Forma de relevo	Não significativo
		Orientação de vertentes	Não significativo
	Isolamento/ Camuflagem	Cobertura vegetal e uso do solo*	<p>Maior concentração em áreas de vegetação natural de alta ou média biomassa (Caatinga Florestada, Caatinga Arborizada, Florestas ou Vegetação Ripária).</p> <p>Menor concentração em áreas de vegetação natural esparsa (Caatinga Parque, Caatinga Gramíneo-Lenhosa).</p> <p>Não ocorrência em áreas antropizadas (áreas urbanas, fruticultura, lavoura comercial e pastagens plantadas).</p>
Serras	Disponibilidade de água	Distância de grandes drenagens	Não significativo
		Distância de canais e barragens	Não significativo
		Distância de drenagens de 1ª e 2ª ordem (períodos chuvosos)	Não significativo
	Acesso	Distância estradas e caminhos	Não significativo
	Potencial agrícola	Declividade	Não significativo
		Forma de relevo	Não significativo
		Orientação de vertentes	Não significativo

Unidade	Fator avaliado	Parâmetro de avaliação	Padrão
	Isolamento/ Camuflagem	Cobertura vegetal e uso do solo*	<p>Maior concentração em áreas de vegetação natural de alta ou média biomassa (Caatinga Florestada, Caatinga Arborizada, Florestas ou Vegetação Ripária).</p> <p>Menor concentração em áreas de vegetação natural esparsa (Caatinga Parque, Caatinga Gramíneo-Lenhosa).</p> <p>Não ocorrência em áreas antropizadas (áreas urbanas, fruticultura, lavoura comercial e pastagens plantadas).</p>

* regras definidas a partir de critérios subjetivos. Fonte: Dados da pesquisa.

6.4.1.1 Mapas de propensão

O mapa de propensão *fuzzy* do plano de informação tamanho das ilhas é apresentado na Figura 62. No respectivo mapa, os valores de pertinência *fuzzy* variam entre 0 e 1 onde as áreas com valor 1 indicam ilhas com dimensões favoráveis ao plantio de *Cannabis sativa*, áreas com valor zero indicam ilhas com dimensões desfavoráveis ao plantio de *Cannabis sativa*.

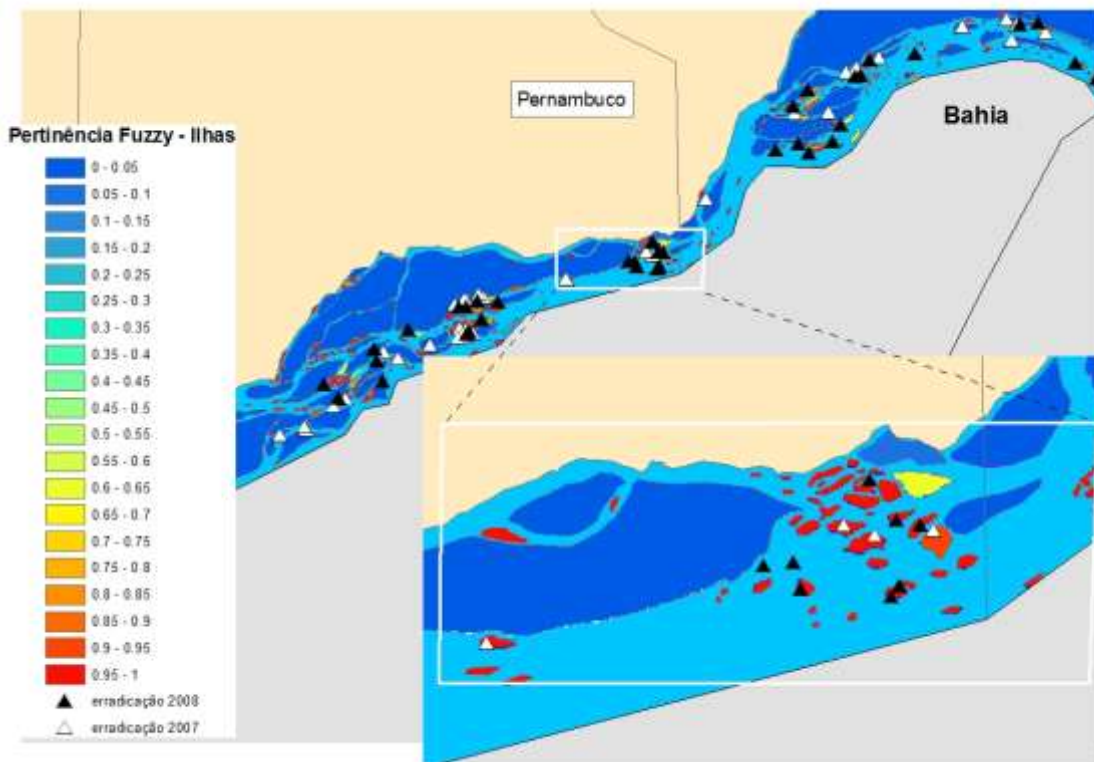


Figura 62. Pertinência *fuzzy* gerada para a unidade Ilhas com emprego da função *Small* e parâmetros 25 para ponto médio e 5 para espalhamento. Fonte: Imagens SPOT 5 (Copyright CNES) e resultados da modelagem processados pela pesquisadora.

Os mapas de propensão *fuzzy* dos planos de informação relacionados à disponibilidade de água, uso e cobertura do solo, e distância de acessos na unidade Caatinga são apresentados nas Figuras 63 a 69. Da mesma forma, nos respectivos mapas, os valores de pertinência *fuzzy* variam entre 0 e 1 onde as áreas com valor zero correspondem a locais onde o fator modelado não é favorável ao plantio de *Cannabis sativa* e áreas com valor 1 correspondem a áreas com condições favoráveis ao plantio de *Cannabis sativa*. Valores intermediários representam diferentes graus de favorabilidade ao plantio de *Cannabis sativa* proporcionados pela variável em questão.

O mapa final que espacializa o grau de propensão à ocorrência de plantios ilícitos na unidade Caatinga e na unidade Ilhas após a ponderação dos múltiplos fatores é apresentado na Figura 69.

6.4.1.2 Verificação

A análise de pesos de evidência do mapa de classes de propensão resultante da modelagem para a unidade Caatinga demonstra a tendência de concentração dos plantios nas classes de maior propensão em oposição à frequência decrescente em direção às classes de menor pertinência ou propensão, indicando que o mapeamento de fato reflete as condições de vulnerabilidade à instalação de plantios de *Cannabis sativa* na área de estudo (Tabelas 21 e 22).

A análise de pesos de evidência para o mapa de propensão gerado para a unidade ilhas, exclusivamente com base no critério tamanho, demonstra forte tendência de concentração dos plantios nas áreas indicadas como alta propensão (Tabelas 23 e 24).

Com base nos resultados obtidos, foi possível concluir que a modelagem espacial em ambiente SIG é útil para subsidiar a identificação de locais mais susceptíveis à instalação de plantios ilícitos nas condições analisadas. Nesse aspecto, verificou-se, por exemplo, que a totalidade dos pontos erradicados durante as operações policiais Prometeu e Colheita incidiram em áreas com valores *fuzzy* superiores a 0,65, o que correspondeu a 58% da área total e permitiu excluir automaticamente da área de busca o equivalente a 42% da área total. Além de possibilitar a redução da área de busca, a modelagem possui a vantagem adicional

de promover maior compreensão da influência das diferentes variáveis ambientais na distribuição dos plantios ilícitos.

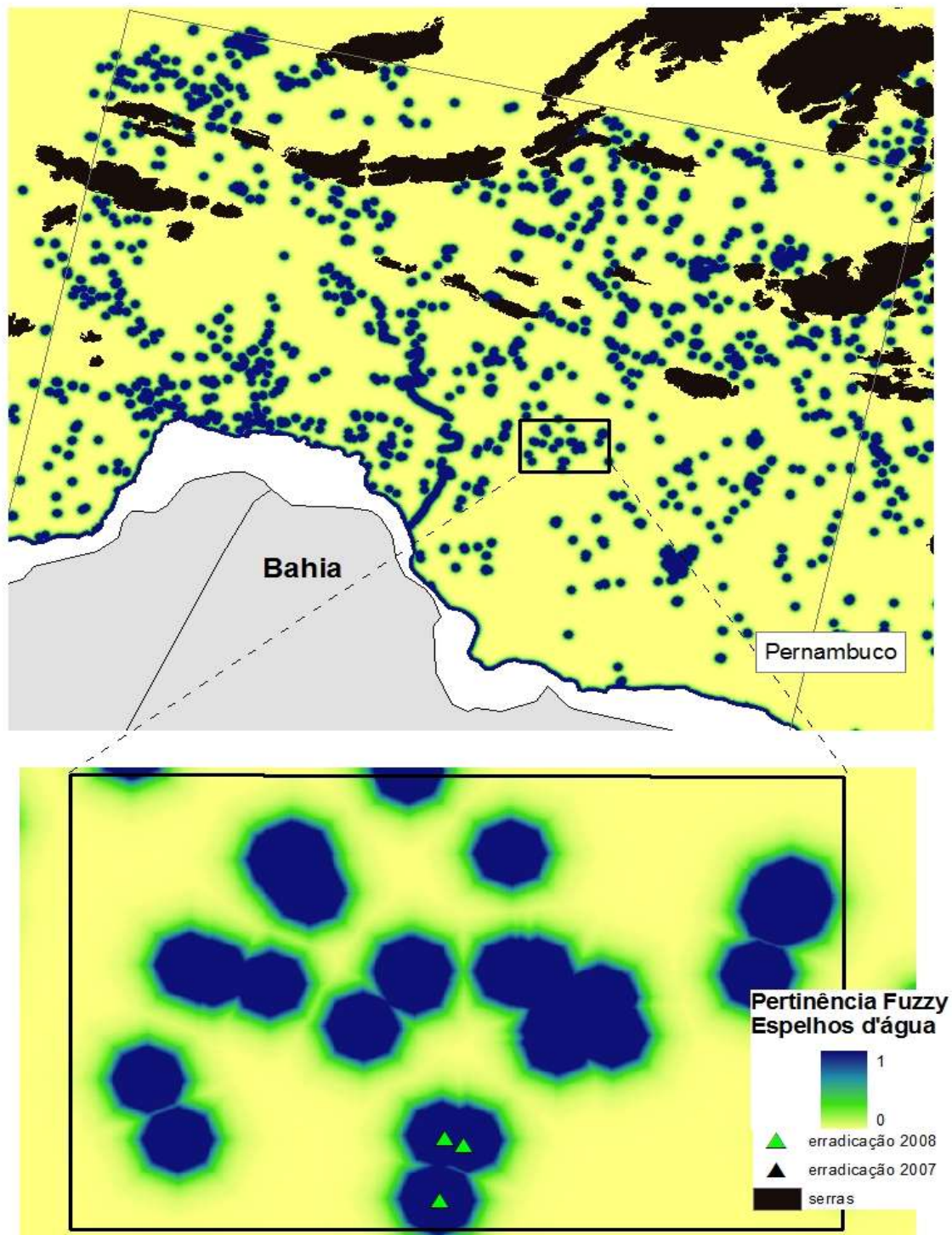


Figura 63. Pertinência *fuzzy* gerada para os espelhos d'água na unidade Caatinga com emprego da função *Small* e parâmetros 300 para ponto médio e 5 para espalhamento (base cartográfica gerada a partir da classificação de imagens SPOT 5 de julho de 2007).
Fonte: Imagens SPOT 5 (Copyright CNES) processadas pela pesquisadora.

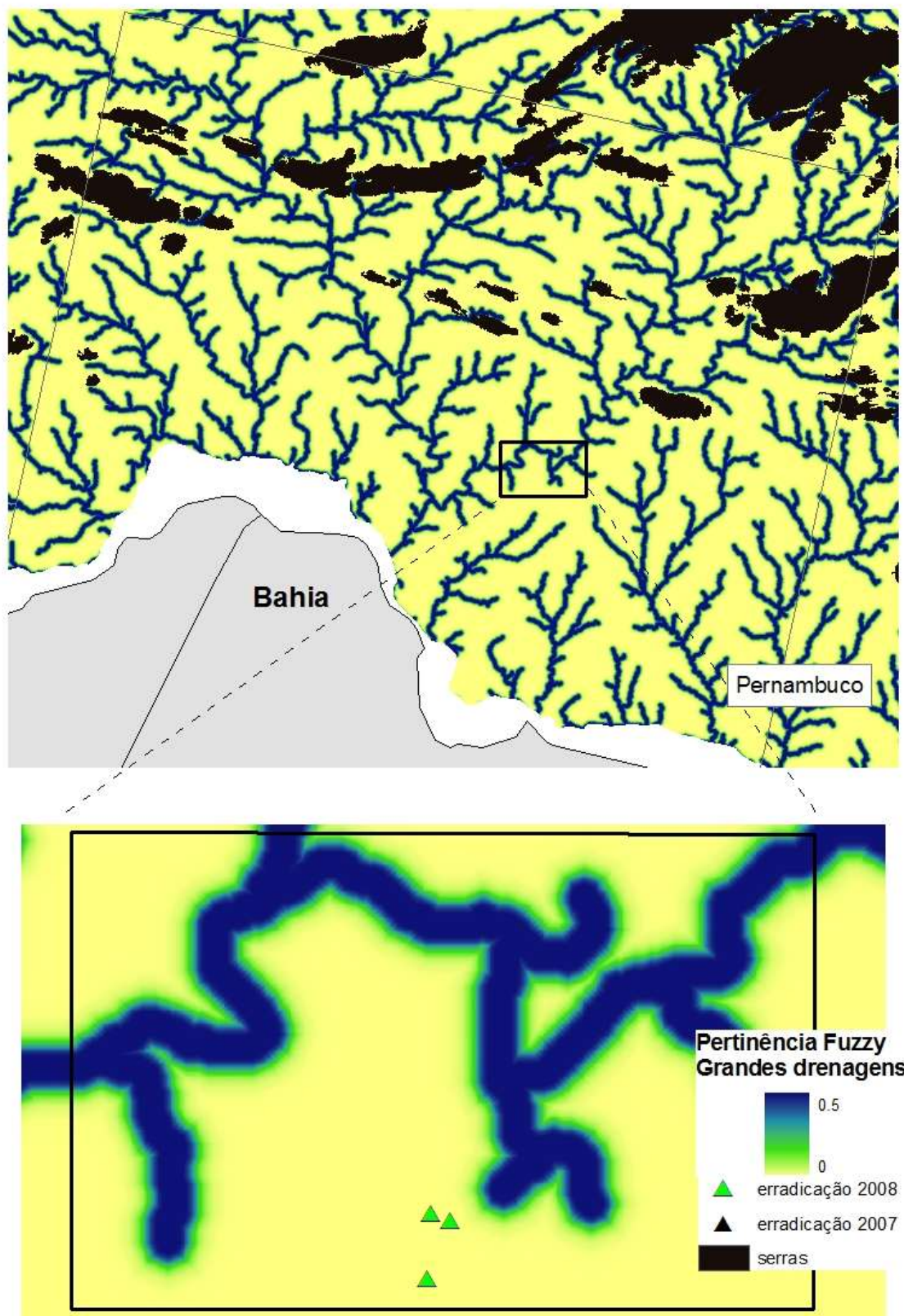


Figura 64. Pertinência *fuzzy* gerada para as grandes drenagens na unidade Caatinga com emprego da função *Small* e parâmetros 200 para ponto médio e 5 para espalhamento com divisão do mapa resultante pelo fator redutor 2.

Fonte: Dados Topodata (VALERIANO, 2008) processados pela pesquisadora.

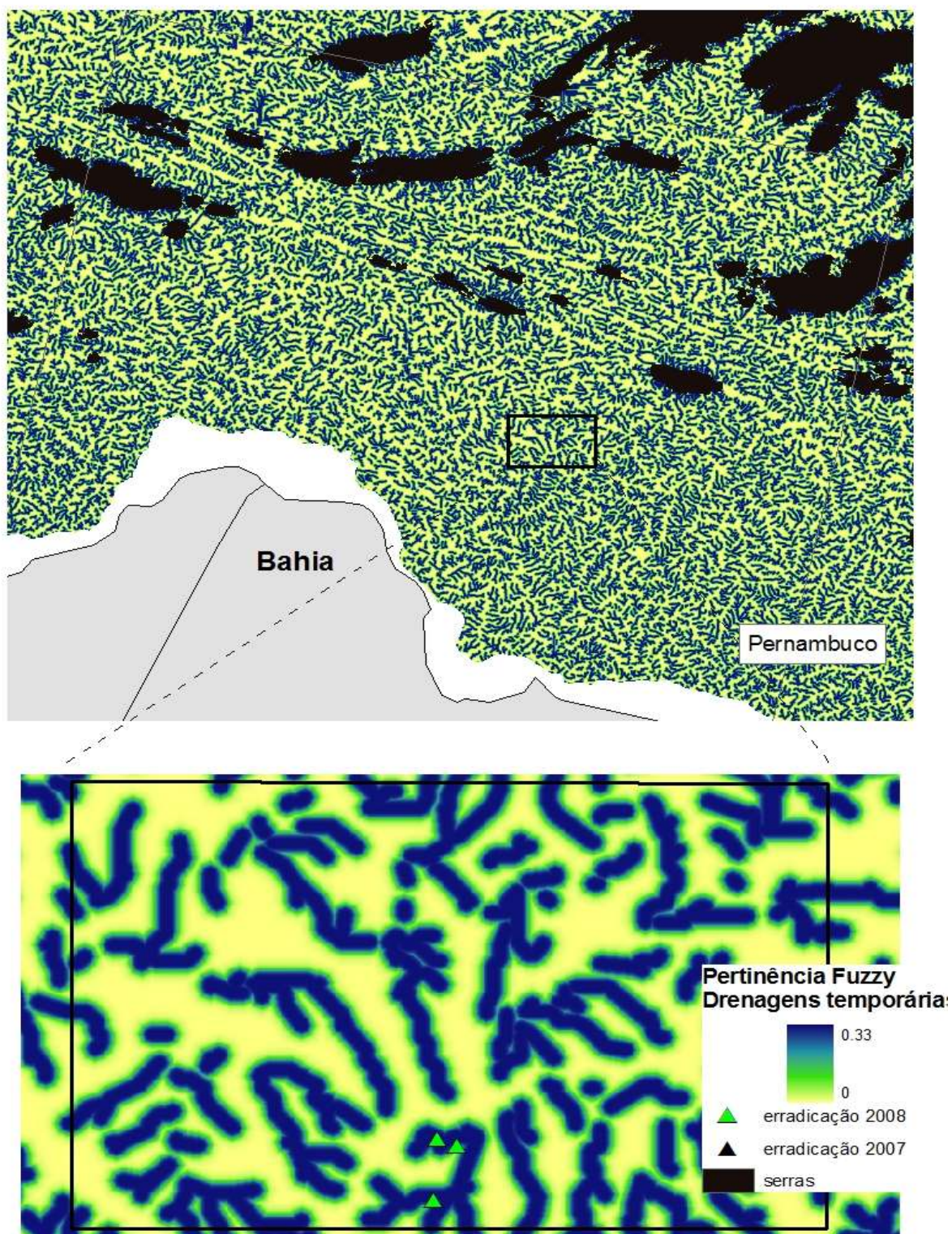


Figura 65. Pertinência *fuzzy* gerada para as drenagens temporárias na unidade Caatinga com emprego da função *Small* e parâmetros 100 para ponto médio e 5 para espalhamento com divisão do mapa resultante pelo fator redutor 3.

Fonte: Dados Topodata (VALERIANO, 2008) processados pela pesquisadora.

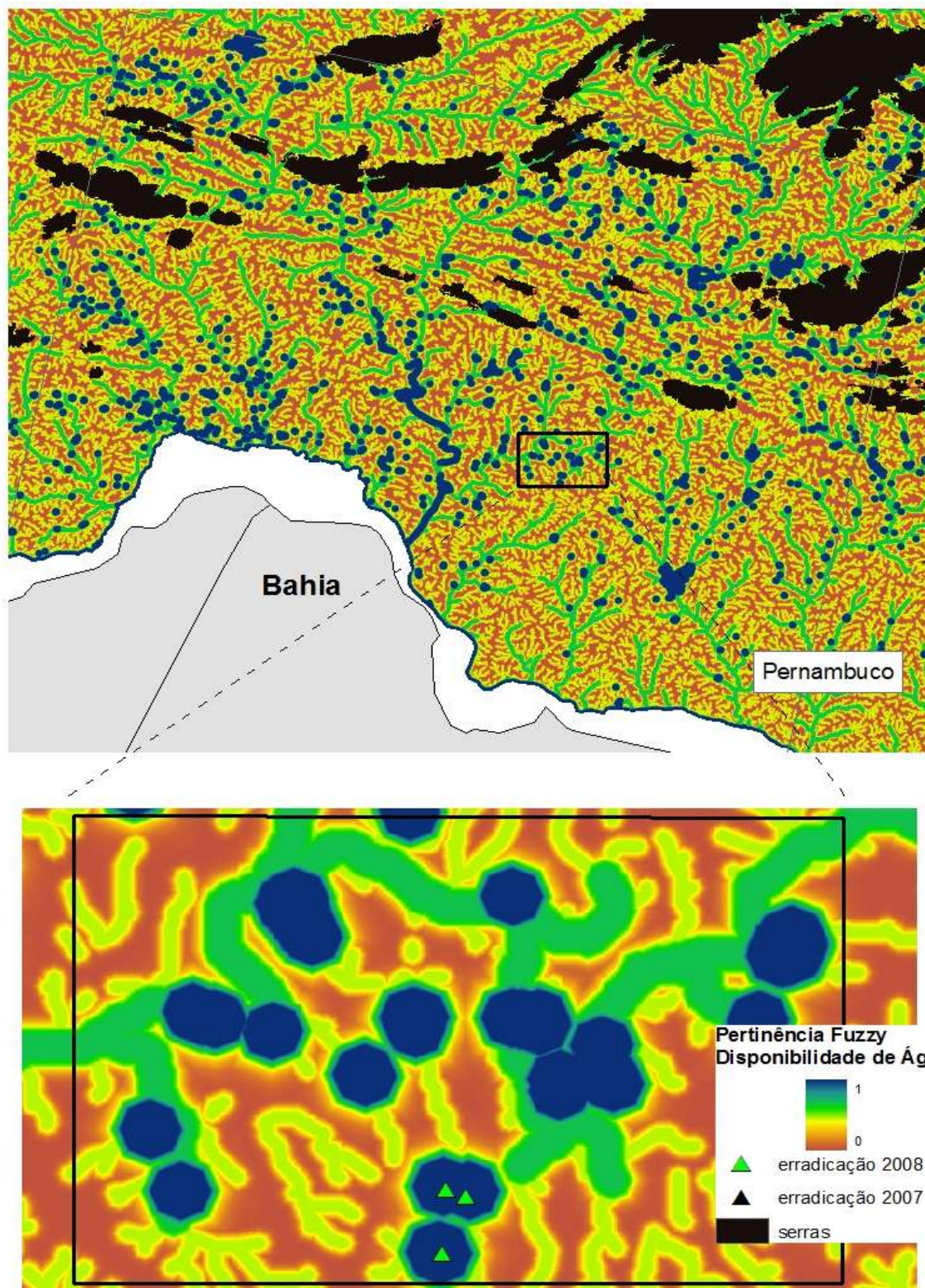


Figura 66. Pertinência *fuzzy* gerada para o fator disponibilidade de água na unidade Caatinga mediante a integração dos mapas de pertinência dos diferentes tipos de drenagem com o emprego do operador "OR".
Fonte: Dados da pesquisa.

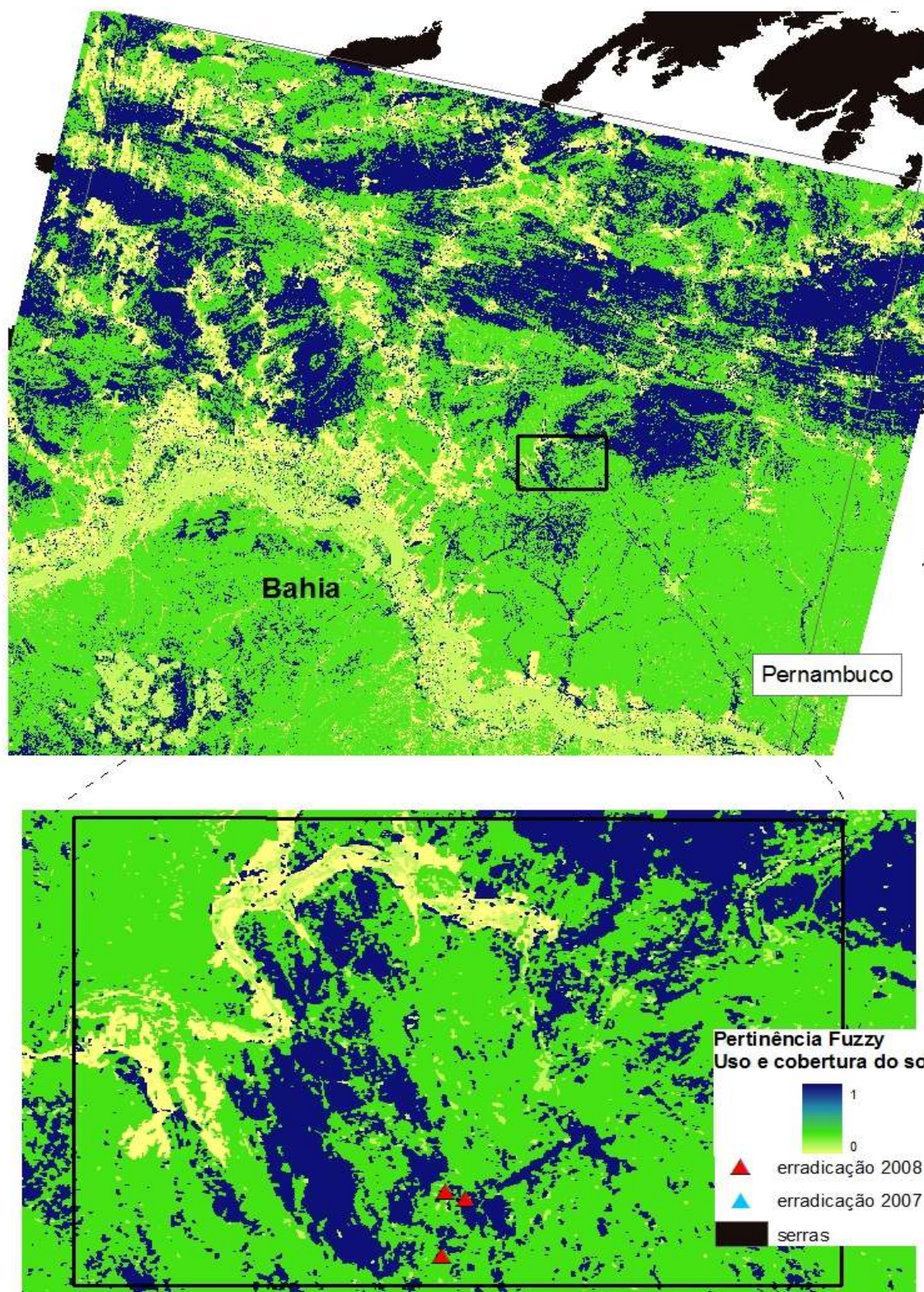


Figura 67. Pertinência *fuzzy* gerada para o fator uso e cobertura do solo na unidade Caatinga gerada a partir da classificação da cena SPOT5 de 14/10/2007 no *e-cognition-Developer*.
 Fonte: Imagens SPOT 5 (Copyright CNES) processadas pela pesquisadora.

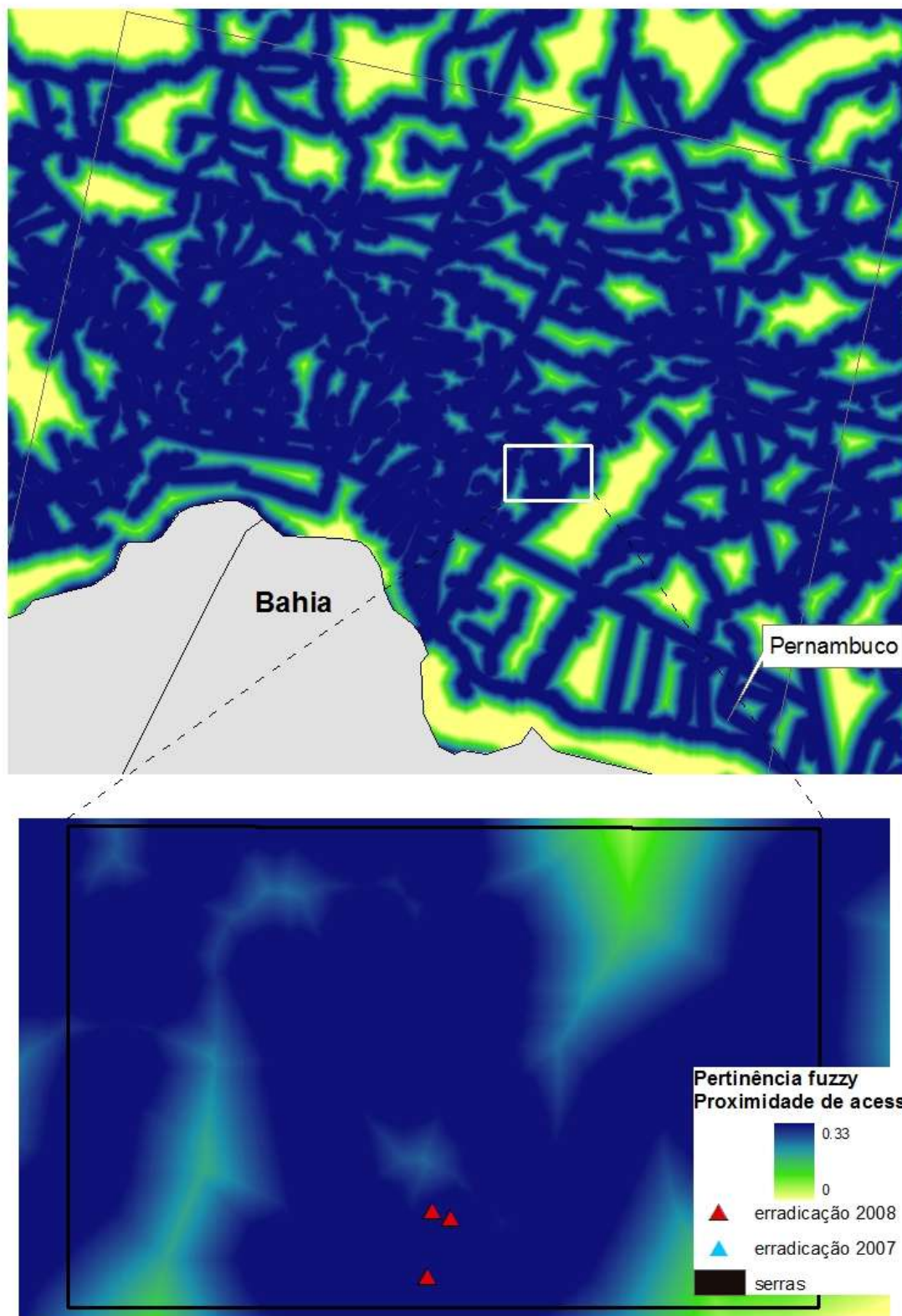


Figura 68. Pertinência *fuzzy* gerada para o fator proximidade de acessos na unidade Caatinga com emprego da função Linear e parâmetros 400 para máximo e mínimo 2000 com divisão do mapa resultante pelo fator redutor 3.

Fonte: Imagens SPOT 5 (*Copyright* CNES) de julho de 2007 processadas pela pesquisadora.

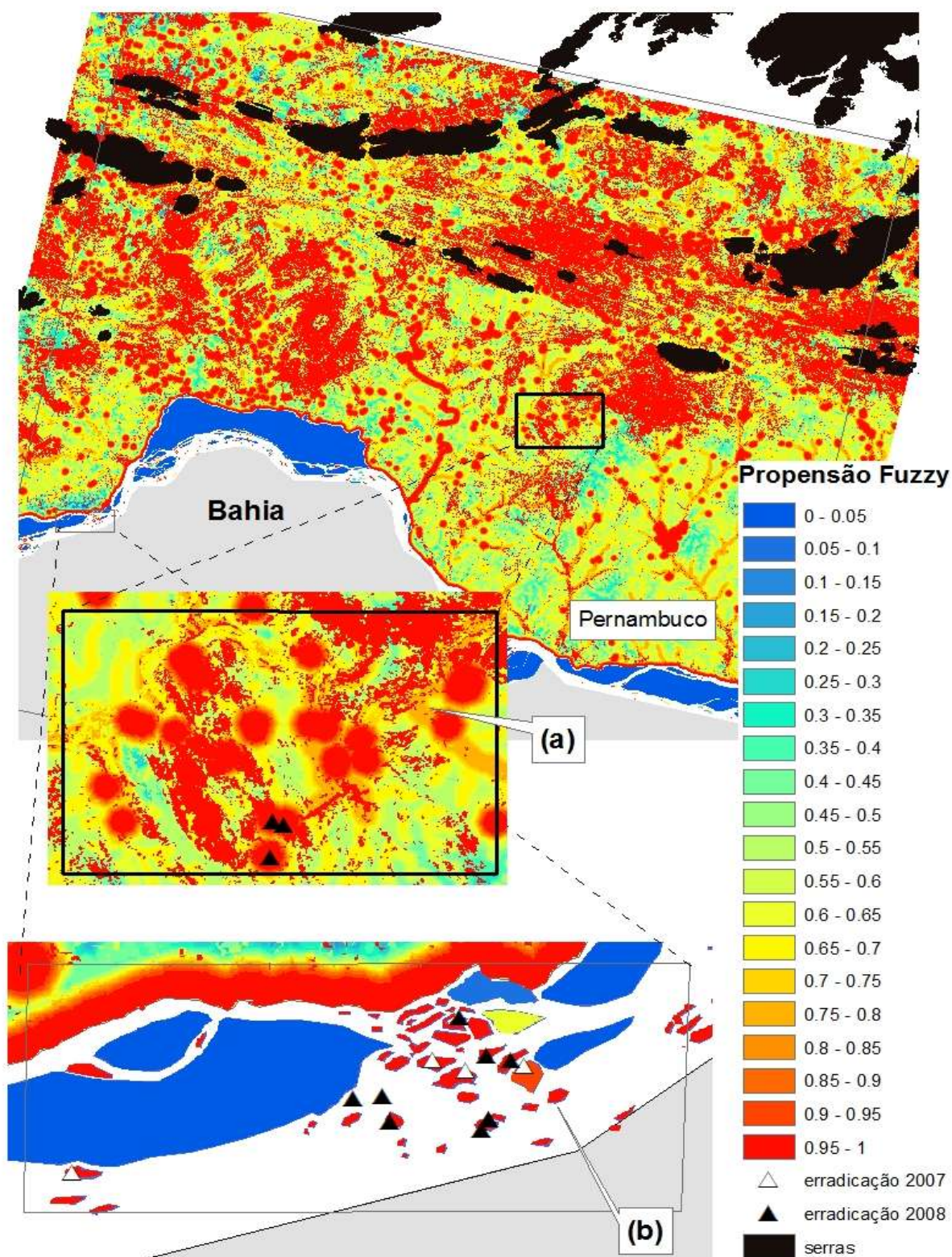


Figure 69. Propensão à ocorrência de plantios ilícitos na área de estudo. Em (a) detalhe da propensão na unidade Caatinga obtida mediante a integração das múltiplas evidências com o emprego do operador "Fuzzy SUM"; e em (b) detalhe da propensão na unidade Ilhas. Fonte: Dados da pesquisa.

Tabela 21. Resultados da verificação da propensão à ocorrência de plantios ilícitos na unidade Caatinga mediante análise de pesos de evidência das classes de propensão. Foram usados, para validação, plantios de *Cannabis sativa* erradicados durante a operação Prometeu em junho de 2007, método descendente e T (*Studentized contrast*) = 2 (aproximadamente 98% de probabilidade).

Cl.	Propensão	Área (km ²)	n	W+	S_W+	W-	S_W-	CNT	CNT (S)	STUD. CNT	GEN	Peso	W_STD
20	0,95-1,00	839,27	7	0,11	0,38	-0,06	0,29	0,17	0,48	0,36	2	0,44	0,28
19	0,90-0,95	871,86	8	0,21	0,35	-0,13	0,30	0,34	0,46	0,72	2	0,44	0,28
18	0,85-0,90	897,90	8	0,18	0,35	-0,11	0,30	0,29	0,46	0,63	2	0,44	0,28
17	0,80-0,85	922,14	8	0,15	0,35	-0,10	0,30	0,25	0,46	0,54	2	0,44	0,28
16	0,75-0,80	1030,59	11	0,36	0,30	-0,35	0,35	0,71	0,46	1,52	2	0,44	0,28
15	0,70-0,75	1121,72	13	0,44	0,28	-0,57	0,41	1,01	0,49	2,06	2	0,44	0,28
14	0,65-0,70	1491,23	19	0,54	0,23	-6,67	10,00	7,21	10,00	0,72	1	-0,57	0,41
13	0,60-0,65	1697,78	19	0,41	0,23	-6,45	10,00	6,86	10,00	0,69	1	-0,57	0,41
12	0,55-0,60	1959,73	19	0,26	0,23	-6,09	10,00	6,35	10,00	0,63	1	-0,57	0,41
11	0,50-0,55	2263,76	19	0,12	0,23	-5,36	10,00	5,48	10,00	0,55	1	-0,57	0,41
10	0,45-0,50	2364,24	19	0,07	0,23	-4,93	10,00	5,00	10,00	0,50	1	-0,57	0,41
9	0,40-0,45	2436,09	19	0,04	0,23	-4,43	10,00	4,48	10,00	0,45	1	-0,57	0,41
8	0,35-0,40	2489,30	19	0,02	0,23	-3,80	10,00	3,82	10,00	0,38	1	-0,57	0,41
7	0,30-0,35	2534,95	19	0,01	0,23	-2,36	10,00	2,37	10,00	0,24	1	-0,57	0,41
6	0,25-0,30	2540,96	19	0,00	0,23	-1,81	10,00	1,81	10,00	0,18	1	-0,57	0,41
5	0,20-0,25	2544,55	19	0,00	0,23	-1,24	10,00	1,24	10,00	0,12	1	-0,57	0,41
4	0,15-0,20	2546,65	19	0,00	0,23	-0,63	10,00	0,63	10,00	0,06	1	-0,57	0,41
3	0,10-0,15	2547,97	19	0,00	0,23	0,11	10,00	-0,11	10,00	-0,01	1	-0,57	0,41
2	0,05-0,10	2548,58	19	0,00	0,23	0,82	10,00	-0,82	10,00	-0,08	1	-0,57	0,41
1	0,001-0,05	2549,17	19	0,00	0,23	9,50	14,14	-9,50	14,14	-0,67	1	-0,57	0,41

Fonte: Dados da pesquisa.

Tabela 22. Resultados da verificação da propensão à ocorrência de plantios ilícitos na unidade Caatinga mediante análise de pesos de evidência das classes de propensão. Foram usados, para validação, plantios de *Cannabis sativa* erradicados durante a operação Colheita em maio de 2008, método descendente e T (*Studentized contrast*) = 2 (aproximadamente 98% de probabilidade).

Cl.	Propensão	Área (km ²)	n	W+	S_W+	W-	S_W-	CNT	CNT (S)	STUD. CNT	GEN	Peso	W_STD
20	0,95-1,00	839,27	11	0,62	0,30	-0,55	0,38	1,16	0,48	2,41	2	0,67	0,29
19	0,90-0,95	871,86	12	0,67	0,29	-0,68	0,41	1,35	0,50	2,70	2	0,67	0,29
18	0,85-0,90	897,90	12	0,64	0,29	-0,66	0,41	1,30	0,50	2,60	1	-0,68	0,41
17	0,80-0,85	922,14	12	0,61	0,29	-0,65	0,41	1,26	0,50	2,52	1	-0,68	0,41
16	0,75-0,80	1030,59	12	0,50	0,29	-0,58	0,41	1,08	0,50	2,16	1	-0,68	0,41
15	0,70-0,75	1121,72	12	0,42	0,29	-0,52	0,41	0,93	0,50	1,87	1	-0,68	0,41
14	0,65-0,70	1491,23	18	0,54	0,24	-6,62	10,00	7,15	10,00	0,72	1	-0,68	0,41
13	0,60-0,65	1697,78	18	0,41	0,24	-6,40	10,00	6,80	10,00	0,68	1	-0,68	0,41
12	0,55-0,60	1959,73	18	0,26	0,24	-6,03	10,00	6,29	10,00	0,63	1	-0,68	0,41
11	0,50-0,55	2263,76	18	0,12	0,24	-5,31	10,00	5,42	10,00	0,54	1	-0,68	0,41
10	0,45-0,50	2364,24	18	0,07	0,24	-4,87	10,00	4,95	10,00	0,49	1	-0,68	0,41
9	0,40-0,45	2436,09	18	0,04	0,24	-4,38	10,00	4,43	10,00	0,44	1	-0,68	0,41
8	0,35-0,40	2489,30	18	0,02	0,24	-3,74	10,00	3,77	10,00	0,38	1	-0,68	0,41
7	0,30-0,35	2534,95	18	0,01	0,24	-2,31	10,00	2,31	10,00	0,23	1	-0,68	0,41
6	0,25-0,30	2540,96	18	0,00	0,24	-1,76	10,00	1,76	10,00	0,18	1	-0,68	0,41
5	0,20-0,25	2544,55	18	0,00	0,24	-1,18	10,00	1,18	10,00	0,12	1	-0,68	0,41
4	0,15-0,20	2546,65	18	0,00	0,24	-0,58	10,00	0,58	10,00	0,06	1	-0,68	0,41
3	0,10-0,15	2547,97	18	0,00	0,24	0,16	10,00	-0,16	10,00	-0,02	1	-0,68	0,41
2	0,05-0,10	2548,58	18	0,00	0,24	0,87	10,00	-0,87	10,00	-0,09	1	-0,68	0,41
1	0,001-0,05	2549,17	18	0,00	0,24	9,56	14,14	-9,56	14,14	-0,68	1	-0,68	0,41

Tabela 23. Resultados da verificação da propensão à ocorrência de plantios ilícitos na unidade ilhas mediante análise de pesos de evidência das classes de propensão. Foram usados, para validação, plantios de *Cannabis sativa* erradicados durante a operação Prometeu em junho de 2007, método descendente e T (*Studentized contrast*) = 2 (aproximadamente 98% de probabilidade).

Cl.	Propensão	Área (km ²)	n	W+	S_W+	W-	S_W-	CNT	CNT (S)	STUD. CNT	GEN	Peso	W_STD
20	0,95-1,00	3,74	11	2,57	0,31	-0,34	0,20	2,91	0,37	7,96	2	2,59	0,26
19	0,90-0,95	4,25	12	2,53	0,29	-0,38	0,20	2,90	0,36	8,13	2	2,59	0,26
18	0,85-0,90	4,50	13	2,55	0,28	-0,42	0,21	2,97	0,35	8,47	2	2,59	0,26
17	0,80-0,85	4,74	14	2,57	0,27	-0,46	0,21	3,03	0,35	8,79	2	2,59	0,26
16	0,75-0,80	5,00	15	2,59	0,26	-0,51	0,22	3,10	0,34	9,07	2	2,59	0,26
15	0,70-0,75	5,23	15	2,54	0,26	-0,51	0,22	3,05	0,34	8,93	1	-0,51	0,22
14	0,65-0,70	5,39	15	2,51	0,26	-0,50	0,22	3,02	0,34	8,84	1	-0,51	0,22
13	0,60-0,65	5,52	15	2,49	0,26	-0,50	0,22	2,99	0,34	8,77	1	-0,51	0,22
12	0,55-0,60	5,56	15	2,48	0,26	-0,50	0,22	2,98	0,34	8,75	1	-0,51	0,22
11	0,50-0,55	5,75	16	2,51	0,25	-0,55	0,22	3,06	0,34	9,05	1	-0,51	0,22
10	0,45-0,50	5,85	16	2,49	0,25	-0,55	0,22	3,04	0,34	9,00	1	-0,51	0,22
9	0,40-0,45	6,15	16	2,44	0,25	-0,55	0,22	2,99	0,34	8,85	1	-0,51	0,22
8	0,35-0,40	6,26	16	2,42	0,25	-0,55	0,22	2,97	0,34	8,79	1	-0,51	0,22
7	0,30-0,35	6,59	17	2,43	0,25	-0,60	0,23	3,03	0,34	9,01	1	-0,51	0,22
6	0,25-0,30	6,71	17	2,41	0,25	-0,60	0,23	3,01	0,34	8,95	1	-0,51	0,22
5	0,20-0,25	6,89	17	2,39	0,25	-0,59	0,23	2,98	0,34	8,87	1	-0,51	0,22
4	0,15-0,20	7,09	17	2,36	0,25	-0,59	0,23	2,95	0,34	8,78	1	-0,51	0,22
3	0,10-0,15	7,52	17	2,30	0,25	-0,59	0,23	2,89	0,34	8,59	1	-0,51	0,22
2	0,05-0,10	8,59	19	2,28	0,23	-0,69	0,24	2,97	0,34	8,85	1	-0,51	0,22
1	0,001-0,05	155,20	36	0,00	0,17	6,06	14,14	-6,06	14,14	-0,43	1	-0,51	0,22

onde: **S_W+** é o desvio-padrão de **W+**; **W-** é o peso das demais classes combinadas; **S_W-** é o desvio-padrão de **W-**; **C** é o contraste calculado pela diferença entre **W+** e **W-**; **C (S)** é o desvio-padrão do contraste; **Stud (C)** é o *Studentized contrast* calculado pela divisão do contraste pelo desvio-padrão; **Gen** é a classificação conforme resultados de peso de evidência onde o valor 1 corresponde às classes que não atendem o critério de confiança e o valor 2 corresponde às classes que atendem o critério de confiança.

Fonte: Dados da pesquisa.

Tabela 24. Resultados da verificação da propensão à ocorrência de plantios ilícitos na unidade ilhas mediante análise de pesos de evidência das classes de propensão. Foram usados, para validação, plantios de *Cannabis sativa* erradicados durante a operação Colheita em maio de 2008, método descendente e T (*Studentized contrast*) = 2 (aproximadamente 98% de probabilidade).

Cl.	Propensão	Área (km ²)	n	W+	S_W+	W-	S_W-	CNT	CNT (S)	STUD. CNT	GEN	Peso	W_STD
20	0,95-1,00	3,74	16	2,85	0,26	-0,49	0,20	3,34	0,33	10,21	2	2,64	0,19
19	0,90-0,95	4,25	18	2,84	0,24	-0,57	0,21	3,41	0,32	10,60	2	2,64	0,19
18	0,85-0,90	4,50	18	2,78	0,24	-0,57	0,21	3,35	0,32	10,42	2	2,64	0,19
17	0,80-0,85	4,74	18	2,73	0,24	-0,57	0,21	3,29	0,32	10,25	2	2,64	0,19
16	0,75-0,80	5,00	18	2,67	0,24	-0,57	0,21	3,24	0,32	10,08	2	2,64	0,19
15	0,70-0,75	5,23	19	2,68	0,23	-0,61	0,22	3,29	0,32	10,29	2	2,64	0,19
14	0,65-0,70	5,39	19	2,65	0,23	-0,61	0,22	3,26	0,32	10,19	2	2,64	0,19
13	0,60-0,65	5,52	20	2,68	0,23	-0,66	0,22	3,34	0,32	10,45	2	2,64	0,19
12	0,55-0,60	5,56	20	2,67	0,23	-0,66	0,22	3,33	0,32	10,42	2	2,64	0,19
11	0,50-0,55	5,75	20	2,64	0,23	-0,66	0,22	3,29	0,32	10,31	2	2,64	0,19
10	0,45-0,50	5,85	20	2,62	0,23	-0,66	0,22	3,27	0,32	10,26	2	2,64	0,19
9	0,40-0,45	6,15	22	2,66	0,22	-0,76	0,24	3,42	0,32	10,68	2	2,64	0,19
8	0,35-0,40	6,26	22	2,65	0,22	-0,76	0,24	3,41	0,32	10,62	2	2,64	0,19
7	0,30-0,35	6,59	23	2,64	0,21	-0,81	0,24	3,45	0,32	10,71	2	2,64	0,19
6	0,25-0,30	6,71	24	2,66	0,21	-0,87	0,25	3,54	0,33	10,88	2	2,64	0,19
5	0,20-0,25	6,89	25	2,68	0,20	-0,94	0,26	3,62	0,33	10,99	2	2,64	0,19
4	0,15-0,20	7,09	25	2,65	0,20	-0,94	0,26	3,58	0,33	10,90	2	2,64	0,19
3	0,10-0,15	7,52	25	2,59	0,20	-0,93	0,26	3,52	0,33	10,71	2	2,64	0,19
2	0,05-0,10	8,59	30	2,64	0,19	-1,33	0,32	3,97	0,37	10,82	2	2,64	0,19
1	0,001-0,05	155,20	40	0,00	0,16	5,96	14,14	-5,96	14,14	-0,42	1	-1,33	0,32

onde: **S_W+** é o desvio-padrão de **W+**; **W-** é o peso das demais classes combinadas; **S_W-** é o desvio-padrão de **W-**; **C** é o contraste calculado pela diferença entre **W+** e **W-**; **C (S)** é o desvio-padrão do contraste; **Stud (C)** é o *Studentized contrast* calculado pela divisão do contraste pelo desvio-padrão; **Gen** é a classificação conforme resultados de peso de evidência onde o valor 1 corresponde às classes que não atendem o critério de confiança e o valor 2 corresponde às classes que atendem o critério de confiança.

Fonte: Dados da pesquisa.

De um modo geral, os resultados obtidos demonstraram que a modelagem da propensão à ocorrência de plantios ilícitos permitiu compreender melhor o espaço de intervenção da polícia e pôde subsidiar a seleção de áreas para imageamento aéreo ou orbital, trabalhos de varredura aérea ou simulações em diferentes cenários. O efeito de alterações nas condições ambientais decorrentes de variações sazonais na disponibilidade hídrica ou decorrentes da intervenção humana (ampliação da rede de irrigação) também podem ser avaliados automaticamente com emprego de ferramentas de geoprocessamento, contribuindo para a tomada de decisão e reduzindo a subjetividade do trabalho.

6.4.2 Abordagem local: Detecção de feições suspeitas por classificação baseada em objetos

6.4.2.1 Mapas resultantes

A Figura 70 apresenta o mapa de uso e cobertura do solo gerado a partir da classificação baseada em objetos da cena SPOT 5 724367 de outubro de 2007 que permitiu o mapeamento mais completo e melhor visualização da distribuição dos diferentes usos e cobertura na área de interesse, proporcionado pela ausência de cobertura de nuvens significativa.

Foram discriminadas as seguintes fitofisionomias da Caatinga: Caatinga Florestada (Savana Estépica Florestada), Caatinga Arborizada (Savana Estépica Arborizada), Caatinga Parque (Savana Estépica Parque), Caatinga Gramíneo-lenhosa (Savana Estépica Gramíneo-lenhosa) ou Pastagens Naturais degradadas e Floresta montana (Floresta Estacional). O mapa de uso e cobertura vegetal discriminou ainda as áreas antropizadas, lâminas d' água e manteve a classe original da classificação com SVM que não se enquadraram nos critérios das novas classes de fisionomias naturais. Essas áreas corresponderam principalmente a áreas de uso agrícola omitidas no plano de informação de áreas antropizadas.

O aspecto das fisionomias vegetais da caatinga presentes na área de estudo e discriminadas nesta classificação são ilustrados nas Figuras 71 a 75.

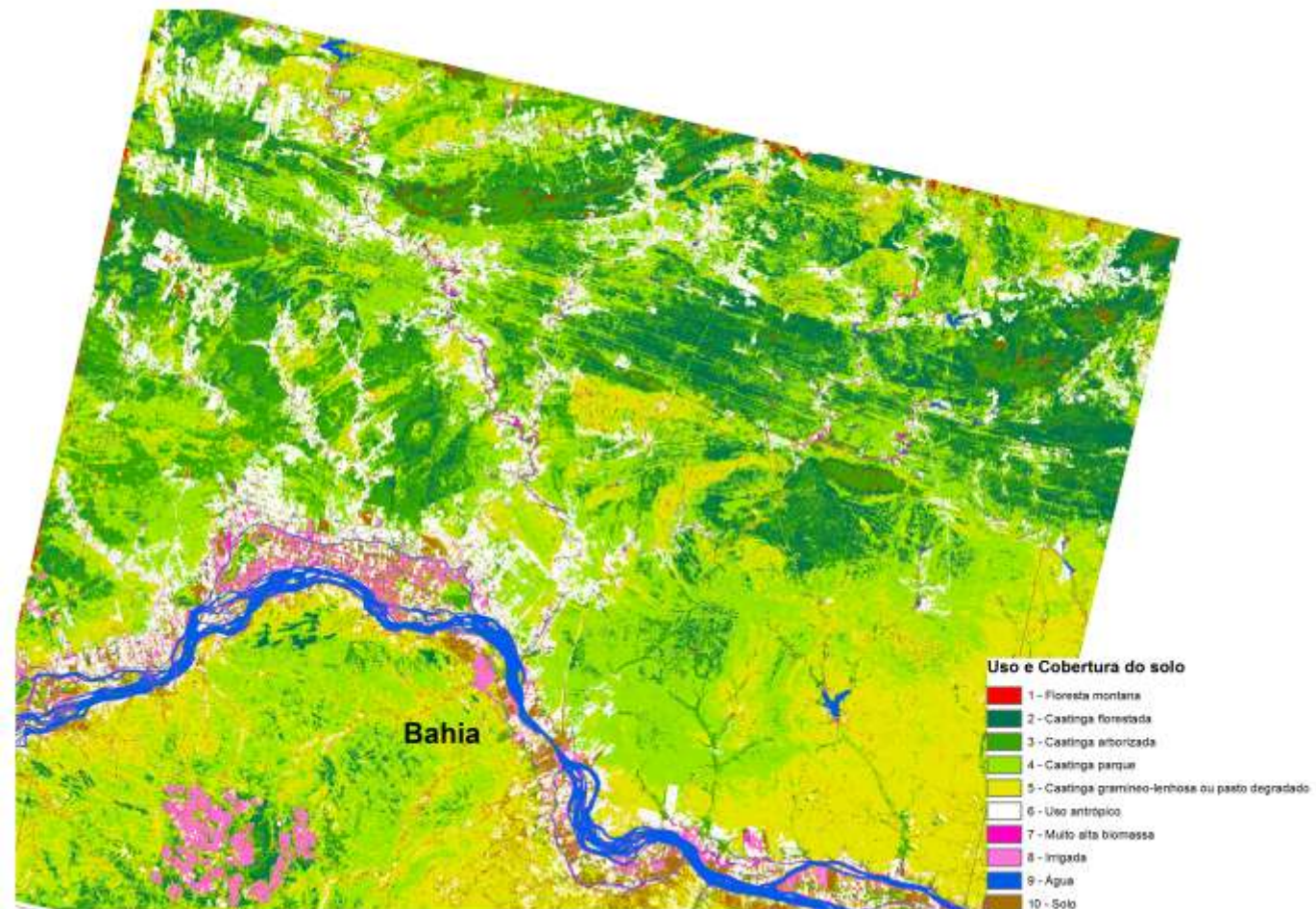


Figura 70. Uso e cobertura do solo gerado a partir de classificação baseada em objetos da cena SPOT 5 HRG, 10 metros de resolução de 14 de outubro de 2007.

Fonte: Imagens SPOT 5 (Copyright CNES) e dados auxiliares processados pela pesquisadora.

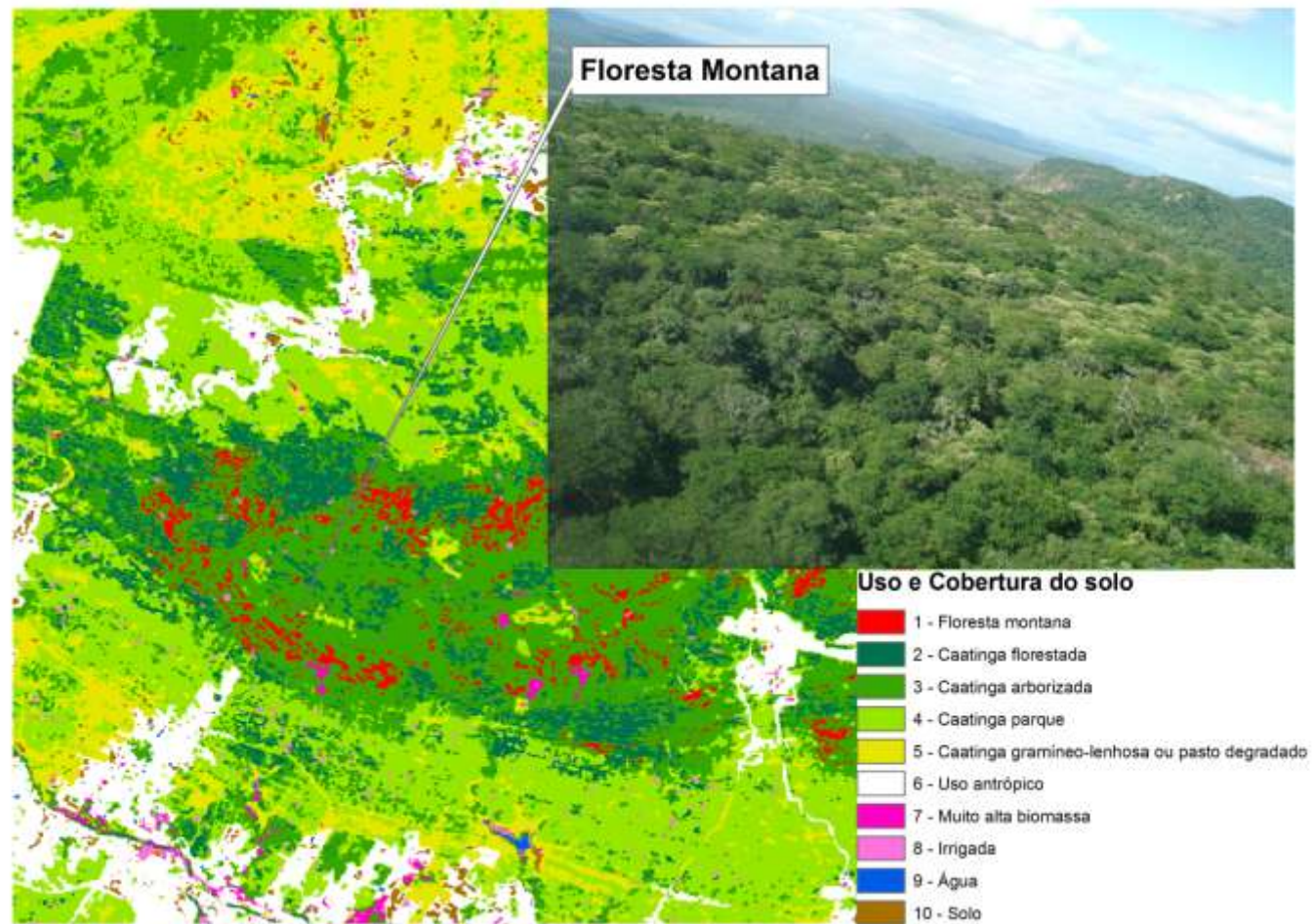


Figura 71. Detalhe do mapa de uso e cobertura do solo gerado a partir de classificação baseada em objetos da cena SPOT 5 HRG de 14 de outubro de 2007 e foto de helicóptero ilustrando aspecto da classe Floresta montana.

Fonte: Imagens SPOT 5 (*Copyright* CNES) e dados auxiliares processados pela pesquisadora. Foto: Polícia Federal, 2008.

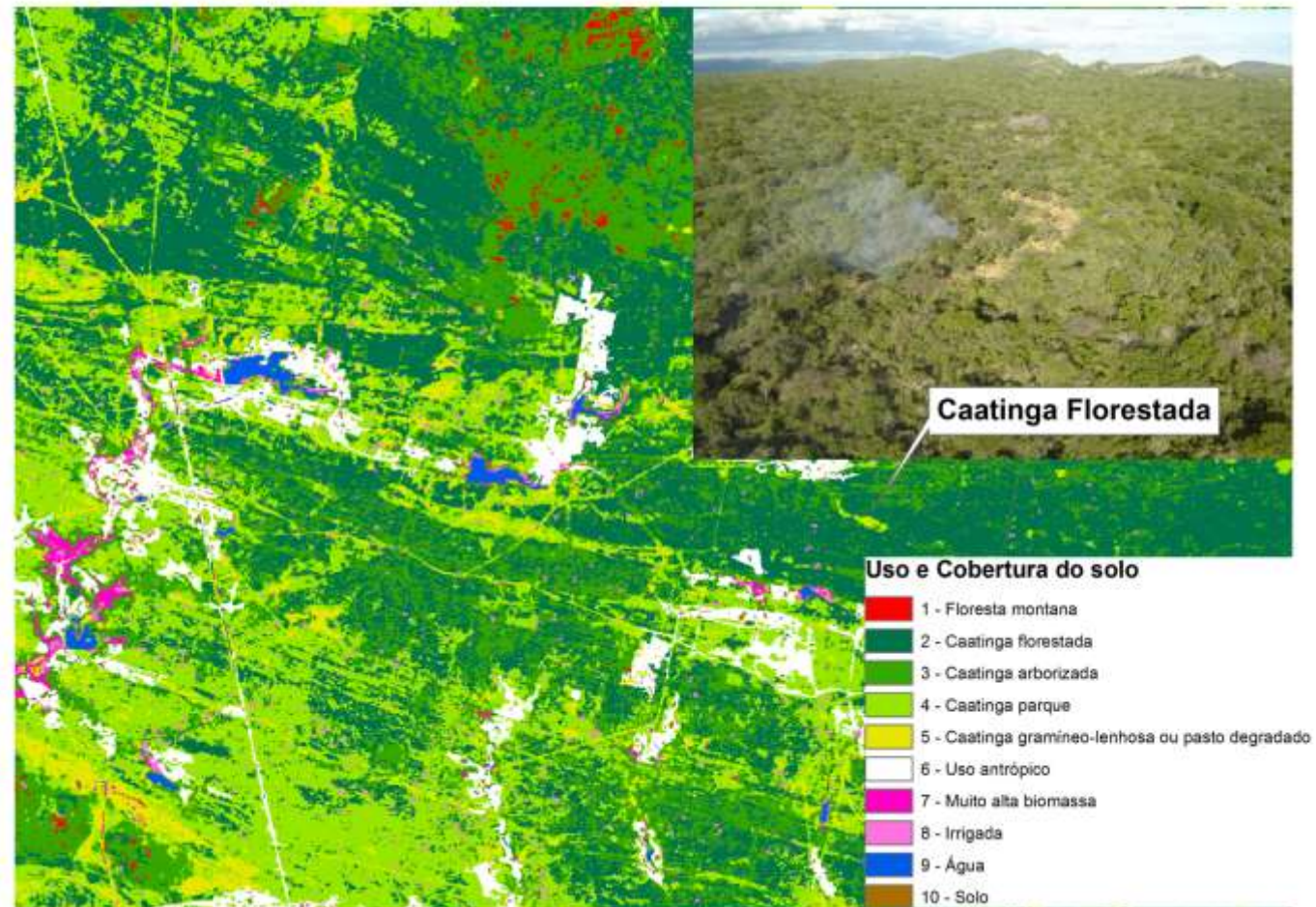


Figura 72. Detalhe do mapa de Uso e cobertura do solo gerado a partir de classificação baseada em objetos da cena SPOT 5 HRG de 14 de outubro de 2007 e foto de helicóptero ilustrando aspecto da classe Caatinga Florestada.

Fonte: Imagens SPOT 5 (*Copyright* CNES) e dados auxiliares processados pela pesquisadora. Foto: Polícia Federal, 2007.

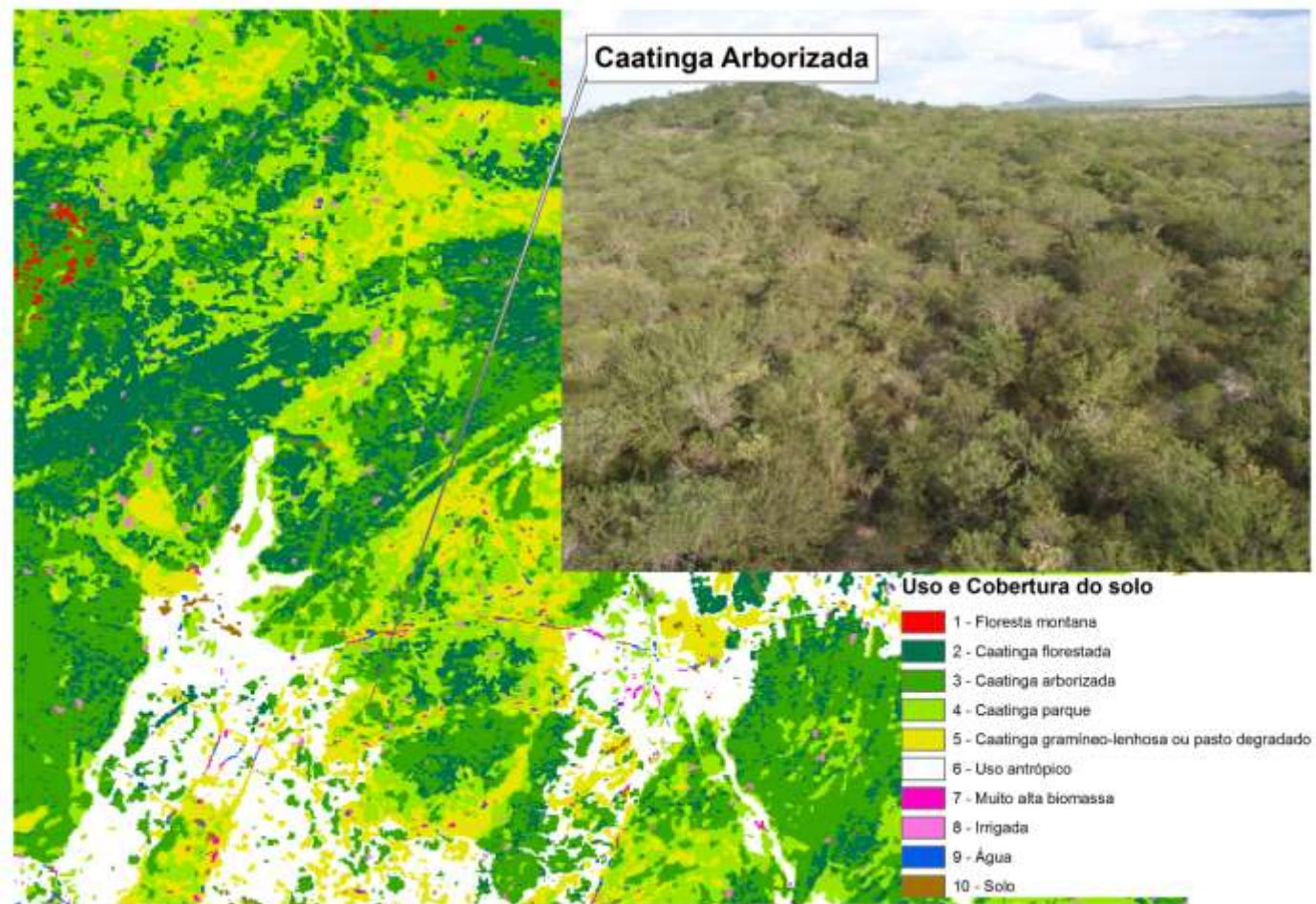


Figura 73. Detalhe do mapa de uso e cobertura do solo gerado a partir de classificação baseada em objetos da cena SPOT 5 HRG de 14 de outubro de 2007 e foto de helicóptero ilustrando aspecto da classe Caatinga Arborizada.
Fonte: Imagens SPOT 5 (Copyright CNES) e dados auxiliares processados pela pesquisadora. Foto: Polícia Federal, 2011.

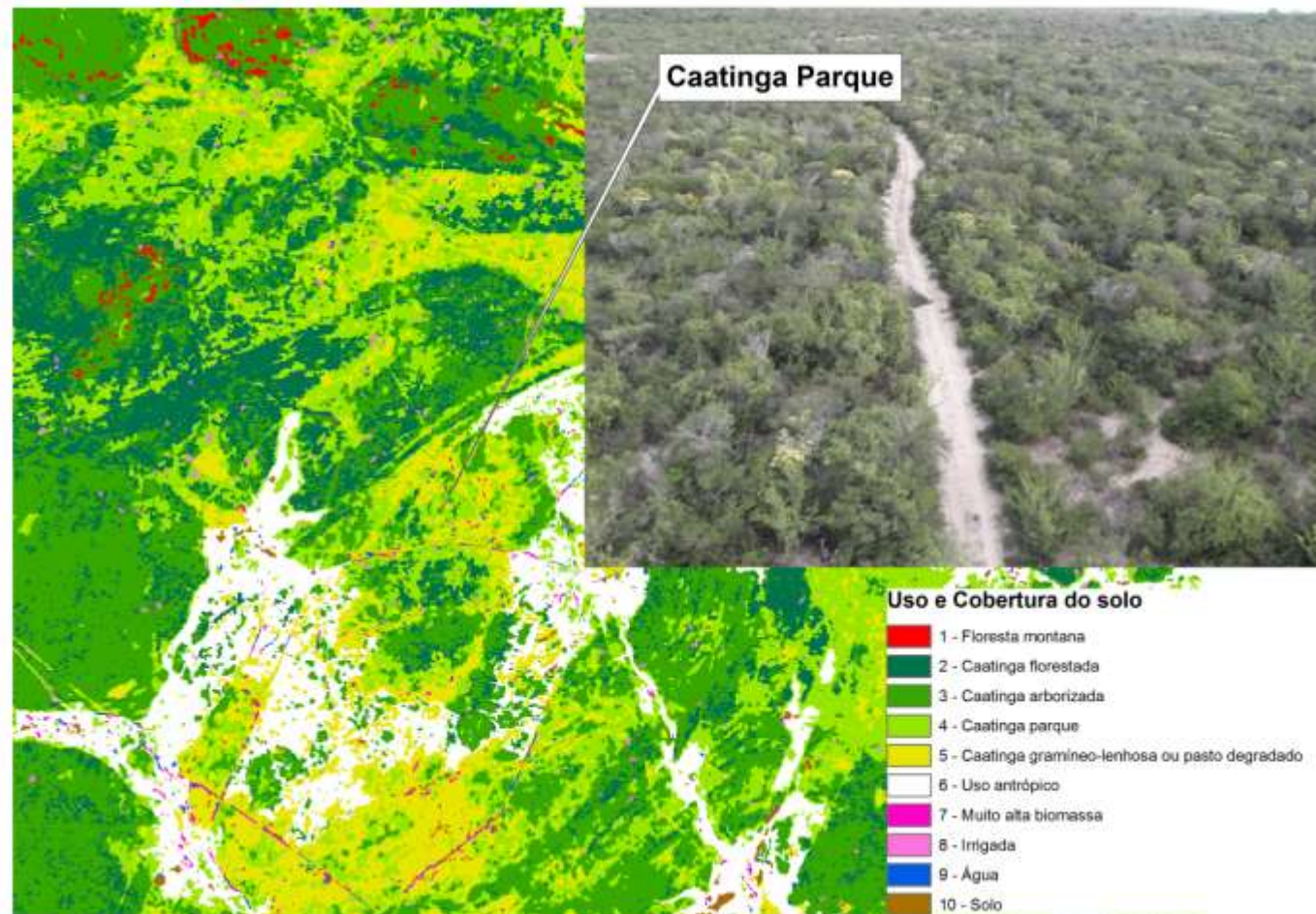


Figura 74. Detalhe do mapa de uso e cobertura do solo gerado a partir de classificação baseada em objetos da cena SPOT 5 HRG de 14 de outubro de 2007 e foto de helicóptero ilustrando aspecto da classe Caatinga Parque.

Fonte: Imagens SPOT 5 (*Copyright* CNES) e dados auxiliares processados pela pesquisadora. Foto: Polícia Federal, 2011.

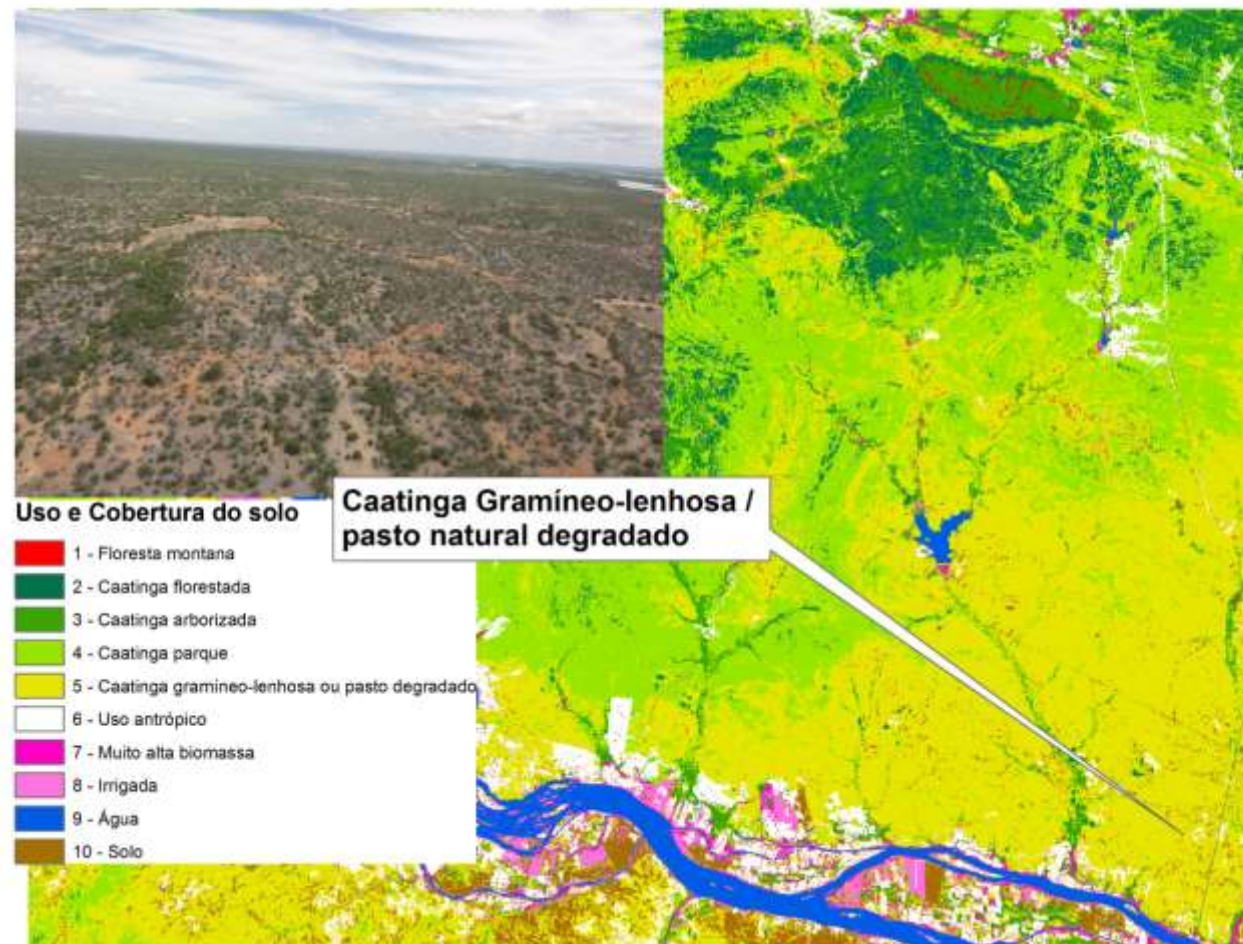


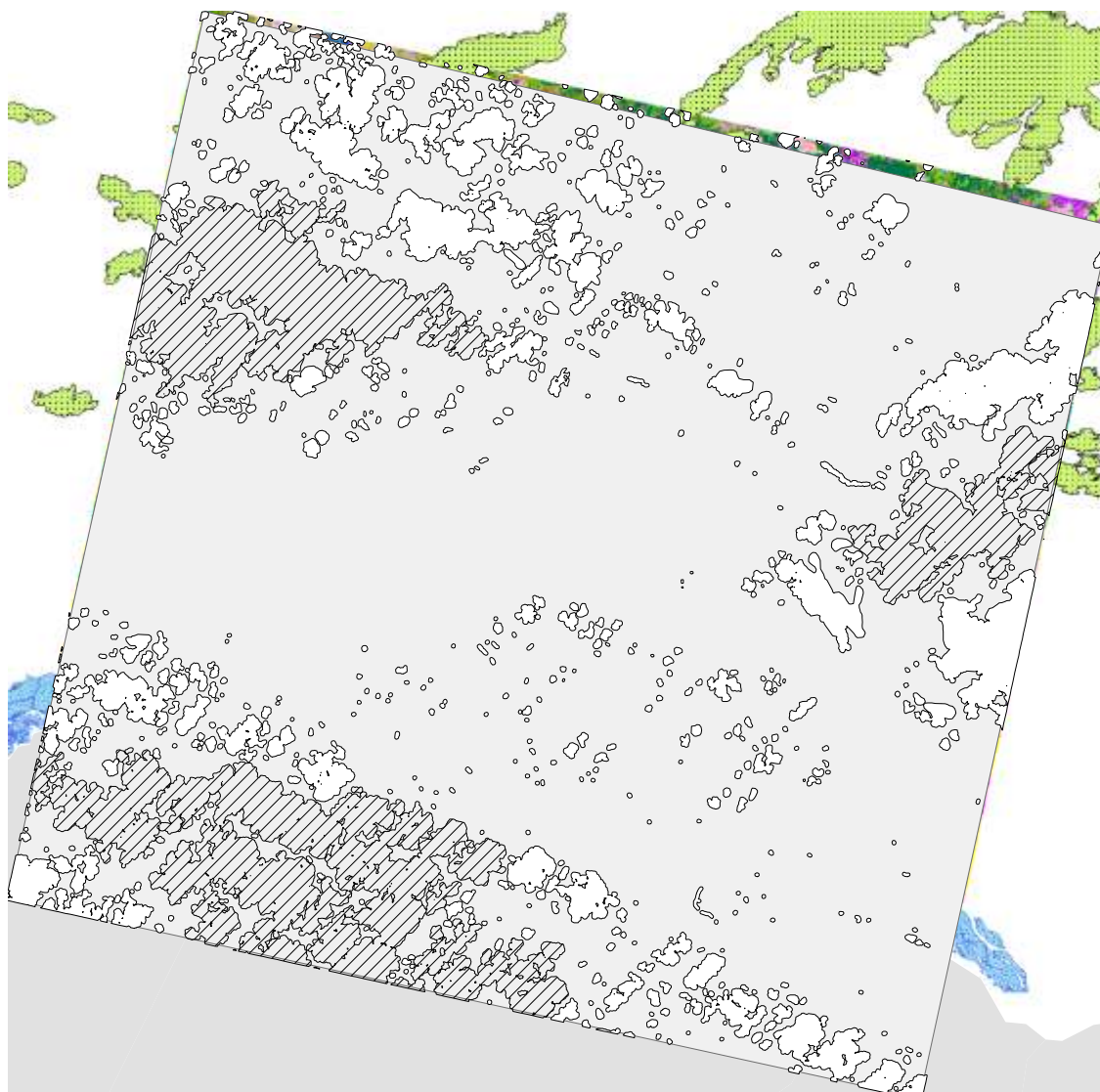
Figura 75. Detalhe do mapa de uso e cobertura do solo gerado a partir de classificação baseada em objetos da cena SPOT 5 HRG de 14 de outubro de 2007 e foto de helicóptero ilustrando aspecto da classe Caatinga Gramíneo-lenhosa/pasto degradado.
Fonte: Imagens SPOT 5 (Copyright CNES) e dados auxiliares processados pela pesquisadora. Foto: Polícia Federal, 2011.

A Figura 76 ilustra o resultado final da classificação para detecção de feições suspeitas na unidade Caatinga para a cena SPOT 5 de 31 de maio de 2007, adquirida previamente à operação de erradicação de plantios ilícitos Prometeu, em junho de 2008. O referido mapa discrimina classes de áreas de alerta, feições suspeitas, fisionomias naturais e áreas antropizadas. Assim como no mapa de uso gerado a partir da imagem de outubro de 2007, a classificação manteve alguns objetos com a classificação original SVM por não se enquadrarem nos critérios das novas classes. Essas áreas foram agrupadas na classe "genérico" no mapa final da classificação baseada em objetos.

6.4.2.2 Verificação

Os resultados da classificação baseada em objetos de cena SPOT 5 e dados geográficos auxiliares para detecção de feições foram verificados mediante a análise de pesos de evidência, usando, como referência, dados de localização dos plantios erradicados durante a operação Prometeu, conduzida previamente à aquisição da imagem. Os resultados da análise da distribuição dos plantios incidentes na área útil da cena são apresentados na Tabela 25.

A análise realizada demonstrou que, dos 15 plantios situados na área útil da cena, oito ou o equivalente a 53% concentraram-se nas classes mapeadas como alerta máximo lago, perene e temporária que, juntas, contabilizam 1% da área analisada. As medidas de peso ($W+$) para essas áreas de alerta foram de respectivamente 5,45; 7,79 e 9,3 indicando o extremo valor preditivo dessas classes. Esses resultados demonstram o bom potencial de emprego da técnica de classificação baseada em objetos na detecção de plantios ilícitos nas condições estudadas. Em termos do quantitativo de plantas, as feições de alerta responderam por aproximadamente 60% das plantas erradicadas na área coberta pela classificação. A seguir, são apresentados em detalhe os resultados da classificação baseada em objetos correspondentes a exemplos de plantios erradicados em campo (Figuras 77 a 80).



Classificação orientada aos objetos

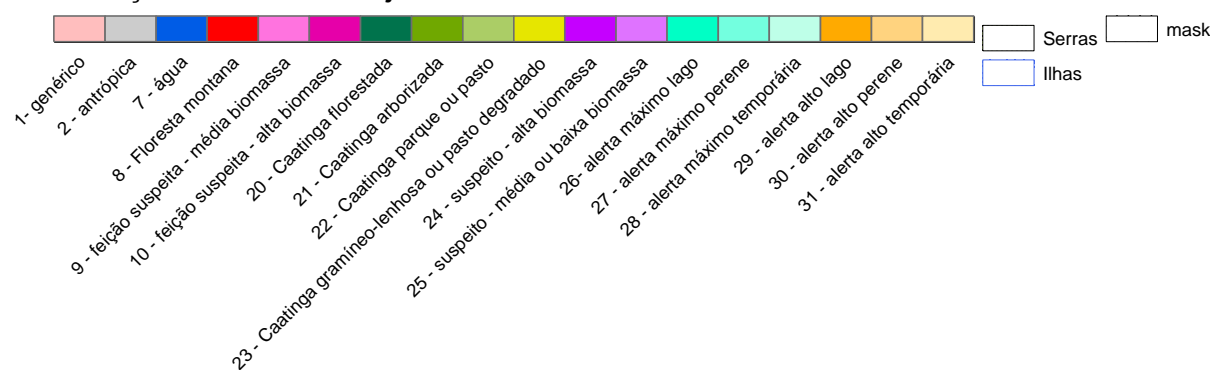


Figura 76. Uso e cobertura do solo gerado a partir de classificação baseada em objetos da cena SPOT 5 HRG, 10 metros de resolução, de 31 de maio de 2007 para detecção de feições de plantios de *Cannabis sativa* na unidade Caatinga.

Fonte: Imagens SPOT 5 (Copyright CNES) e dados auxiliares processados pela pesquisadora.

Tabela 25. Resultados da verificação da detecção de feições na cena 724367 de 31 de maio de 2007 para a unidade Caatinga mediante análise de pesos de evidência das classes de uso e cobertura. Foram usados, para validação, plantios de *Cannabis sativa* erradicados durante a operação Prometeu em junho de 2007, método categórico e T (*Studentized contrast*) = 2 (aproximadamente 98% de probabilidade).

CI.	Classe	Área (km ²)	n	W+	S_W+	W-	S_W-	CNT	CNT (S)	STUD. CNT	GEN	Peso	W_STD
1	genérico	134.83	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	99	-0,75	0,38
2	antrópica	244.16	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	99	-0,75	0,38
7	água	21.83	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	99	-0,75	0,38
8	Floresta	0.26	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	99	-0,75	0,38
9	Feição suspeita média/baixa biomassa	80.68	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	99	-0,75	0,38
10	Feição suspeita alta biomassa	53.94	1	0,80	1,00	-0,04	0,27	0,84	1,04	0,81	99	-0,75	0,38
20	Caatinga	326.78	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	99	-0,75	0,38
21	Caatinga arborizada	522.53	3	-0,37	0,58	0,12	0,29	-0,49	0,65	-0,76	99	-0,75	0,38
22	Caatinga parque ou pasto	92.96	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	99	-0,75	0,38
23	Caatinga gramíneo ou pasto degradado	150.37	1	-0,22	1,00	0,02	0,27	-0,24	1,04	-0,23	99	-0,75	0,38
24	Suspeito alta biomassa	37.36	1	1,17	1,00	-0,05	0,27	1,22	1,04	1,17	99	-0,75	0,38
25	Suspeito média/baixa biomassa	89.03	1	0,30	1,00	-0,02	0,27	0,32	1,04	0,31	99	-0,75	0,38

Tabela 25. Cont.

CI.	Classe	Área (km ²)	n	W+	S_W+	W-	S_W-	CNT	CNT (S)	STUD. CNT	GEN	Peso	W_STD
26	Alerta máximo lago	5.45	3	4,20	0,58	-0,22	0,29	4,42	0,65	6,83	26	4,20	0,58
27	Alerta máximo perene	7.79	3	3,84	0,58	-0,22	0,29	4,06	0,65	6,28	27	3,84	0,58
28	Alerta máximo temporária	9.30	2	3,25	0,71	-0,14	0,28	3,39	0,76	4,46	28	3,25	0,71
29	Alerta alto lago	5.16	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	99	-0,75	0,38
30	Alerta alto perene	6.99	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	99	-0,75	0,38
31	Alerta alto temporário	12.65	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	99	-0,75	0,38
	TOTAL	1802.08	15										

Fonte: Dados da pesquisa.

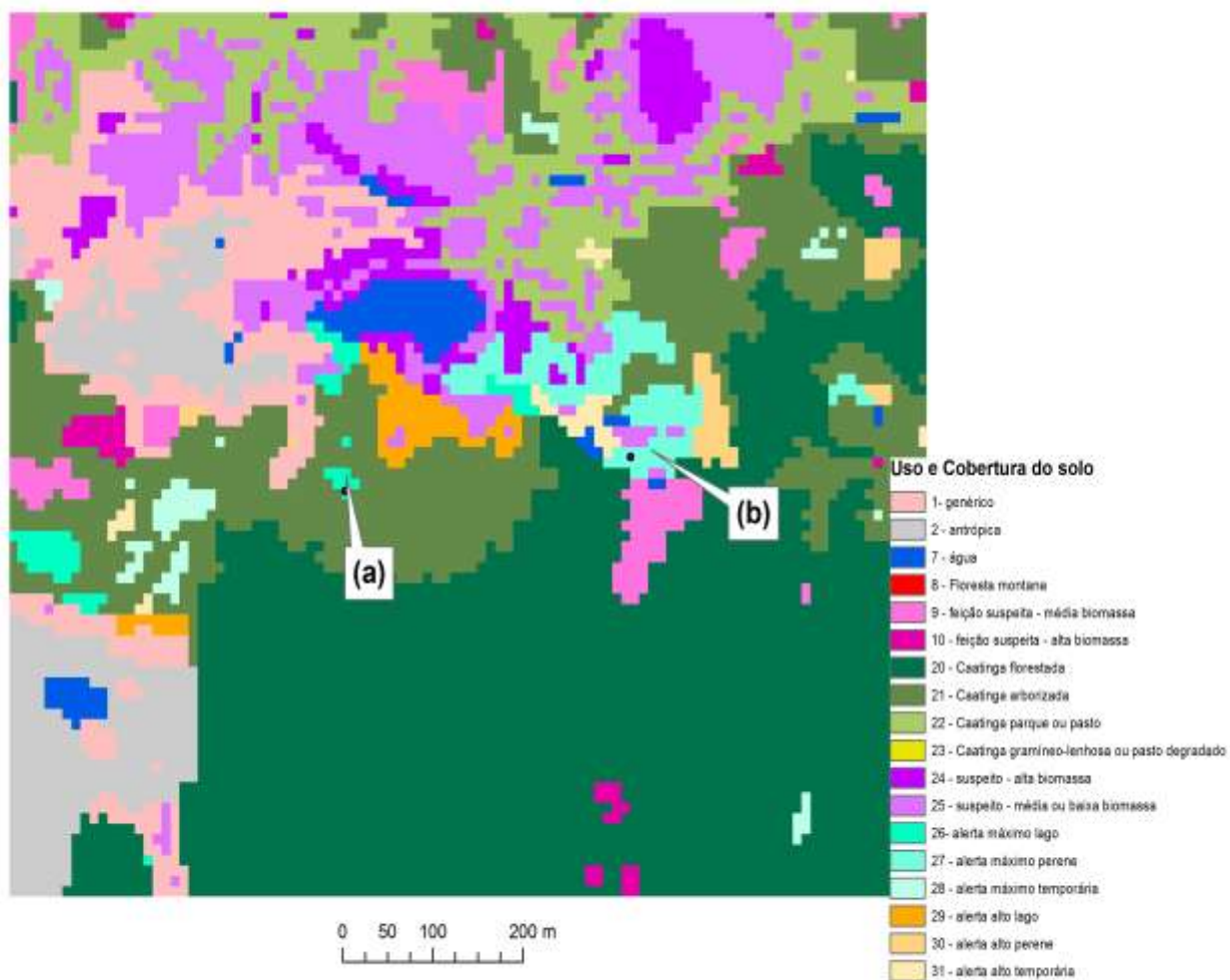


Figura 77. Classificação baseada em objetos da cena SPOT 5 HRG, 10 metros de resolução, de 31 de maio de 2007, com destaque para as feições correspondentes a plantios de *Cannabis sativa* identificados em campo indicados em (a): alerta máximo lago e (b) alerta máximo drenagem perene.

Fonte: Imagens SPOT 5 (Copyright CNES) e dados auxiliares processados pela pesquisadora.

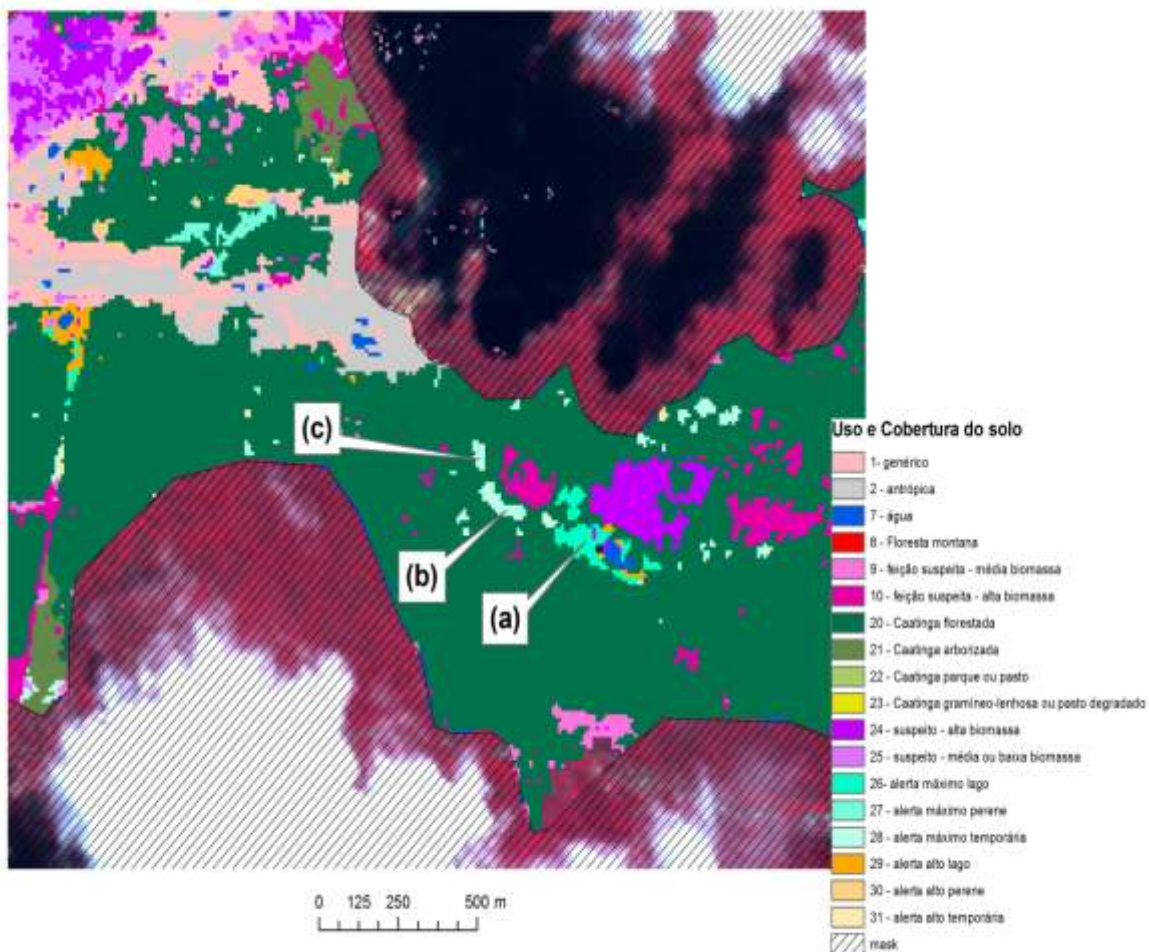


Figura 78. Classificação baseada em objetos da cena SPOT 5 HRG, 10 metros de resolução, de 31 de maio de 2007, com destaque para as feições correspondentes a plantios de *Cannabis sativa* identificados em campo indicados em (a): alerta máximo perene, (b) e (c) alerta máximo drenagem temporária.

Fonte: Imagens SPOT 5 (Copyright CNES) e dados auxiliares processados pela pesquisadora.

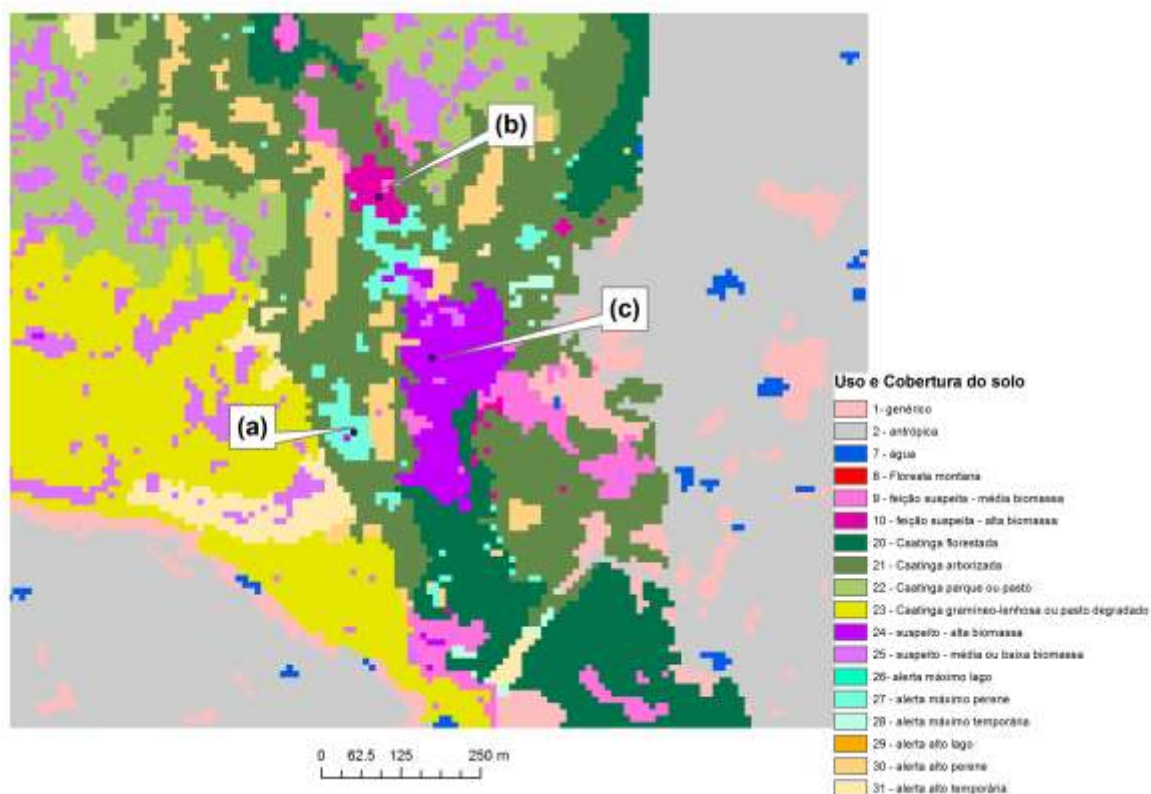


Figura 79. Classificação baseada em objetos da cena SPOT 5 HRG, 10 metros de resolução, de 31 de maio de 2007, com destaque para as feições correspondentes a plantios de *Cannabis sativa* identificados em campo indicados em (a): alerta máximo perene, (b) feição suspeita alta biomassa e (c) suspeito alta biomassa.

Fonte: Imagens SPOT 5 (Copyright CNES) e dados auxiliares processados pela pesquisadora.

A Figura 79 cobre área com três plantios de *Cannabis sativa* erradicados em 13 e 14 de junho de 2007 durante a Operação Prometeu. A feição correspondente à classe alerta máximo perene indicada em (a) delimitou corretamente um dos plantios erradicados em campo e apresentou grau de pertinência para a classe de 0,99. A feição indicada em (b), feição suspeita alta biomassa, embora corresponda a área de plantio de *Cannabis sativa* identificada em campo, não foi classificada como área de alerta devido aos critérios de pertinência referente à proximidade da água. A feição indicada em (c), suspeito alta biomassa, também não foi classificada como área de alerta devido às dimensões da feição excederem os 10 hectares definidos como limite de área máxima. A esse respeito, embora o plantio não ocupasse área superior a 10 hectares, observou-se que as feições mapeadas apresentaram valores de área geralmente superiores aos observados em campo, provavelmente devido ao efeito da alteração da cobertura vegetal na reflectância dos pixels adjacentes ao plantio.

Os resultados obtidos demonstraram que a metodologia empregada na classificação das imagens mostrou-se adequada, podendo, inclusive, ser aprimorada para evitar os erros de omissão descritos anteriormente. Exemplificando, o refinamento das regras com a consequente detecção adicional dos dois plantios (Figura 79 b e c) resultaria na detecção de 85% das plantas erradicadas na área coberta pela classificação. Além de feições erradicadas durante a operação Prometeu em junho de 2007, a classificação também detectou feições de plantios erradicados na operação Colheita em maio de 2008, como o exemplo ilustrado a seguir (Figura 80).

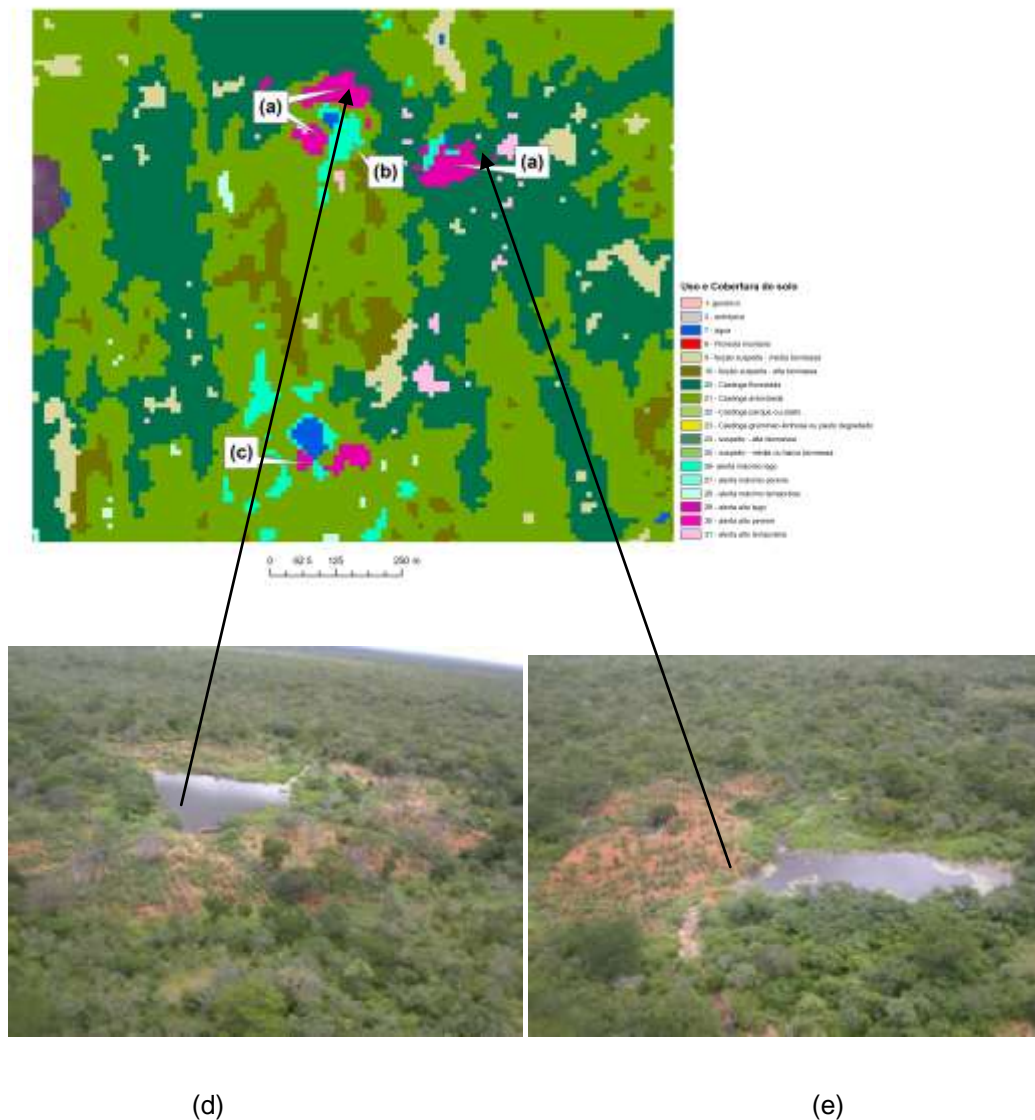


Figura 80. Classificação baseada em objetos da cena SPOT 5 HRG, 10 metros de resolução, de 31 de maio de 2007, com destaque para as feições correspondentes a plantios de *Cannabis sativa* identificados em campo indicados em (a) e (c): alerta alto lago e (b) alerta máximo lago. Em (d) e (e), fotos de helicóptero tomadas dos plantios em 19 de maio de 2008. Fonte: Imagens SPOT 5 (Copyright CNES) e dados auxiliares processados pela pesquisadora. Fotos: Polícia Federal, 2008.

O emprego de regras de classificação baseadas em lógica *fuzzy* possibilitaram a definição dos valores de pertinência a serem considerados válidos na classificação, permitindo simular diferentes condições de restrição. Essa característica permitiu restringir as áreas de alerta como, por exemplo, àquelas que apresentam grau de pertinência superior a 0,9, concentrando a área de busca nos locais que melhor obedecem às regras definidas pelo modelo. No presente estudo, cinco das oito feições de plantios ilícitos detectadas pela classificação apresentam grau de pertinência maior que 0,9. As feições correspondentes às classes alerta máximo lago, alerta máximo perene e alerta máximo drenagens temporárias com grau de pertinência superior a 0,9 são apresentadas respectivamente nas Figuras 81 a 83.

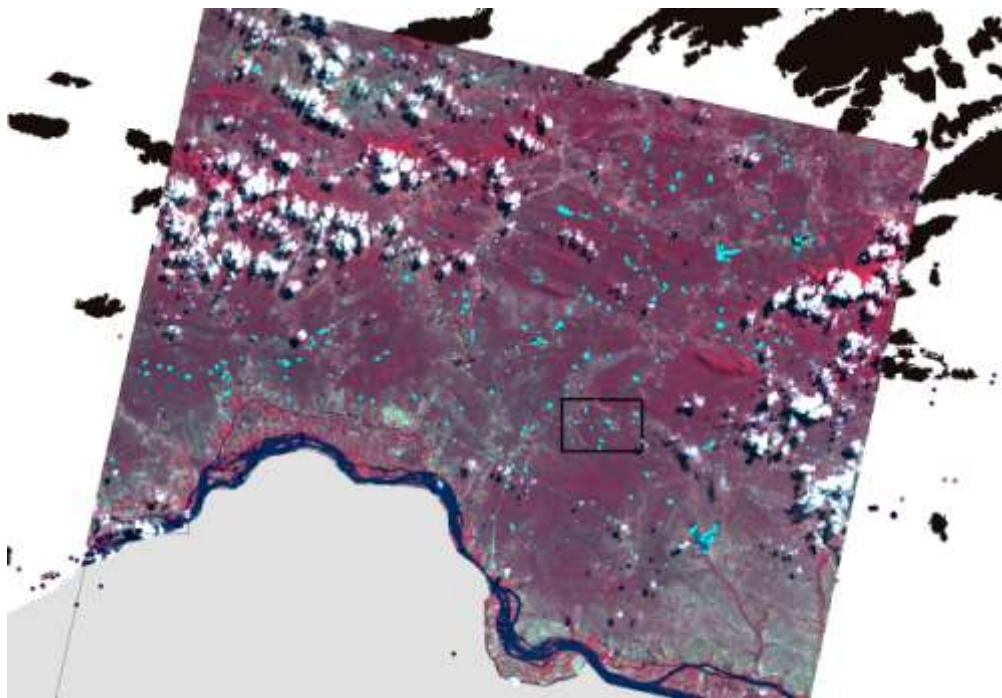


Figura 81. Distribuição das feições com grau de pertinência mínimo de 0,9 para a classe alerta máximo lago (em azul claro). Ao fundo, composição colorida SPOT 5 de 31 de maio de 2007 usada na classificação baseada em objetos.

Fonte: Imagens SPOT 5 (*Copyright* CNES) e resultados da classificação baseada em objetos.

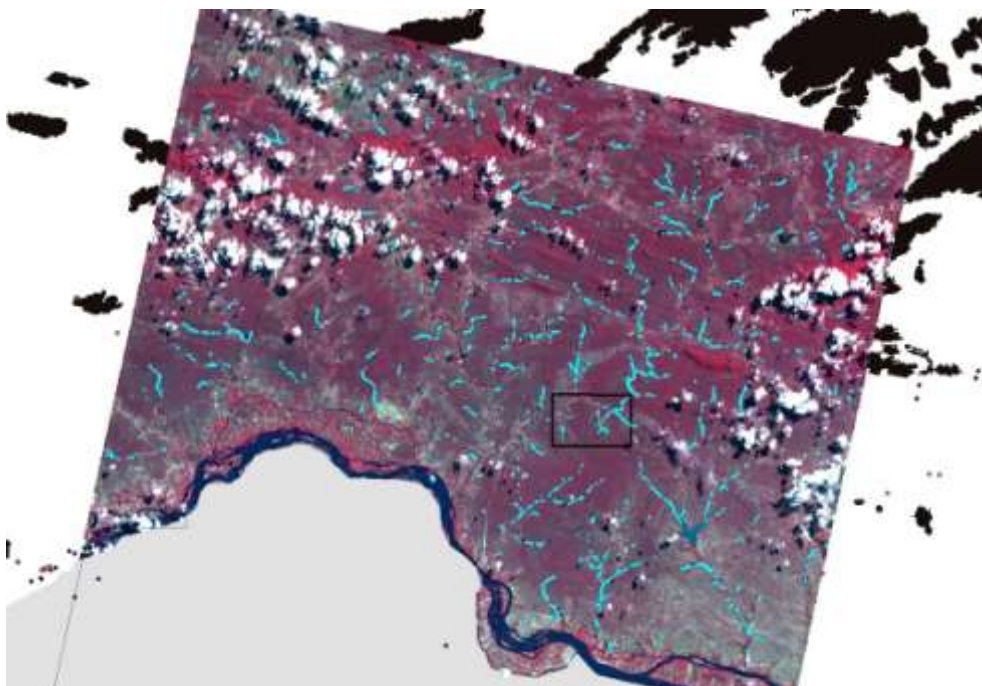


Figura 82. Distribuição das feições com grau de pertinência mínimo de 0,9 para a classe alerta máximo perene (em azul claro). Ao fundo, composição colorida SPOT 5 de 31 de maio de 2007 usada na classificação baseada em objetos.
Fonte: Imagens SPOT 5 (*Copyright* CNES) e resultados da classificação baseada em objetos.

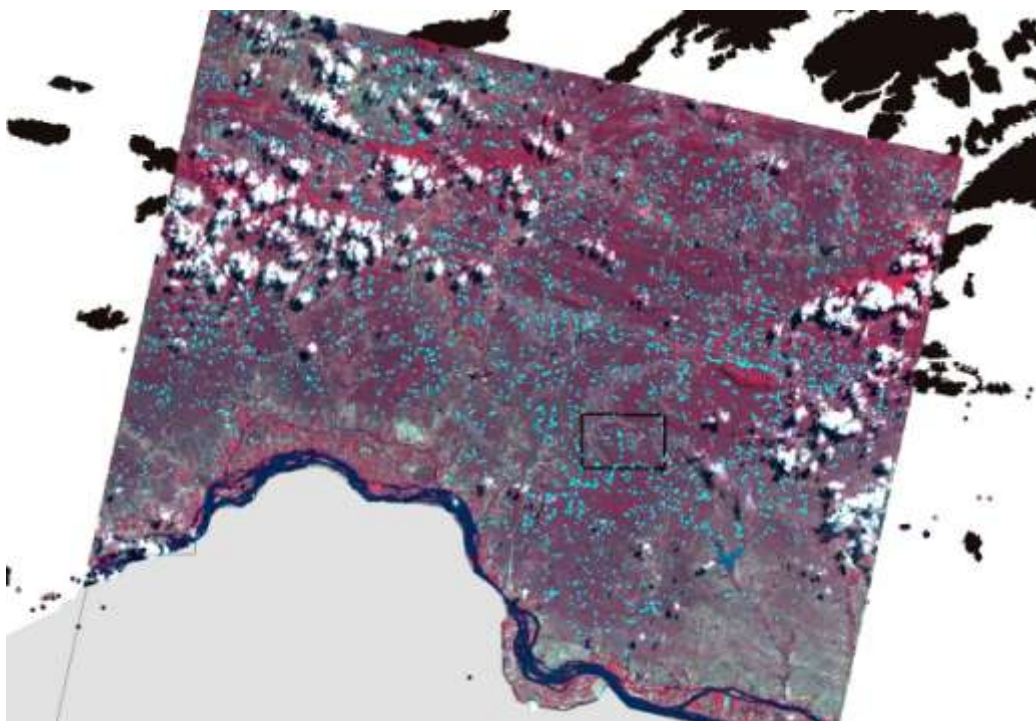


Figura 83. Distribuição das feições com grau de pertinência mínimo de 0,9 para a classe alerta máximo drenagens temporárias (em azul claro). Ao fundo, composição colorida SPOT 5 de 31 de maio de 2007 usada na classificação baseada em objetos.
Fonte: Imagens SPOT 5 (*Copyright* CNES) e resultados da classificação baseada em objetos.

Verificou-se, da análise visual das Figuras 81 a 83, que as feições de alerta correspondentes às drenagens temporárias apresentaram grande dispersão na área, contribuindo relativamente com a maior parte dos ruídos da modelagem. Porém, é interessante observar que a influência dessa variável deve ser considerada apenas nos períodos chuvosos, visto que, pela natureza intermitente dessas fontes d'água, não se espera o emprego significativo desses mananciais para suprimento de água em períodos de estiagem.

7 CONCLUSÕES

Dentre os principais resultados alcançados pela pesquisa, destacam-se:

1) a formalização de uma base de conhecimento sobre as características intrínsecas dos plantios ilícitos de *Cannabis sativa* na área de estudo;

2) a formalização de uma base de conhecimento sobre os padrões espaciais de distribuição dos plantios ilícitos na área de estudo, construída a partir de conhecimento de especialistas e análise exploratória dos dados espaciais;

3) a formalização de uma base de conhecimento sobre os padrões espectrais/temporais dos plantios de *Cannabis sativa* no semiárido pernambucano, subsidiando o emprego de técnicas de sensoriamento remoto na detecção de plantios ilícitos;

4) o delineamento de um modelo sobre a distribuição espacial dos cultivos ilícitos consistiu em uma primeira aproximação para explicar como as condições de isolamento, suprimento de água, acessos e cobertura vegetal influenciam na distribuição dos plantios ilícitos no semiárido pernambucano. O modelo teórico incluindo os fatores ponderados na modelagem e as hipóteses gerais sobre as correlações espaciais não foram rejeitados uma vez que os plantios erradicados incidiram em áreas de alta propensão o que pode indicar a sua adequação em traduzir a realidade de campo. Essa primeira aproximação favorece, conseqüentemente, a compreensão do ambiente e das regras que comandam a distribuição dos plantios com aplicações diretas no delineamento de soluções de prevenção e/ou repressão do crime pela Polícia Federal ou outros órgãos de Estado.

5) A modelagem da propensão à ocorrência de plantios ilícitos permitiu excluir automaticamente da área de busca o equivalente a 42% da área total uma vez que a totalidade dos pontos erradicados durante as operações policiais Prometeu e Colheita incidiu em áreas com valores *fuzzy* superiores a 0,65, o que correspondeu a 58% da área total. Esse resultado demonstra que a modelagem espacial realizada com emprego de SIG e lógica nebulosa permitiu identificar áreas mais vulneráveis à ocorrência de plantios ilícitos em escala regional no semiárido pernambucano.; e

6) A detecção semiautomática de plantios ilícitos com técnicas de análise de imagens baseada em objetos resultou na classificação de 8 plantios, ou o equivalente a 53% dos plantios ilícitos situados na área útil da cena, como feições de alerta máximo. A área total classificada como alerta máximo contabiliza 1% da área analisada e os valores de peso ($W+$) para as classes alerta máximo lago, perene e temporária foram de respectivamente 5,45; 7,79 e 9,3 indicando o extremo valor preditivo dessas classes. Diante dos resultados obtidos conclui-se que o desenvolvimento de uma rotina de a partir de técnicas de classificação de imagens baseada em objetos consistiu em uma ferramenta de uso local que deve facilitar e reduzir o tempo de análise de dados orbitais, favorecendo a incorporação da tecnologia no monitoramento sistemático de plantios ilícitos.

Adicionalmente, espera-se que a estratificação da área de estudo a partir de critérios físicos e de estratégias adotadas pelos plantadores com o mapeamento das unidades ilhas, caatinga e serras, sirva de base para estudos futuros voltados à definição de políticas de prevenção e repressão dos cultivos ilícitos. Ressalte-se, a esse respeito, o caso específico das ilhas fluviais do rio São Francisco, áreas restritas espacialmente e com alta incidência de cultivos ilícitos, onde se justifica a adoção de ações governamentais localizadas que estimulem o desenvolvimento de atividades lícitas aliadas ao controle sistemático e rigoroso com emprego de aeronaves e/ou sensores de alta resolução orbitais ou aerotransportados, ou até mesmo o imageamento com pequenas plataformas não tripuladas.

Em termos operacionais para a Polícia Federal, conclui-se que a predição da propensão à ocorrência de plantios ilícitos com técnicas de modelagem *fuzzy* e a classificação para detecção de feições podem ser empregadas, respectivamente, na redução da área de busca e na prospecção de prováveis plantios em áreas no semiárido pernambucano, assim como podem servir como referência ao estabelecimento de uma metodologia de análise em outras regiões do país ou mesmo em outros países com problemática semelhante. A modelagem *fuzzy* apresenta a vantagem de poder ser empregada a partir de dados pré-existentes em escala regional, não requerendo a disponibilidade de dados recentes de alta resolução.

A rotina de classificação baseada em objetos desenvolvida na pesquisa classificou como alerta máximo o equivalente a 1% da área útil que, por sua vez,

possibilitou a correta delimitação de 58% dos plantios ilícitos situados na área útil da cena, demonstrando o bom potencial de emprego da tecnologia para detecção de alvos complexos em áreas de grandes extensões. Parte dos ruídos da modelagem decorrentes da classificação indevida de objetos como área de alerta podem ser filtrados em uma segunda etapa com a definição de limiares mínimos de grau de pertinência ou mediante análise visual do fotointérprete e comparação com imagens do banco de dados. A eficiência do modelo também pode ser aprimorada futuramente com a melhoria da classificação espectral das imagens e/ou com o emprego de regras mais restritivas na classificação baseada em objetos, baseadas em técnicas de mineração de dados.

A classificação baseada em objetos requer, todavia, a disponibilidade de dados recentes de sensores remotos de alta resolução espacial, preferencialmente de até 4 meses que é aproximadamente duração do ciclo da planta, para que as imagens estejam coerentes com as condições de campo. Neste sentido a dimensão temporal também poderá ser incorporada à metodologia de detecção de feições suspeitas em função da disponibilidade de dados. Conforme demonstrado no estudo dos padrões espectrais dos plantios de *Cannabis sativa*, a análise de mudanças em séries temporais de imagens multiespectrais pode subsidiar a identificação de alvos com comportamento espectral anômalo. Essa ferramenta pode favorecer a detecção de prováveis plantios de *Cannabis sativa* desde que associada a uma análise espacial para identificar áreas propensas ao estabelecimento desses plantios. Além disso, a análise de mudanças pode subsidiar a detecção de indícios de uso suspeito, como o surgimento de novos reservatórios em contexto propício à implantação de plantios ilícitos.

Especificamente quanto às serras, onde também se constatou elevada frequência de plantios ilícitos mas não foram identificados padrões espaciais significativos, justifica-se investigações futuras com dados de maior resolução espacial ou de sensores ativos, técnicas de análise de mudanças ou emprego de técnicas mais avançadas de mineração de dados para prospecção de padrões. O mesmo se justifica em relação às áreas de ilhas que, neste estudo, foram objeto de uma modelagem simplificada que ponderou exclusivamente a influência do tamanho das ilhas na ocorrência dos plantios.

Cabe ressaltar que esta pesquisa consistiu em uma primeira aproximação e poderá ser aprimorada com o melhor conhecimento do fenômeno. A adoção de um monitoramento contínuo dos plantios contribuirá, futuramente, para a melhoria contínua da base de dados e para subsidiar a análise de tendências temporais de distribuição espacial dos plantios e simulações de cenários. Outras variáveis e até mesmo fatores sociais podem contribuir para o aprimoramento do modelo.

É importante considerar ainda que é necessário acompanhar as tendências quanto às estratégias adotadas pelos plantadores da *Cannabis sativa* visto que alterações significativas na configuração espacial ou nas práticas de cultivo podem demandar ajustes na metodologia de detecção, inclusive no que diz respeito à resolução espacial das imagens de sensores remotos.

Algumas evidências do modelo são altamente dinâmicas (vegetação, estradas, áreas urbanas, espelhos d'água) e outras são estáticas (relevo). Portanto, o uso operacional da metodologia requer o emprego de base cartográfica compatível com período analisado, sob o risco de gerar falsos resultados. Além disso, em função de variações sazonais, pode ser necessário suprimir variáveis do modelo como é o caso, por exemplo, do plano de informação de drenagens temporárias, que deve ser empregado apenas no período chuvoso. Outra questão relevante a ser considerada na integração de novos dados refere-se à qualidade da base cartográfica e à necessidade de correção dos dados.

Por fim, há um entendimento que onde há ocorrência de plantios ilícitos é fundamental erradicar a pobreza e não só as drogas porque o subdesenvolvimento torna os países vulneráveis ao tráfico de drogas e a outras formas de crime organizado, sendo que o desenvolvimento é parte do controle das drogas e vice-versa (UNODC, 2010b). Portanto, é fundamental que o Estado brasileiro conjugue ações de desenvolvimento regional para o combate efetivo dos plantios ilícitos no semiárido pernambucano.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, P. P. *et al.* Revisão: funcionamento executivo e uso de maconha. *Revista Brasileira de Psiquiatria*, v. 30, n. 1, 2008. p. 69-76.

ANDRADE, L. B. *Mapeamento do potencial mineral para níquel e ouro no cinturão metassedimentar nova Brasilândia – Rondônia por meio de lógica nebulosa (fuzzy) e redes neurais artificiais.* Dissertação (Mestrado em Geociências) – UNICAMP, Programa de Pós-Graduação, Campinas, 2008. 69 p.

BAATZ, M.; SCHÄPE, A. *Multiresolution segmentation: an optimization approach for high quality multi-scale image segmentation*, 2000. Disponível em: <<http://www.definiens.com>>. Acesso em: 16 mar. 2009.

_____.; HOFFMANN, C.; WILLHAUCK, G. Progressing from object-based to object-oriented image analysis. In: BLASCHKE, T.; HAY, G.; LANG, S. (Eds.). *Object-based image analysis. spatial concepts for knowledge-driven remote sensing applications*. Berlim: Springer, Lecture Notes in Geoinformation & Cartography, 2008. p. 29-42.

BELLANGER, J. L. *La stupefiante histoire de la drogue dans le monde*. Paris: Union Générare d'Éditions, 1963. 316 p.

BLASCHKE, T.; LANG, S. Object-based image analysis for automated information extraction – a synthesis. MAPPS/ASPRS 2006 Falls Conference, San Antonio, Texas, 6 a 10 de novembro de 2006. *Proceedings...* Disponível em: <http://ispace.researchstudio.at/downloads/2006/173_full.pdf>. Acesso em: 30 jul. 2009.

BONHAM-CARTER, G. F. *Geographic information systems for geoscientists: modelling with GIS*. Ontario: Pergamon Press, 1994. 398 p.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Edital Probio 02/2004. Projeto executivo B.02.02.109. *Mapeamento de cobertura vegetal do bioma Caatinga: relatório final*. Brasília, DF, 2007. Projeto concluído. Coordenador técnico: Washington Rocha. Unidades executoras: Universidade Federal de Feira de Santana, EMBRAPA Semiárido. Disponível em: <http://mapas.mma.gov.br/geodados/brasil/vegetacao/vegetacao2002/caatinga/documentos/relatorio_final.pdf>. Acesso em: 16 mar. 2009.

CÂMARA, G. *et al.* Técnicas de inferência geográfica. In: CÂMARA, G.; DAVIS, C. (Orgs.). *Introdução à ciência da geoinformação*. São José dos Campos: INPE, 2001. Disponível em: <http://www.geolab.faed.udesc.br/paginaweb/Pagina%20da%20disciplina%20geop_files/introducao.pdf>. Acesso em: 1 ago. 2011.

_____. Inferência geográfica e suporte à decisão. In: CÂMARA, G.; DAVIS, C.; MONTEIRO, A. M. V. (Orgs.). *Introdução à ciência da geoinformação*. São José dos Campos: INPE. 2002. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/introd/index.html>>. Acesso em: 30 jul. 2009.

_____. Análise espacial e geoprocessamento. In: DRUCK, S.; CARVALHO, M. S.; CÂMARA, G.; MONTEIRO, A. V. M. (Eds.). *Análise espacial de dados geográficos*.

Brasília: Embrapa, 2004. Disponível em:

<<http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/analise/index.html>>. Acesso em: 30 jul. 2009.

CAMPBELL, J. B. *Introduction to remote sensing*. Nova Iorque: The Guilford Press, 3. ed. 2002. 621 p.

CASTILLA, G.; HAY, G. J. Image objects and geographic objects. In: BLASCHKE, T.; HAY, G.; LANG, S. (Eds.). *Object-Based Image Analysis – Spatial Concepts for Knowledge-Driven Remote Sensing Applications*. Berlim: Springer, Lecture Notes in Geoinformation & Cartography, 2008. p. 91-110.

CGPRE. Coordenação Geral de Polícia de Repressão a Entorpecentes. *Informativo de dados estatísticos, apreensão de drogas – 2010*. Brasília: Departamento de Polícia Federal, 2010. 49 p.

CHANEY, S.; TOMPSON, L.; UHLIG, S. The utility of hotspot mapping for predicting spatial patterns of crime. *Security Journal*, v. 21, 2008. p. 4-28.

CHRISTOFOLETTI, A. *Modelagem de sistemas ambientais*. São Paulo: Edgard Blucher, 1999. 236 p.

CLARKE, R. C. *Marijuana Botany*. An Advanced Study. The propagation and breeding of distinctive *Cannabis*. Oakland: Ronin Publishing, 1981. 220 p.

CORRÊA, M. P. *Dicionário das plantas úteis do Brasil e das exóticas cultivadas*. Rio de Janeiro: Imprensa Nacional, 1926. 4.324 p.

DAUGHTRY, C. S. T. L.; WALTHALL, C. 1998. Spectral discrimination of *Cannabis sativa* L. leaves and canopies. *Remote Sensing of Environment*, v. 64, p. 192-201.

EL HAJJ, M. *et al.* Relative radiometric normalization and atmospheric correction of a SPOT 5 time series. *Sensors*, v. 8, n. 4, 2008. p. 2.774-2.791.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. 2000. *Levantamento de reconhecimento de baixa e média intensidade dos solos do estado de Pernambuco*. Rio de Janeiro: Embrapa Solos (Boletim de Pesquisa, 11).

ESRI. Environmental Systems Research Institute. What's new in ArcGIS 10, 2010. 177 p. Disponível em: <http://help.arcgis.com/en/arcgisdesktop/10.0/pdf/whats_new_in_arcgis_10.pdf>. Acesso em: 4 ago. 2011.

FUNG, D. S.; POTTER, W. D. An expert system to predict illicit *Cannabis* growth sites in northeast Georgia. In: 3rd ANNUAL SYMPOSIUM OF THE INTERNATIONAL ASSOCIATION OF KNOWLEDGE ENGINEERS, Gaithersburg: IAKE, *Proceedings...* 1992. p. 563-569.

GOMIDE, F. A. C.; GUDWIN, R. R. Modelagem, controle, sistemas e lógica fuzzy. *SBA Controle & Automação*, v. 4, n. 3, 1994. p. 97-115.

HAINING, R. The spatial nature of spatial data. In: FOTHERINGHAM, A.S.; ROGERSON, P. A. (Eds.). *The SAGE Handbook of Spatial Analysis*. Los Angeles: SAGE Publications, 2009. p. 5- 23.

HAY, G. J.; CASTILLA, G. 2006. Object-based image analysis. Strengths, weaknesses, opportunities and threats (SWOT). In: 1st INTERNATIONAL CONFERENCE ON OBJECT-BASED IMAGE ANALYSIS (OBIA 2006). Salzburg University, Austria, *Proceedings...* Disponível em: <http://www.commission4.isprs.org/obia06/Papers/01_Opening%20Session/OBIA2006_Hay_Castilla.pdf>. Acesso em: 16 mar. 2008.

_____. Geographic object-based image analysis (GEOBIA). A new name for a new discipline. In: BLASCHKE, T.; HAY, G.; LANG, S. (Eds.). *Object-based image analysis. spatial concepts for knowledge-driven remote sensing applications*. Berlin: Springer, Lecture Notes in Geoinformation & Cartography, 2008. p. 75-89.

HONORATO, R. S.; MELO, A. G. F. M. *Laudo 816/2008. Laudo de exame de material vegetal (maconha)*. Recife: Superintendência Regional de Polícia Federal de Pernambuco, Setor Técnico-Científico, 2008. 9 p.

HOULES, V.; EL HAJJ, M.; BEGUE, A. Radiometric normalization of a SPOT 4 and SPOT 5 time series of images (ISLE-REUNION) for agriculture applications. *Revue Française de Photogrammetrie et de Teledetection*, v. 181, 2006. p. 31-37.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Manual Técnico da Vegetação Brasileira*. Rio de Janeiro: IBGE, 1992. 92 p. (Manuais Técnicos em Geociências, 1.).

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Mapa de pobreza e desigualdade. Municípios brasileiros 2003*. 2003. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/cidadesat/topwindow.htm?>>. Acesso em: 16 mar. 2009.

ITT Visual Information Solutions. 2009. ENVI User's Guide. Versão 4.7. e 4.7 SP1.

JENSEN, J.R. *Introductory digital image processing. A remote sensing perspective*, Upper Saddle River: Prentice Hall, 2005. 526 p.

JENSON, S. K.; DOMINGUE, J. O. Extracting topographic structure from digital elevation data for geographic information system analysis. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, v. 54, n. 11, 1988. p. 1.593-1.600.

JUNGERMAN, F. S.; LARANJEIRA, R.; BRESSAN, R. A maconha: qual a amplitude de seus prejuízos? *Revista Brasileira de Psiquiatria*, v. 27, n. 1, 2005. p. 5-6.

KASABOV, N. K. *Foundations of Neural Networks, Fuzzy Systems, and Knowledge Engineering*. The MIT Press, Cambridge, 1996. 550 p.

KEMP, L.D.; BONHAM-CARTER, G. F.; RAINES, G. L. *Arc-WofE: Arcview extension for weights of evidence mapping*. 1999. Disponível em: <<http://www.ige.unicamp.br/wofe>>. Acesso em: 16 mai. 2010.

LANG, S. Object-based image analysis for remote sensing applications: modeling reality – dealing with complexity. In: BLASCHKE, T.; HAY, G.; LANG, S. (Eds.). *Object-based image analysis. spatial concepts for knowledge-driven remote sensing applications*. Lecture Notes in Geoinformation & Cartography, Berlin : Springer, 2008. p. 3-27.

LARANJEIRA, R. Legalização de drogas e a saúde pública. *Ciência & Saúde Coletiva*, v. 15, n. 3, 2010. p. 621-631.

LISITA, A.; MOREIRA, R. C. Estudo espectral com imagens do sensor aerotransportado MSS. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 14., Natal, RN. *Anais...* São José dos Campos: INPE, 2009. p. 1.127-1.133.

MAKROPOULOS, C. K.; BUTLER, D. Spatial decisions under uncertainty: fuzzy inference in urban water management. *Journal of Hydroinformatics*, v. 6, n.1, 2004. p. 3-18.

MITCHELL, A. The ESRI Guide to GIS Analysis. Spatial Measurements and Statistics. *ESRI Press*, v. 2, 2005. 252 p.

NASCIMENTO, C. E. S. *Comportamento invasor da algarobeira Prosopis juliflora (sw) dc. nas planícies aluviais da Caatinga*. Dissertação (Doutorado em Biologia Vegetal) – Universidade Federal de Pernambuco, Programa de Pós-Graduação, Recife, 2008. 115 p.

NEUBERT, M.; HEROLD, H.; MEINEL, G. Evaluation of remote sensing image segmentation quality – further results and concepts. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Science*, v. 36, n. 4, 2006. p. 6-11.

NICOLETTI, M. C.; CAMARGO, H. A. *Fundamentos da teoria de conjuntos fuzzy*. São Carlos: EDUFSCAR, 2004. 65 p.

NUSSBAUM, S.; MENZ, G. *Object-based image analysis and treaty verification. new approaches in remote sensing – applied to nuclear facilities in Iran*. Berlim: Springer, 2008. 170 p.

ONU. Organização das Nações Unidas. *Single convention on narcotic drugs*. 1961. Disponível em: <http://www.unodc.org/pdf/convention_1961_en.pdf>. Acesso em: 5 jul. 2011.

ONU. Organização das Nações Unidas. *Convention on psychotropic substances*. 1971. Disponível em: <http://www.unodc.org/pdf/convention_1971_en.pdf>. Acesso em: 5 jul. 2011.

ONU. Organização das Nações Unidas. *United Nations convention against illicit traffic in narcotic drugs and psychotropic substances*. 1988. Disponível em: <http://www.incb.org/pdf/e/conv/1988_convention_en.pdf>. Acesso em: 5 jul. 2011.

OPENSHAW, S. Neural network, genetic, and fuzzy logic models of spatial Interaction. *Environment and Planning A*, v. 30, 1998. p. 1.857-1.872.

PESARESI, M. Textural analysis of coca plantations using remotely sensed data with resolution of 1 metre. *International Journal of Remote Sensing*, v. 29, n. 23, 2008. p. 6.985-7.002.

PONZONI, F. J.; SHIMABUKURO, Y. E. *Sensoriamento remoto no estudo da vegetação*. São José dos Campos: Editora Parêntese, 2007. 144 p.

RADARSAT INTERNATIONAL. *TR-03-01 – Operation SABOT and illicit crop information management using satellite imagery*. Richmond: Canadian Police Research Centre. 2002. Disponível em: <<http://www.css.drdc-rddc.gc.ca/cprc/tr/tr-2001-03.pdf>>. Acesso em: 30 ago. 2009.

RAMALHO FILHO, A.; BEEK, K. J. *Sistema de avaliação da aptidão agrícola das terras*. 3. ed. Rio de Janeiro: Embrapa-CNPQ, 1995. 65 p.

RAMAN, A. The *Cannabis* plant: botany, cultivation and processing for use. In: BROWN, D.T. (Ed.). *Cannabis - the Genus Cannabis*. Amsterdam: Harwood Academic Publishers, 1998. p. 29-54.

RATANA, P.; HUETE, A. R.; FERREIRA, L. Analysis of Cerrado physiognomies and conversion in the MODIS seasonal-temporal domain. *Earth Interactions*, v. 9, Paper 3, 2005. 22 p.

RATCLIFFE, J. H. *Strategic thinking in criminal intelligence*. Annandale: the federation press, 2. ed., 2009. 273 p.

_____. Crime Mapping. Spatial and Temporal Challenges. In: PIQUERO, A. R.; WEISBURD, D. (Eds.). *Handbook of quantitative criminology*. Nova Iorque: Springer Science and Business Media, 2010. p. 5-24.

RIZZINI, C. T. *Tratado de fitogeografia do Brasil*. Aspectos ecológicos, sociológicos e florísticos. Rio de Janeiro: Âmbito Cultural Edições, 1997. 747 p.

SÁ, I. B.; SÁ, I. I. S. A cobertura vegetal do bioma Caatinga: subsídios ao monitoramento de processos de desertificação. In: SEMINÁRIO DE ATUALIZAÇÃO EM SENSORIAMENTO REMOTO E SISTEMAS DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS APLICADOS À ENGENHARIA FLORESTAL, 8., Curitiba, 7 a 9 de outubro de 2008. *Anais...* Manaus: Fapeam, 2008. p. 677-686.

SAMHSA. Substance Abuse and Mental Health Services Administration. *Results from the 2009 national survey on drug use and health*. Summary of National Findings (Office of Applied Studies, v. I, NSDUH Series H-38A, HHS Publication No. SMA 10-4586Findings), 2010. 98 p.

SANCHES, R. F.; MARQUES, J. M. A. *Cannabis e humor*. *Revista Brasileira de Psiquiatria*, v. 32, n. 2, 2010. p. 173-180.

SANTOS, A. P. *et al.* *Mapeamento de áreas plantadas com Cannabis sativa através de transparências coloridas infravermelhas*. São José dos Campos: INPE, 1983. 29 p. Disponível em: <<http://marte.dpi.inpe.br/col/dpi.inpe.br/marte@80/2009/04.13.12.56/doc/506-515.pdf>>. Acesso em: 15 mar. 2011.

SAWATZKY, D. L. *et al.* *ArcSDM2: ArcMAP extension for spatial data modelling using weights of evidence, logistic regression, fuzzy logic and neural network*

analysis. 2004. Disponível em: <<http://ntserv.gis.nrcan.gc.ca/sdm/>>. Acesso em: 2 ago. 2011.

SCHNEIDER, M. Uncertainty management for spatial data in databases: *fuzzy spatial data types*. *Advances in Spatial Database*, v. 1.651, 1999. p. 330-351.

SCHROEDER, T. A. *et al.* Radiometric correction of multi-temporal Landsat data for characterization of early successional forest patterns in western Oregon. *Remote Sensing of Environment*, v. 103, 2006. p. 16-26.

SHAFRI, H. Z. M.; RAMLE, F. S. H. A comparison of support vector machine and decision tree classifications using satellite data of Langkawi Island. *Information Technology Journal*, v. 8, n. 1, 2009. p. 64-70.

SHARIFI, A. Remote sensing and decision support systems. In: STEIN, A.; VAN DER MEER, F.; GORTE, B. (Eds.). *Spatial Statistics for Remote Sensing*. Netherlands: Kluwer Academic Publishers, 2002. p. 243-260.

SMITH, D. E.; SEYMOUR, R. B. *Cannabis* addiction and withdrawal: attitudes and implications. In: BROWN, D. T. (Ed.). *Cannabis - the Genus Cannabis*. Amsterdam: Harwood Academic Publishers, 1998. p. 247-252.

SONG, C. *et al.* Classification and change detection using Landsat TM data: when and how to correct atmospheric effects? *Remote Sensing of Environment*, v. 75, n. 2, 2001. p. 230-244.

SOUZA, D. Z. *et al.* Roteiro ilustrado para identificação morfológica de *Cannabis sativa* L. *Perícia Federal*, n. 24, 2006. p. 16-22.

SOUZA, B. F. S.; TEIXEIRA, A. S.; SILVA, F. A. T. F. Classificação do bioma Caatinga usando *Support Vector Machines* (SVM). In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 14. Natal, RN. *Anais...* São José dos Campos: INPE, 2009. p. 7.917-7.924.

SPOT IMAGE. *Les fiches techniques SPOT*. 2005. Disponível em: <<http://www.spotimage.fr/web/65-infos-techniques.php>>. Acesso em: 10 mar. 2009.

SRINIVAS, P. *et al.* Application of distance based vegetation index for agricultural crops discrimination. XX ISPRS CONGRESS. Istanbul, Turquia, 12 a 23 de julho de 2004. *Proceedings...* 2004. Disponível em: <<http://www.isprs.org/proceedings/XXXV/congress/comm7/papers/215.pdf>>. Acesso em: 2 ago. 2011.

TRIMBLE. *eCognition Developer 8.64.1 - User Guide*. Munchen: Trimble Germany GmbH, 2011. 242 p.

UNODC. Escritório das Nações Unidas sobre Drogas e Crime. 2006. *Automation of Coca Field interpretations with an Object-Based Approach – A Test Case with a Medium Resolution Satellite Image in Colombia*. 23 p.

UNODC. Escritório das Nações Unidas sobre Drogas e Crime. *Maroc - Enquête sur le Cannabis 2005*. 2007. Disponível em:

<http://www.unodc.org/pdf/research/Morocco_survey_2005.pdf >. Acesso em: 6 mar. 2009.

UNODC. Escritório das Nações Unidas sobre Drogas e Crime. *World drug report 2008*. 2008. Disponível em:

<http://www.unodc.org/documents/wdr/WDR_2008/WDR_2008_eng_web.pdf>. Acesso em: 6 mar. 2009.

UNODC. Escritório das Nações Unidas sobre Drogas e Crime. *World drug report 2009*. 2009. Disponível em:

<http://www.unodc.org/documents/wdr/WDR_2009/WDR2009_eng_web.pdf>. Acesso em: 30 jul. 2009.

UNODC. Escritório das Nações Unidas sobre Drogas e Crime. *World drug report 2010*. 2010a. Disponível em: <http://www.unodc.org/documents/wdr/WDR_2010/World_Drug_Report_2010_lo-res.pdf>. Acesso em: 16 mar. 2011.

UNODC. Escritório das Nações Unidas sobre Drogas e Crime.. *Relatório mundial sobre drogas WDR 2010 - Referências ao Brasil e ao Cone Sul*. 2010b Disponível em:

<http://www.unodc.org/documents/southerncone/Topics_drugs/WDR/2010/WDR_2010_Referencias_ao_Brasil_e_Cone_Sul.pdf>. Acesso em: 16 mar. 2011.

USGS. Serviço Geológico dos Estados Unidos. 2004. *Reprocessing by the GLCF. (1, 3, 30) arc second SRTM elevation, reprocessed to geotiff*. College Park: The Global Land Cover Facility, version 1.0.

VALERIANO, M. M. *TOPODATA. Guia para utilização de dados geomorfológicos locais*. São José dos Campos: INPE, 2008. Disponível em:

<http://www.dsr.inpe.br/topodata/data/guia_enx.pdf>. Acesso em: 1 nov. 2008.

WALTHALL, C.; *et al.* Detection of illegal *Cannabis* cultivation using remote sensing. IGARSS 2006, Denver, Colorado, 31 julho a 4 de agosto de 2006. *Proceedings...* 2006. p. 2.281-2.285.

_____. *et al.* What do we know about the spectral signatures of illegal *Cannabis* cultivation? Office of National Drug Control International Technology Symposium. São Diego, 5 a 8 de julho de 2003. *Proceedings...* 2003. 14 p., 1 CD-ROM.

_____.; DAUGHTRY, C. S. T. Detecting marijuana using optical wavelength remote sensing. Office of National Drug Control International Technology Symposium. São Diego, 25 a 28 de junho de 2001. *Proceedings...* 2001. p. 648-656.

WILLS, S. *Cannabis* use and abuse by man: a historical perspective. In: BROWN, D. T. (Ed.). *Cannabis - the Genus Cannabis*. Amsterdam: Harwood Academic Publishers, 1998a. p. 1-26.

_____. Side effects of *Cannabis* use and abuse. In: BROWN, D. T. (Ed.). *Cannabis - the Genus Cannabis*. Amsterdam: Harwood Academic Publishers, 1998b. p. 253-277.

ZADEH, L.A. *Fuzzy logic = computing with words. IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, v. 4, n. 2, 1996. p. 103-111.

_____. *Fuzzy logic. IEEE Computer Magazine*, 1988. p. 83-93. Disponível em: <<http://www.geocities.ws/hhvillav/00000053.pdf>>. Acesso em: 6 jan. 2011.

ZHANG, Y.; MAXWELL, T. A *fuzzy logic approach to supervised segmentation for object-oriented classification. ASPRS 2006 ANNUAL CONFERENCE*, Reno, Nevada, 1-5 de maio de 2006. *Anais...* 2006. Disponível em: <<http://www.definiens.com>>. Acesso em: 16 mar. 2009.

ANEXOS

Tabela 26. Resultados da análise de pesos de evidência do fator declividade na unidade Caatinga com emprego do método ascendente e para T (*Studentized contrast*) = 2 (aproximadamente 98% de probabilidade). Foram usados, como áreas de treinamento, plantios de *Cannabis sativa* erradicados durante a operação Prometeu em junho de 2007.

Cl.	Decliv. (%)	Área (km ²)	n	W+	S_W+	W-	S_W-	CNT	CNT (S)	STUD. CNT	GEN	Peso	W_STD
1	0-3	2.249	23	0,65	0,21	-0,46	0,23	1,11	0,31	3,57	2	0,65	0,21
2	3-8	7.295	42	0,08	0,15	-5,73	10,00	5,81	10,00	0,58	1	-0,46	0,23
3	8-20	7.834	42	0,00	0,15	-2,99	10,00	2,99	10,00	0,30	1	-0,46	0,23
4	20-45	7.870	42	0,00	0,15	0,05	10,00	-0,05	10,00	0,00	1	-0,46	0,23
5	45-75	7.871	42	0,00	0,15	4,59	10,03	-4,59	10,03	-0,46	1	-0,46	0,23
6	75-200	7.871	42	0,00	0,15	9,84	14,14	-9,84	14,14	-0,70	1	-0,46	0,23

Fonte: Dados da pesquisa.

Tabela 27. Resultados da análise de pesos de evidência do fator declividade na unidade Caatinga com emprego do método ascendente e para T (*Studentized contrast*) = 2 (aproximadamente 98% de probabilidade). Foram usados, como áreas de treinamento, plantios de *Cannabis sativa* erradicados durante a operação Colheita em maio de 2008.

Cl.	Decliv. (%)	Área (km ²)	n	W+	S_W+	W-	S_W-	CNT	CNT (S)	STUD. CNT	GEN	Peso	W_STD
1	0-3	2.249	10	-0,08	0,32	0,03	0,19	-0,11	0,37	-0,31	0	0,00	0,00
2	3-8	7.295	36	0,02	0,17	-0,33	0,71	0,35	0,73	0,49	0	0,00	0,00
3	8-20	7.834	38	0,00	0,16	-2,89	10,00	2,89	10,00	0,29	0	0,00	0,00
4	20-45	7.870	38	0,00	0,16	0,15	10,00	-0,15	10,00	-0,01	0	0,00	0,00
5	45-75	7.871	38	0,00	0,16	4,69	10,03	-4,69	10,03	-0,47	0	0,00	0,00
6	75-200	7.871	38	0,00	0,16	9,94	14,14	-9,94	14,14	-0,70	0	0,00	0,00

Fonte: Dados da pesquisa.

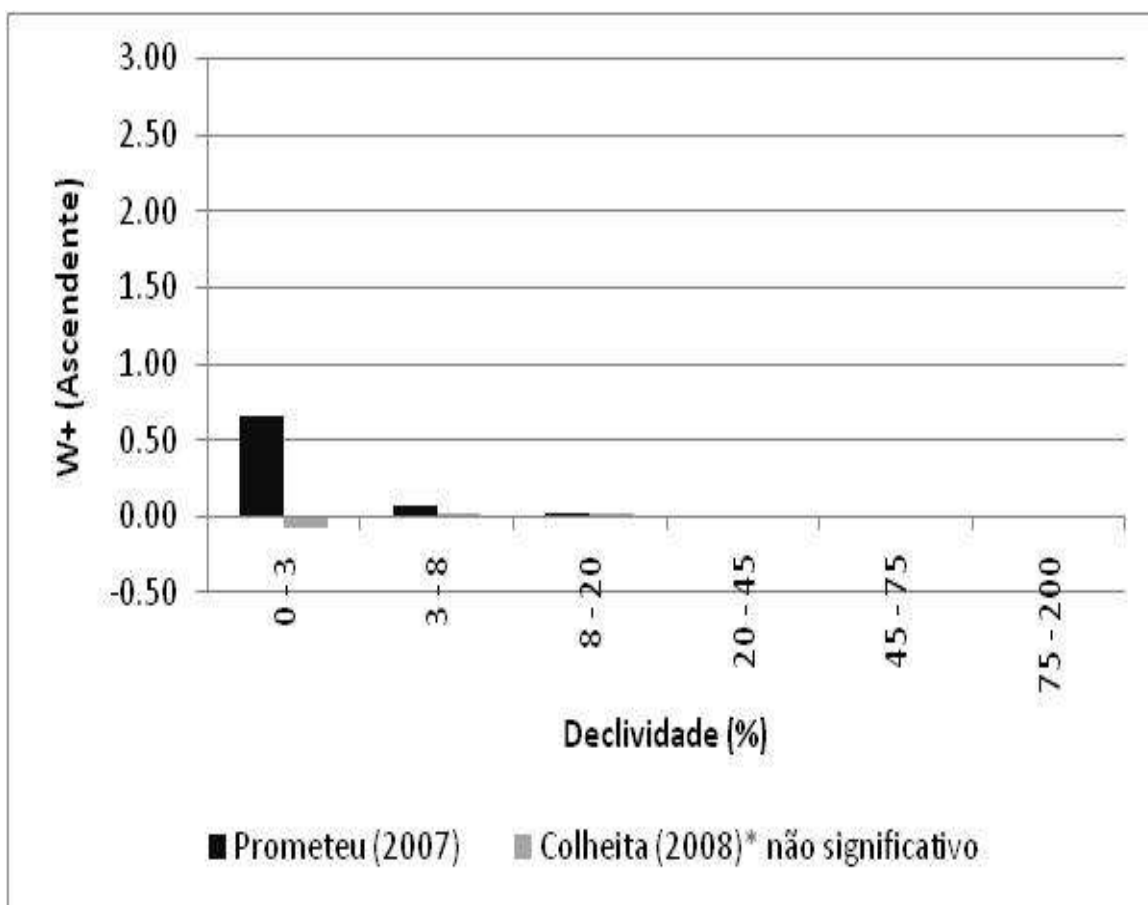


Figura 84. Peso da evidência "Declividade" na distribuição dos plantios de *Cannabis sativa*. Foram usadas, como áreas de treinamento, a localização de plantios de *Cannabis sativa* erradicados durante as operações policiais Prometeu (junho/2007) e Colheita (maio/2008).
Fonte: Dados da pesquisa.

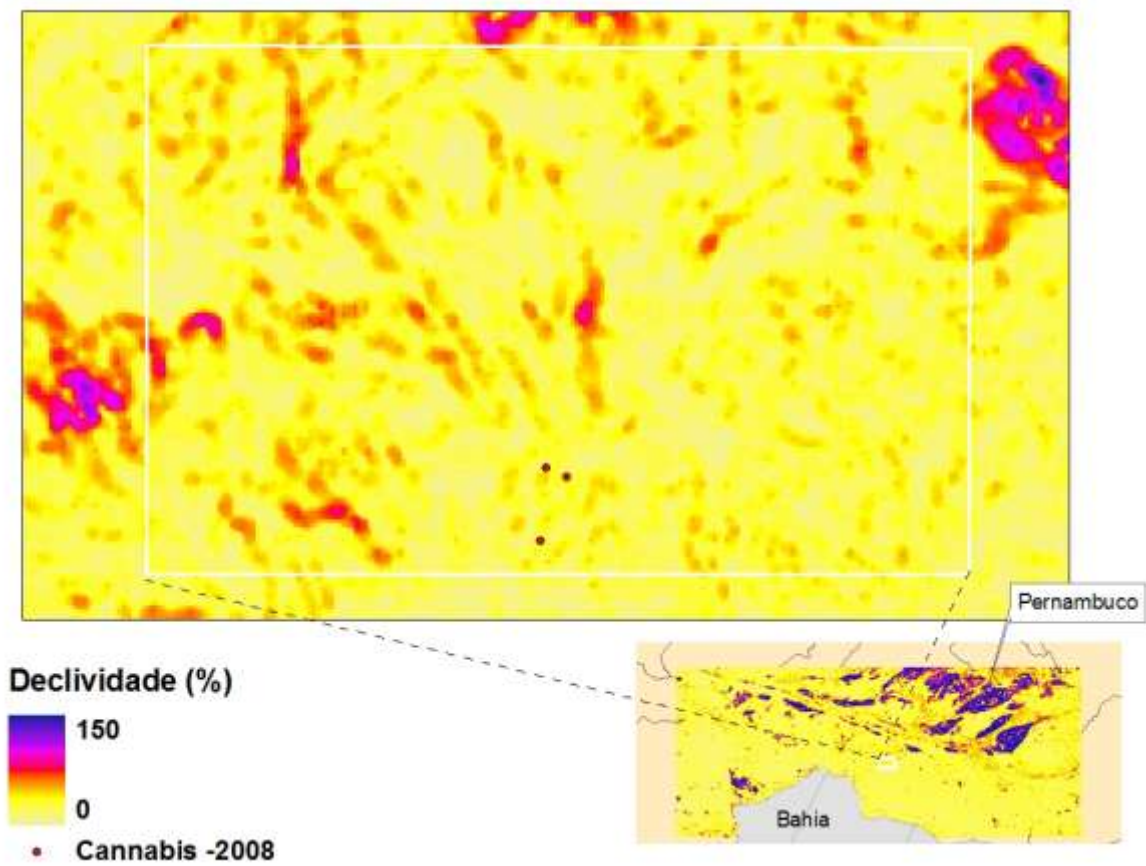


Figura 85. Mapa de declividade para a área de estudo (geral e detalhe).
Fonte: Dados Topodata (VALERIANO, 2008).

Tabela 28 Resultados da análise de pesos de evidência do fator forma do terreno na unidade Caatinga com emprego do método categórico e para T (*Studentized contrast*) = 2 (aproximadamente 98% de probabilidade). Foram usados, como áreas de treinamento, plantios de *Cannabis sativa* erradicados durante a operação Prometeu em junho de 2007.

Cl.	Forma	Área (km ²)	n	W+	S_W+	W-	S_W-	CNT	CNT (S)	STUD. CNT	GEN	Peso	W_STD
1	convergente	3.161	25	0,39	0,20	-0,39	0,24	0,78	0,31	2,50	1	0,39	0,20
2	planar	1.288	9	0,27	0,33	-0,06	0,17	0,33	0,38	0,88	99	0,27	0,33
3	divergente	3.421	8	-0,83	0,35	0,36	0,17	-1,18	0,39	-3,01	3	-0,83	0,35

Fonte: Dados da pesquisa.

Tabela 29 Resultados da análise de pesos de evidência do fator forma do terreno na unidade Caatinga com emprego do método categórico e para T (*Studentized contrast*) = 2 (aproximadamente 98% de probabilidade). Foram usados, como áreas de treinamento, plantios de *Cannabis sativa* erradicados durante a operação Colheita em maio de 2008.

Cl.	Forma	Área (km ²)	n	W+	S_W+	W-	S_W-	CNT	CNT (S)	STUD. CNT	GEN	Peso	W_STD
1	convergente	3.161	28	0,61	0,19	-0,82	0,32	1,43	0,37	3,88	1,00	0,61	0,19
2	planar	1.288	3	-0,73	0,58	0,10	0,17	-0,83	0,60	-1,37	99,00	-0,73	0,58
3	divergente	3.421	7	-0,86	0,38	0,37	0,18	-1,23	0,42	-2,93	3,00	-0,86	0,38

Fonte: Dados da pesquisa.

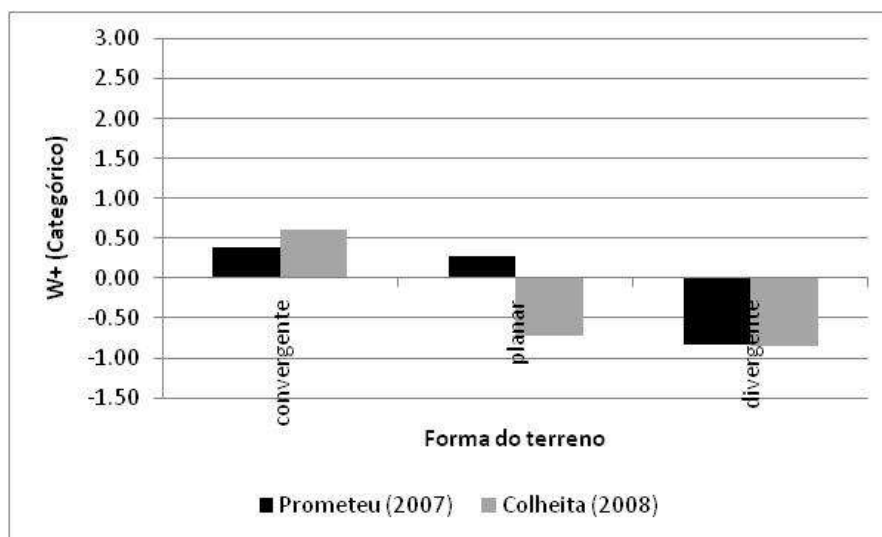


Figura 86. Peso da evidência "Forma do terreno" na distribuição dos plantios de *Cannabis sativa*. Foram usadas, como áreas de treinamento, a localização de plantios de *Cannabis sativa* erradicados durante as operações policiais Prometeu (junho/2007) e Colheita (maio/2008).

Fonte: Dados da pesquisa.

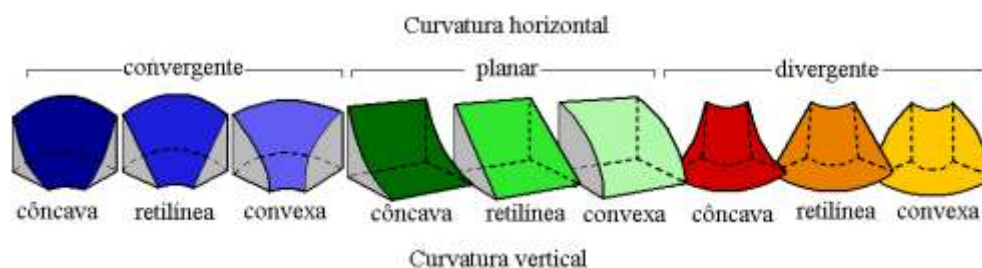


Figura 87. Representação das formas de terreno.

Fonte: Valeriano (2008 p. 64.).

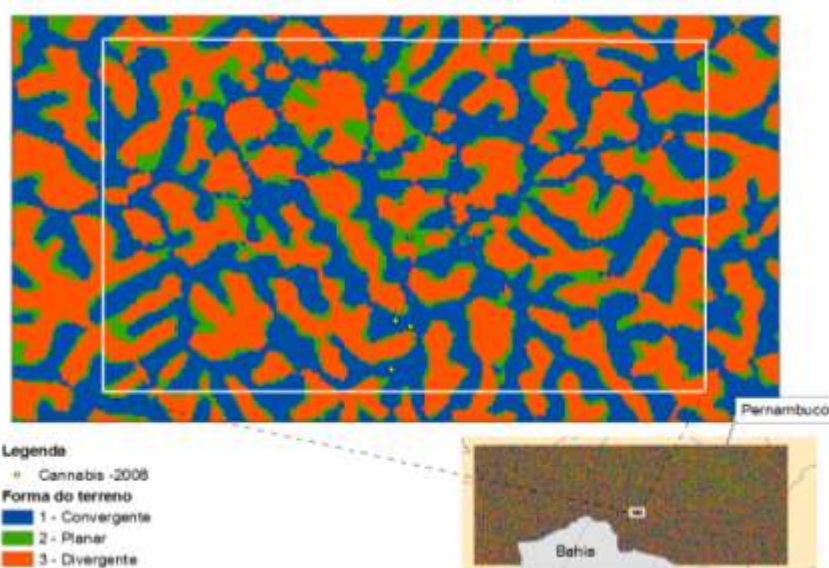


Figura 88. Mapa de forma do terreno para a área de estudo (geral e detalhe).

Fonte: Dados Topodata (VALERIANO, 2008).

Tabela 30. Resultados da análise de pesos de evidência do fator orientação de vertentes na unidade Caatinga com emprego do método categórico e para T (*Studentized contrast*) = 2 (aproximadamente 98% de probabilidade). Foram usados, como áreas de treinamento, plantios de *Cannabis sativa* erradicados durante a operação Prometeu em junho de 2007.

Cl.	Octante	Área (km ²)	n	W+	S_W+	W-	S_W-	CNT	CNT (S)	STUD. CNT	GEN	Peso	W_ STD
1	N	951,18	10	0,68	0,32	-0,14	0,18	0,82	0,36	2,27	1	0,68	0,32
2	NE	923,69	3	-0,50	0,58	0,05	0,16	-0,55	0,60	-0,91	99	-0,14	0,18
3	E	933,61	3	-0,51	0,58	0,05	0,16	-0,56	0,60	-0,93	99	-0,14	0,18
4	SE	1060,77	8	0,35	0,35	-0,07	0,17	0,41	0,39	1,05	99	-0,14	0,18
5	S	1203,64	4	-0,47	0,50	0,07	0,16	-0,54	0,53	-1,03	99	-0,14	0,18
6	SW	1057,54	3	-0,63	0,58	0,07	0,16	-0,70	0,60	-1,17	99	-0,14	0,18
7	W	881,45	5	0,06	0,45	-0,01	0,16	0,07	0,48	0,15	99	-0,14	0,18
8	NW	860,02	6	0,27	0,41	-0,04	0,17	0,31	0,44	0,70	99	-0,14	0,18

Fonte: Dados da pesquisa.

Tabela 31. Resultados da análise de pesos de evidência do fator orientação de vertentes na unidade Caatinga com emprego do método categórico e para T (*Studentized contrast*) = 2 (aproximadamente 98% de probabilidade). Foram usados, como áreas de treinamento, plantios de *Cannabis sativa* erradicados durante a operação Colheita em maio de 2008.

Cl.	Octante	Área (km ²)	n	W+	S_W+	W-	S_W-	CNT	CNT (S)	STUD. CNT	GEN	Peso	W_ STD
1	N	951,18	6	0,27	0,41	-0,04	0,18	0,31	0,44	0,70	99	0.00	0,16
2	NE	923,69	2	-0.80	0,71	0,07	0,17	-0,87	0,73	-1,20	99	0.00	0,16
3	E	933,61	4	-0.12	0,50	0,02	0,17	-0,13	0,53	-0,25	99	0.00	0,16
4	SE	1060,77	6	0,16	0,41	-0,03	0,18	0,19	0,44	0,42	99	0.00	0,16
5	S	1203,64	5	-0.15	0,45	0,02	0,17	-0,18	0,48	-0,36	99	0.00	0,16
6	SW	1057,54	4	-0.24	0,50	0,03	0,17	-0,28	0,53	-0,52	99	0.00	0,16
7	W	881,45	6	0,34	0,41	-0,05	0,18	0,40	0,44	0,89	99	0.00	0,16
8	NW	860,02	5	0,19	0,45	-0,03	0,17	0,21	0,48	0,44	99	0.00	0,16

Fonte: Dados da pesquisa.

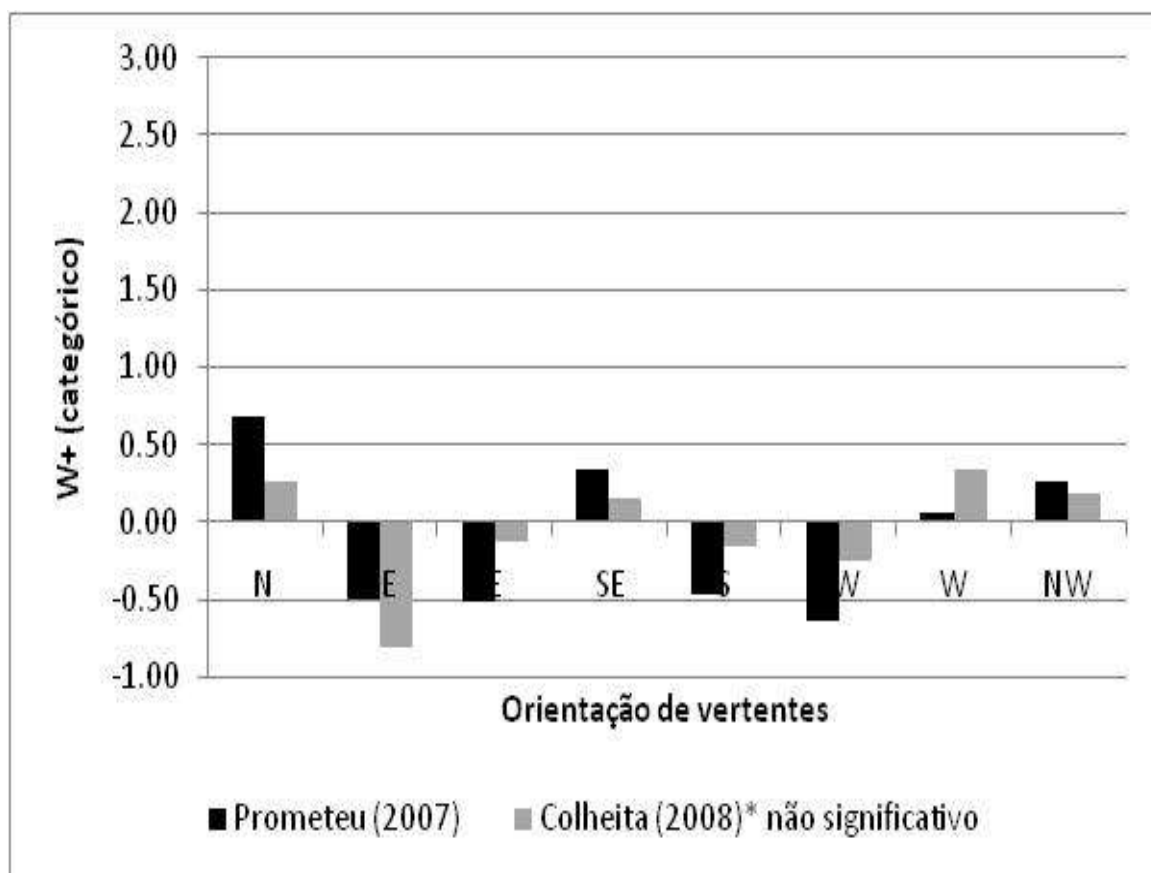


Figura 89. Peso da evidência " Orientação de vertentes" na distribuição dos plantios de *Cannabis sativa*. Foram usadas, como áreas de treinamento, a localização de plantios de *Cannabis sativa* erradicados durante as operações policiais Prometeu (junho/2007) e Colheita (maio/2008).

Fonte: Dados da pesquisa.

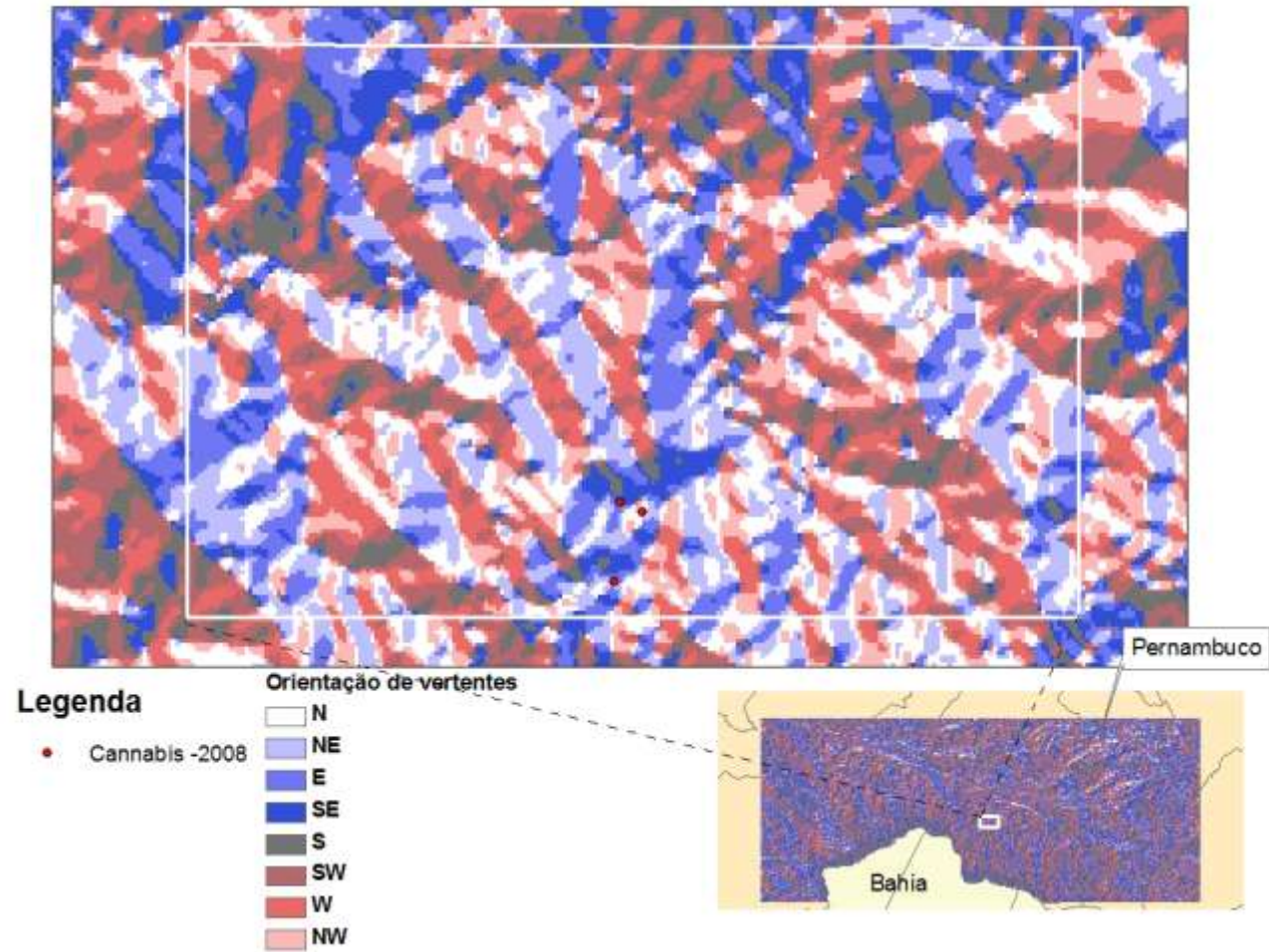


Figura 90. Mapa de orientação de vertentes para a área de estudo (geral e detalhe).
Fonte: Dados Topodata (VALERIANO, 2008).

Tabela 32. Resultados da análise de pesos de evidência do fator distância da água (espelhos d'água e canais) na unidade Serras com emprego do método categórico e para T (*Studentized contrast*) = 2 (aproximadamente 98% de probabilidade). Foram usados, como áreas de treinamento, plantios de *Cannabis sativa* erradicados durante a operação Colheita em maio de 2008.

Cl.	Dist. (m)	Área (km ²)	n	W+	S_W+	W-	S_W-	CNT	CNT (S)	STUD. CNT	GEN	Peso	W_STD
1	0-100	0.720	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	99	0,25	0,22
2	100-200	1.880	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	99	0,25	0,22
3	200-300	3.593	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	99	0,25	0,22
4	300-400	5.713	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	99	0,25	0,22
5	400-500	7.782	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	99	0,25	0,22
6	500-750	28.951	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	99	0,25	0,22
7	750-1000	43.982	4	1,07	0,50	-0,11	0,21	1,18	0,54	2,18	7	1,07	0,50
8	1000-1500	117.710	5	0,31	0,45	-0,06	0,22	0,37	0,50	0,74	99	0,25	0,22
9	1500-3000	333.277	15	0,37	0,26	-0,35	0,30	0,72	0,40	1,80	99	0,25	0,22
10	3000-14560	289.901	2	-1,51	0,71	0,35	0,20	-1,86	0,74	-2,52	10	-1,51	0,71

Fonte: Dados da pesquisa.

Tabela 33. Resultados da análise de pesos de evidência do fator distância da água (espelhos d'água e canais) na unidade Serras com emprego do método categórico e para T (*Studentized contrast*) = 2 (aproximadamente 98% de probabilidade). Foram usados, como áreas de treinamento, plantios de *Cannabis sativa* erradicados durante a operação Liamba (maio/2010).

Cl.	Dist. (m)	Área (km ²)	n	W+	S_W+	W-	S_W-	CNT	CNT (S)	STUD. CNT	GEN	Peso	W_STD
1	0-100	0,72	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	99	-0,09	0,22
2	100-200	1,88	2	3,66	0,71	-0,09	0,22	3,75	0,74	5,04	2	3,66	0,71
3	200-300	3,59	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	99	-0,09	0,22
4	300-400	5,71	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	99	-0,09	0,22
5	400-500	7,78	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	99	-0,09	0,22
6	500-750	28,95	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	99	-0,09	0,22
7	750-1000	43,98	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	99	-0,09	0,22
8	1000-1500	117,71	1	-1,18	1,00	0,11	0,21	-1,29	1,02	-1,26	99	-0,09	0,22
9	1500-3000	333,28	11	0,18	0,30	-0,14	0,29	0,32	0,42	0,76	99	-0,09	0,22
10	3000-14560	289,90	9	0,12	0,33	-0,07	0,27	0,19	0,43	0,44	99	-0,09	0,22

Fonte: Dados da pesquisa.

Tabela 34. Resultados da análise de pesos de evidência do fator distância da água (grandes drenagens) na unidade Serras com emprego do método categórico e para T (*Studentized contrast*) = 2 (aproximadamente 98% de probabilidade). Foram usados, como áreas de treinamento, plantios de *Cannabis sativa* erradicados durante a operação Colheita em maio de 2008.

Cl.	Dist. (m)	Área (km ²)	n	W+	S_W+	W-	S_W-	CNT	CNT (S)	STUD. CNT	GEN	Peso	W_STD
1	0-50	11,59	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	99	-0,39	0,26
2	50-100	11,91	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	99	-0,39	0,26
3	100-200	27,48	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	99	-0,39	0,26
4	200-300	32,71	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	99	-0,39	0,26
5	300-400	37,36	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	99	-0,39	0,26
6	400-500	42,15	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	99	-0,39	0,26
7	500-750	123,40	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	99	-0,39	0,26
8	750-1000	147,08	3	-0,42	0,58	0,07	0,21	-0,50	0,61	-0,81	99	-0,39	0,26
9	1000-1250	150,95	6	0,24	0,41	-0,06	0,22	0,31	0,47	0,66	99	-0,39	0,26
10	1250-1500	126,34	6	0,42	0,41	-0,10	0,22	0,52	0,47	1,11	99	-0,39	0,26
11	1500-2000	111,85	8	0,83	0,35	-0,22	0,24	1,05	0,43	2,48	11	0,83	0,35
12	2000-2614	10,69	3	2,20	0,58	-0,11	0,21	2,31	0,61	3,76	12	2,20	0,58

Fonte: Dados da pesquisa.

Tabela 35. Resultados da análise de pesos de evidência do fator distância da água (grandes drenagens) na unidade Serras com emprego do método categórico e para T (*Studentized contrast*) = 2 (aproximadamente 98% de probabilidade). Foram usados, como áreas de treinamento, plantios de *Cannabis sativa* erradicados durante a operação Liamba (maio/2010).

Cl.	Dist. (m)	Área (km ²)	n	W+	S_W+	W-	S_W-	CNT	CNT (S)	STUD. CNT	GEN	Peso	W_STD
1	0-50	11,59	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	99	-0,08	0,22
2	50-100	11,91	2	1,81	0,71	-0,08	0,22	1,88	0,74	2,54	2	1,81	0,71
3	100-200	27,48	2	0,97	0,71	-0,06	0,22	1,03	0,74	1,39	99	-0,08	0,22
4	200-300	32,71	1	0,10	1,00	0,00	0,21	0,11	1,02	0,10	99	-0,08	0,22
5	300-400	37,36	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	99	-0,08	0,22
6	400-500	42,15	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	99	-0,08	0,22
7	500-750	123,40	3	-0,13	0,58	0,02	0,22	-0,15	0,62	-0,24	99	-0,08	0,22
8	750-1000	147,08	5	0,21	0,45	-0,05	0,24	0,26	0,51	0,51	99	-0,08	0,22
9	1000-1250	150,95	2	-0,73	0,71	0,11	0,22	-0,84	0,74	-1,14	99	-0,08	0,22
10	1250-1500	126,34	5	0,36	0,45	-0,08	0,24	0,44	0,51	0,87	99	-0,08	0,22
11	1500-2000	111,85	3	-0,03	0,58	0,00	0,22	-0,03	0,62	-0,05	99	-0,08	0,22
12	2000-2614	10,69	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	99	-0,08	0,22

Fonte: Dados da pesquisa.

Tabela 36. Resultados da análise de pesos de evidência do fator distância da água (drenagens de 1ª e 2ª ordem) na unidade Serras com emprego do método ascendente e para T (*Studentized contrast*) = 2 (aproximadamente 98% de probabilidade). Foram usados como áreas de treinamento, plantios de *Cannabis sativa* erradicados durante a operação Colheita em maio de 2008.

Cl.	Dist. (m)	Área (km ²)	n	W+	S_W+	W-	S_W-	CNT	CNT (S)	STUD. CNT	GEN	Peso	W_STD
1	0-50	118,87	8	0,77	0,35	-0,21	0,24	0,98	0,43	2,31	2	0,77	0,35
2	50-100	247,54	11	0,35	0,30	-0,20	0,26	0,55	0,40	1,39	1	-0,21	0,24
3	100-150	372,98	14	0,19	0,27	-0,18	0,29	0,37	0,39	0,93	1	-0,21	0,24
4	150-200	494,27	15	-0,03	0,26	0,04	0,30	-0,07	0,40	-0,17	1	-0,21	0,24
5	200-871	833,51	26	0,00	0,20	8,07	14,14	-8,07	14,14	-0,57	1	-0,21	0,24

Fonte: Dados da pesquisa.

Tabela 37. Resultados da análise de pesos de evidência do fator distância da água (drenagens de 1ª e 2ª ordem) na unidade Serras com emprego do método ascendente e para T (*Studentized contrast*) = 2 (aproximadamente 98% de probabilidade). Foram usados como áreas de treinamento, plantios de *Cannabis sativa* erradicados durante a operação Liamba (maio/2010).

Cl.	Dist. (m)	Área (km ²)	n	W+	S_W+	W-	S_W-	CNT	CNT (S)	STUD. CNT	GEN	Peso	W_STD
1	0-50	118,87	2	-0,49	0,71	0,06	0,22	-0,56	0,74	-0,75	2	0,33	0,23
2	50-100	247,54	10	0,38	0,32	-0,22	0,28	0,60	0,42	1,43	2	0,33	0,23
3	100-150	372,98	16	0,44	0,25	-0,60	0,38	1,04	0,45	2,29	2	0,33	0,23
4	150-200	494,27	19	0,33	0,23	-0,85	0,50	1,18	0,55	2,15	2	0,33	0,23
5	200-871	833,51	23	0,00	0,21	8,20	14,14	-8,20	14,14	-0,58	1	-0,85	0,50

Fonte: Dados da pesquisa.

Tabela 38. Resultados da análise de pesos de evidência do fator distância de acessos na unidade Serras com emprego do método ascendente e para T (*Studentized contrast*) = 2 (aproximadamente 98% de probabilidade). Foram usados, como áreas de treinamento, plantios de *Cannabis sativa* erradicados durante a operação Colheita em maio de 2008.

Cl.	Dist. (m)	Área (km ²)	n	W+	S_W+	W-	S_W-	CNT	CNT (S)	STUD. CNT	GEN	Peso	W_STD
1	0-100	24,52	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	99	0,00	0,20
2	100-200	25,95	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	99	0,00	0,20
3	200-300	29,42	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	99	0,00	0,20
4	300-400	33,57	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	99	0,00	0,20
5	400-500	36,54	1	-0,13	1,00	0,01	0,20	-0,14	1,02	-0,14	99	0,00	0,20
6	500-750	98,90	1	-1,13	1,00	0,09	0,20	-1,22	1,02	-1,19	99	0,00	0,20
7	750-1000	98,84	4	0,26	0,50	-0,04	0,21	0,30	0,54	0,55	99	0,00	0,20
8	1000-1500	179,72	9	0,47	0,33	-0,18	0,24	0,65	0,41	1,59	99	0,00	0,20
9	1500-2000	135,73	6	0,35	0,41	-0,08	0,22	0,43	0,47	0,93	99	0,00	0,20
10	2000-17073	169,03	5	-0,05	0,45	0,01	0,22	-0,07	0,50	-0,14	99	0,00	0,20

(1) a diferença no valor da área calculada em relação à área da unidade Serras decorre de diferença na área útil do raster distância de estradas.

Fonte: Dados da pesquisa.

Tabela 39. Resultados da análise de pesos de evidência "declividade" na unidade Serras com emprego do método categórico e para T (*Studentized contrast*) = 2 (aproximadamente 98% de probabilidade). Foram usados, como áreas de treinamento, plantios de *Cannabis sativa* erradicados durante a operação Colheita em maio de 2008.

Cl.	Dist. (m)	Área (km ²)	n	W+	S_W+	W-	S_W-	CNT	CNT (S)	STUD. CNT	GEN	Peso	W_STD
1	0-3	1,24	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	99	0,00	0,20
2	3-8	32,49	1	-0,01	1,00	0,00	0,20	-0,01	1,02	-0,01	99	0,00	0,20
3	8-20	353,08	12	0,09	0,29	-0,07	0,27	0,15	0,39	0,39	99	0,00	0,20
4	20-45	349,23	11	0,01	0,30	-0,01	0,26	0,02	0,40	0,04	99	0,00	0,20
5	45-75	88,09	2	-0,32	0,71	0,03	0,20	-0,35	0,74	-0,47	99	0,00	0,20
6	75 - 200	9.38	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	99	0.00	0.20

Fonte: Dados da pesquisa.

Tabela 40. Resultados da análise de pesos de evidência do fator forma do terreno na unidade Serras com emprego do método categórico e para T (*Studentized contrast*) = 2 (aproximadamente 98% de probabilidade). Foram usados, como áreas de treinamento, plantios de *Cannabis sativa* erradicados durante a operação Colheita em maio de 2008.

Cl.	Forma	Área (km ²)	n	W+	S_W+	W-	S_W-	CNT	CNT (S)	STUD. CNT	GEN	Peso	W_STD
1	convergente	213,24	9	0,30	0,33	-0,13	0,24	0,43	0,41	1,05	99	0,00	0,20
2	planar	244,12	6	-0,24	0,41	0,08	0,22	-0,32	0,47	-0,69	99	0,00	0,20
3	divergente	376,14	11	-0,06	0,30	0,05	0,26	-0,11	0,40	-0,29	99	0,00	0,20

Fonte: Dados da pesquisa.

Tabela 41. Resultados da análise de pesos de evidência do fator orientação de vertentes na unidade Serras com emprego do método categórico e para T (*Studentized contrast*) = 2 (aproximadamente 98% de probabilidade). Foram usados, como áreas de treinamento, plantios de *Cannabis sativa* erradicados durante a operação Colheita em maio de 2008.

Cl.	Octante	Área (km ²)	n	W+	S_W+	W-	S_W-	CNT	CNT (S)	STUD. CNT	GEN	Peso	W_STD
1	N	138,33	1	-1,46	1,00	0,14	0,20	-1,60	1,02	-1,57	99	-0,16	0,22
2	NE	76,03	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	99	-0,16	0,22
3	E	66,62	1	-0,73	1,00	0,04	0,20	-0,78	1,02	-0,76	99	-0,16	0,22
4	SE	126,99	5	0,23	0,45	-0,05	0,22	0,28	0,50	0,57	99	-0,16	0,22
5	S	151,47	8	0,53	0,35	-0,17	0,24	0,69	0,43	1,63	99	-0,16	0,22
6	SW	83,77	6	0,83	0,41	-0,16	0,22	0,99	0,47	2,12	6	0,83	0,41
7	W	65,88	2	-0,03	0,71	0,00	0,20	-0,03	0,74	-0,04	99	-0,16	0,22
8	NW	124,43	3	-0,26	0,58	0,04	0,21	-0,30	0,61	-0,48	99	-0,16	0,22

Fonte: Dados da pesquisa.

Tabela 42. Resultados da análise de pesos de evidência do fator orientação de vertentes na unidade Serras com emprego do método categórico e para T (*Studentized contrast*) = 2 (aproximadamente 98% de probabilidade). Foram usados, como áreas de treinamento, plantios de *Cannabis sativa* erradicados durante a operação Liamba em maio de 2010.

Cl.	Octante	Área (km ²)	n	W+	S_W+	W-	S_W-	CNT	CNT (S)	STUD. CNT	GEN	Peso	W_STD
1	N	138,33	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	99	-0,23	0,26
2	NE	76,03	4	0,65	0,50	-0,10	0,23	0,74	0,55	1,35	99	-0,23	0,26
3	E	66,62	1	-0,61	1,00	0,04	0,21	-0,65	1,02	-0,63	99	-0,23	0,26
4	SE	126,99	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	99	-0,23	0,26
5	S	151,47	8	0,65	0,35	-0,23	0,26	0,88	0,44	2,00	5	0,65	0,35
6	SW	83,77	3	0,26	0,58	-0,03	0,22	0,29	0,62	0,48	99	-0,23	0,26
7	W	65,88	2	0,10	0,71	-0,01	0,22	0,10	0,74	0,14	99	-0,23	0,26
8	NW	124,43	5	0,38	0,45	-0,08	0,24	0,46	0,51	0,91	99	-0,23	0,26

Fonte: Dados da pesquisa.