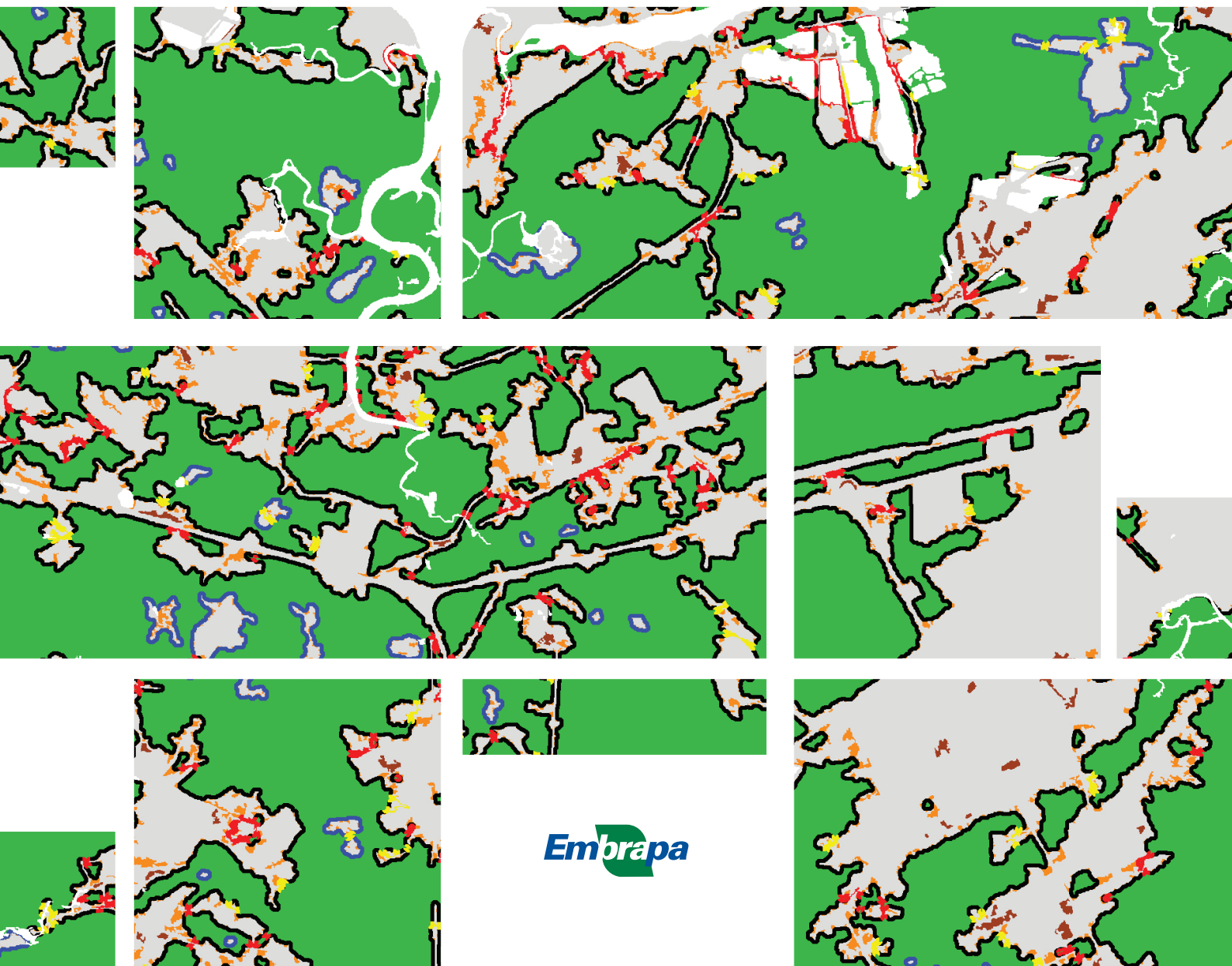


Manual de Análise de Paisagem
volume 3

Procedimentos para a geração de
Índices Espaciais das Unidades Amostrais de Paisagem



*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Embrapa Florestas
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento*

DOCUMENTOS 321

Manual de Análise de Paisagem

volume 3

**Procedimentos para a geração de
Índices Espaciais das Unidades Amostrais de Paisagem**

*Naissa Batista da Luz
Jéssica Caroline Maran
Marilice Cordeiro Garrastazú
Maria Augusta Doetzer Rosot
Yeda Maria Malheiros de Oliveira
Luziane Franciscon
Joberto Veloso de Freitas*

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

Embrapa Florestas

Estrada da Ribeira, km 111, Guaraituba,
Caixa Postal 319
83411-000, Colombo, PR, Brasil
Fone: (41) 3675-5600
www.embrapa.br/florestas
www.embrapa.br/fale-conosco/sac

Comitê Local de Publicações da
Embrapa Florestas

Presidente
Patrícia Póvoa de Mattos

Vice-Presidente
José Elidney Pinto Júnior

Secretário-Executivo
Neide Makiko Furukawa

Membros
*Álvaro Figueredo dos Santos, Gizelda Maia Rego,
Guilherme Schnell e Schühli, Ivar Wendling, Luis
Cláudio Maranhão Froufe, Maria Izabel Radomski,
Marilice Cordeiro Garrastazu, Valderés Aparecida
de Sousa*

Supervisão editorial
José Elidney Pinto Júnior

Revisão de texto
José Elidney Pinto Júnior

Normalização bibliográfica
Francisca Rasche

Projeto gráfico da coleção
Carlos Eduardo Felice Barbeiro

Editoração eletrônica
Neide Makiko Furukawa

1ª edição
Versão digital (2018)

Todos os direitos reservados.

A reprodução não autorizada desta publicação, no todo ou em parte,
constitui violação dos direitos autorais (Lei nº 9.610).

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Embrapa Florestas

Manual de análise da paisagem: vol. 3: procedimento para a geração
de índices espaciais das unidades amostrais de paisagem. [recurso
eletrônico] / Naissa Batista da Luz ... [et al.]. - Colombo : Embrapa
Florestas, 2018.

v. 3 : 93 p. : il. color. - (Documentos / Embrapa Florestas, ISSN
1980-3958 ; 321)

Modo de acesso:

<<http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/handle/item/221>>

1. Sistemas de informação geográfica. 2. Análise de imagens. 3.
Monitoramento ambiental. 4. Silvicultura de precisão. II. Luz, Naissa
Batista da. II. Maran, Jéssica Caroline. III. Garrastazu, Marilice
Cordeiro. IV. Rosot, Maria Augusta Doetzer. V. Oliveira, Yeda Maria
Malheiros de. VI. Franciscon, Luziane. VII. Freitas, Joberto Veloso de.
VIII. Série.

CDD (21. ed.) 621.3678

© Embrapa, 2018

Autores

Naissa Batista da Luz

Engenheira florestal, doutora em Ciências Geodésicas, consultora da FAO, Colombo, PR

Jéssica Caroline Maran

Engenheira florestal, mestre em Engenharia Florestal, consultora da FAO, Colombo, PR

Marilice Cordeiro Garrastazú

Engenheira florestal, mestre em Engenharia Agrícola, pesquisadora da Embrapa Florestas, Colombo, PR

Maria Augusta Doetzer Rosot

Engenheira florestal, doutora em Engenharia Florestal, pesquisadora da Embrapa Florestas, Colombo, PR

Yeda Maria Malheiros de Oliveira

Engenheira florestal, doutora em Ciências Florestais, pesquisadora da Embrapa Florestas, Colombo, PR

Luziane Franciscon

Estatística, mestre em Estatística e Experimentação Agronômica, analista da Embrapa Florestas, Colombo, PR

Joberto Veloso de Freitas

Engenheiro florestal, doutor em Manejo Florestal, Serviço Florestal Brasileiro, Brasília, DF

Apresentação

O Inventário Florestal Nacional do Brasil (IFN-BR) visa fundamentar a formulação e implementação de políticas públicas de desenvolvimento, uso e conservação dos recursos florestais, bem como a gestão desses recursos, por meio de informações suficientes, confiáveis e periodicamente atualizadas, coletadas no campo. Estudos em escala de paisagem, por sua vez, também têm adquirido importância fundamental dentro desse contexto, por permitirem a avaliação da dinâmica de uso e cobertura da terra e das interações entre padrões espaciais e processos ecológicos, envolvendo florestas e outros usos da terra, como a agricultura.

Por sua vez, a Política Nacional de Meio Ambiente no Brasil tem por objetivo a preservação, melhoria e recuperação da qualidade ambiental propícia à vida, visando assegurar, no país, condições ao desenvolvimento socioeconômico, aos interesses da segurança nacional e à proteção da dignidade da vida humana. Dessa maneira, o objetivo geral da Política Nacional do Meio Ambiente está dividido em preservação, melhoramento e recuperação do meio ambiente. Para poder implementar ações relativas a tais objetivos requer-se instrumentos de diagnóstico e análise que permitam mapear e avaliar ecossistemas e os respectivos serviços que proveem em seus territórios, ambos espacialmente explícitos. Daí advém a necessidade de incluir dados e indicadores espaciais na análise. Nessa avaliação, torna-se também necessário traduzir o resultado de abordagens técnico-científicas em informação compreensível para a implementação de políticas públicas e tomada de decisão, o que pode ser feito por meio de mapas, indicadores, relatórios e gráficos.

Assim, a Embrapa Florestas desenvolveu, em conjunto com o Serviço Florestal Brasileiro (SFB) e com o suporte da Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), uma metodologia para a análise espacial da estrutura da paisagem, no contexto do IFN-BR. O objetivo do denominado Componente Geoespacial dentro do projeto do IFN-BR, ao longo das diferentes edições, é observar a dinâmica de uso das florestas por meio de imagens orbitais, em escalas compatíveis com os interesses nacionais e estaduais e utilizando, para tanto, indicadores como mudanças no uso da terra e fragmentação florestal. De tal maneira, pretende-se produzir informações sobre a importância e qualidade dos recursos florestais em relação a outros usos da terra, em escala de paisagem, ressaltando suas funções, qualidade e pressões incidentes, de modo a subsidiar a formulação de políticas públicas que sejam apropriadas à região e à sua escala de abordagem.

A análise da paisagem complementa outros dois componentes do IFN-BR, a coleta de dados em campo e o levantamento socioeconômico, além de ser destinada ao monitoramento do componente florestal em escala de paisagem, ao longo do tempo. Nesse contexto estão inseridas as chamadas Unidades Amostrais de Paisagem (UAPs), por meio das quais é implementado o Componente Geoespacial do IFN-BR, concebidas para oferecer um ferramental que permita ao usuário a visualização de aspectos da paisagem conjugados sob a forma de indicadores e seus respectivos índices. As UAPs são áreas amostrais permanentes de 100 km², distribuídas sistematicamente em um grid

de 40 km x 40 km sobre todo o território nacional, perfazendo um total de aproximadamente 5.500 unidades. Todas contêm uma Unidade Amostral de Campo do IFN-BR, na forma de um conglomerado, localizada em seu centro geométrico. Dessa maneira, a estratégia adotada foi desenvolver a metodologia de todos os componentes do IFN-BR com vistas à sua integração e posterior análise conjunta.

Uma vez que proporcionam a possibilidade de análises estáticas, ou seja, em apenas uma ocasião, ou dinâmicas, quando os índices são calculados em sucessivas ocasiões, as UAPs constituem unidades de diagnóstico e de monitoramento. A base para o cálculo dos índices de paisagem e posteriores análises é o mapa de uso e cobertura da terra, obtido empregando-se processos de classificação e análise de imagens orientada a objetos, seguindo os procedimentos descritos por Luz et al. (2018a, 2018b). Assim, os indicadores e índices de paisagem permitem estabelecer um diagnóstico integrado de cada UAP, que, por sua vez, reflete uma determinada combinação de características biogeoclimáticas (classe territorial ou ecorregião), associadas a fatores de influência antrópicos ou naturais, ocorrentes naquela localidade.

O uso e a combinação de mais de um grupo de indicadores e índices é altamente recomendável por fornecer mais informações para a conservação da paisagem (Lindenmayer et al., 2008), uma vez que apenas o mapeamento do uso e cobertura da terra por si só, e a quantificação das respectivas superfícies não proveem informações sobre o padrão da paisagem florestal, sua fragmentação e conectividade. De fato, nenhuma medida única, analisada isoladamente, pode capturar integralmente a complexidade do arranjo espacial dos fragmentos em uma paisagem (Estreguil et al., 2014). De tal maneira, um conjunto de índices constitui uma ferramenta para o planejamento estratégico da paisagem, e a possibilidade de se quantificar avanços no estabelecimento de determinadas políticas voltadas à gestão territorial e ao uso e conservação de florestas.

Foram estabelecidas sete categorias de indicadores de qualidade da paisagem de acordo com o objeto ou tema de análise. Dessa maneira, os indicadores da qualidade da paisagem se referem à sua **composição** (ocupação das classes de uso e cobertura da terra), **morfologia** (categorização dos padrões morfológicos do habitat florestal), **mosaico** (categorização da vizinhança das classes de uso e cobertura da terra), **similaridade de habitats adjacentes** (categorização da interface de bordas do habitat natural com outras classes de uso e cobertura da terra), **conectividade** (determinação do grau de conexão existente entre fragmentos de habitat natural e simulação de cenários representando o incremento na conectividade com base na restauração florestal), **fragmentação** (determinação do grau de fragmentação do habitat natural) e zonas ripárias (avaliação da pressão antrópica a que estão submetidos os remanescentes de habitat florestal nas zonas ripárias).

A combinação linear desses índices gera um score único por UAP, o que permite estabelecer comparações entre elas e propor ações de recuperação, manutenção, ou melhoria da qualidade do componente florestal, relativas a determinados aspectos da paisagem. Além disso, os índices podem ser fornecidos tanto individualmente para cada UAP como sumarizados por estratos (**ecorregiões**, ou, unidades político-administrativas, por exemplo).

O presente manual se atém à descrição detalhada dos procedimentos relativos ao cálculo e análise do conjunto de índices que irão gerar o diagnóstico final das UAPs.

Sérgio Gaiad

Chefe Adjunto de Pesquisa e Desenvolvimento

Lista de Figuras

Figura 1. Polígonos de uso e cobertura da terra, originados pela classificação orientada a objetos para a UAP1214 (a), localizada no município de Paranaguá, PR, bem como o mapa de uso e cobertura da terra (b) e a respectiva legenda das classes (c).	19
Figura 2. Percentual de área ocupada por cada classe de uso e cobertura dentro da UAP1214.	20
Figura 3. Janelas do software <i>ArcMap</i> , ilustrando os passos para a seleção da ferramenta “ <i>Summarize</i> ” (a) para o cálculo da frequência das classes de uso e cobertura nas UAPs (b)..	21
Figura 4. Arquivo contendo os polígonos de massa d’água existentes na área da UAP1214 (a) e respectivo mapa de uso e cobertura da terra obtido pela classificação da imagem (b).	24
Figura 5. Localização da ferramenta “ <i>Union</i> ” na Caixa de ferramentas do software <i>ArcMap</i> (a) e janela da ferramenta para a entrada dos dados a serem unidos (b), bem como a tabela de atributos do arquivo resultante de tal união (c)	25
Figura 6. Janelas do <i>ArcMap</i> demonstrando parte das operações necessárias para a codificação do arquivo vetorial contendo as classes de uso e cobertura da terra e as massas d’água para a UAP1214.	26
Figura 7. Janela do <i>ArcToolbox</i> (a) e da ferramenta <i>Feature to Raster</i> (b), demonstrando passos da operação de conversão do formato de arquivo vetorial para o formato de arquivo raster.	27
Figura 8. Janela de exportação do arquivo em formato <i>raster</i> Esri Grid gerado pela ferramenta “ <i>Feature to Raster</i> ” para o formato <i>raster</i> Geotiff.	28
Figura 9. Janelas que se abrem quando o <i>GuidosToolbox</i> é inicializado. A primeira informa que ferramentas em linguagem IDL serão utilizadas, devendo-se apenas clicar na opção apresentada para que o programa inicialize (a). A segunda janela permite que seja definida a pasta de trabalho, onde estão armazenadas as imagens a serem analisadas (b).	28
Figura 10. Janelas do <i>GuidosToolbox</i> . Em (a) um exemplo da tela inicial do programa com a opção que permite abrir imagens em formato geotiff. Em (b) a imagem anteriormente preparada e aberta de acordo com as cores para visualização padrão. Em (c) podem ser visualizadas as informações da imagem. Em (d) é apresentada parte da interface que permite configurar os parâmetros de ajuste para a análise MSPA.	29
Figura 11. Parâmetro conectividade do <i>foreground</i> e o impacto da aplicação das suas variações na análise MSPA. Exemplos e aplicação de conectividade em 8 ((a) e (c) respectivamente) e conectividade em 4 ((b) e (d) respectivamente), de acordo com as classes da MSPA (e).	30
Figura 12. Resultados da variação do parâmetro Largura de Borda (<i>Edge Width</i>), quando a distância aplicada é igual a 1 (a), 2 (b) ou 3 pixels (c), de acordo com as classes MSPA (d). ..	31
Figura 13. Exemplos do resultado do Parâmetro de Transição quando ativado (a) e quando desativado (b) e Parâmetro <i>Intext</i> ativado (c) e desativado (d).	32
Figura 14. Parte da janela principal do aplicativo <i>GuidosToolbox</i> exibindo a sequência de <i>menus</i> necessária para a ativação do cálculo de MSPA.	33
Figura 15. Resultados obtidos pela segmentação MSPA da área de <i>foreground</i> (“Floresta Natural”, “Outras Terras com Vegetação Lenhosa” e “Outras Terras com Árvores”) da UAP1214.	34

Figura 16. Resultados obtidos pela segmentação <i>MSPA</i> da área de <i>foreground</i> (“Floresta Natural”, “Outras Terras com Vegetação Lenhosa” e “Árvores Fora da Floresta”) da UAP 1214 com a subdivisão das áreas <i>Core</i> em classes de tamanho, utilizando-se os limiares 1.000 e 4.600 pixels.	35
Figura 17. Resultados gerados pela segmentação <i>MSPA</i> da imagem da UAP1214. No primeiro exemplo tem-se a frequência das classes <i>MSPA</i> na imagem (a) e no segundo (b) a frequência das classes com a divisão da classe <i>Core</i> em três subclasses, de acordo com seu tamanho: pequeno (s), médio (m) e grande (l).	36
Figura 18. Gráficos ilustrando a frequência das classes <i>MSPA</i> na UAP1214, de acordo com os resultados armazenados no arquivo de texto (a), incluindo a subdivisão da classe <i>Core</i> (habitat interior) em subclasses de tamanho (pequeno (p), médio (m) e grande (g)) (b) (c).	36
Figura 19. Triângulo para classificação tripolar do Mosaico da Paisagem, contendo 19 classes atribuídas de acordo com a proporção de tipos de uso e cobertura que mais se aproximam das categorias “natural”, “agrícola” e “urbano”.	38
Figura 20. Parte da janela principal do <i>GuidosToolbox</i> , exibindo a sequência de menus necessária para a ativação do cálculo de <i>LM</i>	41
Figura 21. Janela do <i>GuidosToolbox</i> para a seleção da dimensão da janela móvel que será adotada para a convolução da imagem.	42
Figura 22. Resultado do Mosaico da Paisagem para a UAP 1214.	43
Figura 23. Gráfico ilustrando a frequência das classes de mosaico da paisagem na UAP1214, de acordo com os resultados obtidos a partir da imagem gerada pelo <i>GuidosToolbox</i>	43
Figura 24. Janelas do <i>ArcMap</i> utilizadas na geração do histograma da imagem <i>raster</i> resultante da análise do mosaico da paisagem, com auxílio da ferramenta “ <i>Spatial Analyst</i> ” (a) e a posterior exportação dos dados (b) em formato de planilha <i>Excel</i> (c).	44
Figura 25. As 19 classes do mosaico foram condensadas em quatro classes, para realçar o contexto da paisagem, no item (a); as 19 classes do mosaico da paisagem foram condensadas em seis classes para realçar mosaicos de paisagem inseridos em um contexto natural, no item (b).	45
Figura 26. Gráfico de distribuição da proporção de classes do contexto do mosaico da paisagem para a UAP1214, identificando que essa UAP está inserida em uma paisagem de classes predominantemente naturais.	45
Figura 27. Percentual de ocupação das classes do mosaico da paisagem predominantemente naturais, para a área de cobertura arbórea/arbustiva natural na UAP1214.	46
Figura 28. Janelas do <i>ArcMap</i> mostrando o processo de (a) seleção por atributo das áreas <i>Core</i> para o modelo de Interface de Bordas, utilizando a associação dos códigos oriundos do <i>MSPA</i> e do <i>LM</i> ; bem como (b) a janela da calculadora de campo para o preenchimento da coluna criada para a nova codificação.	49
Figura 29. Janelas do <i>ArcMap</i> mostrando o processo de criação da legenda para o Modelo de Interface de Bordas: (a) categorias da legenda a partir de valores únicos baseados no campo “ <i>EDGE_Code</i> ”; (b) seleção da cor de preenchimento e (c) definição dos valores no modelo RGB de cores.	51
Figura 30. Janelas do <i>ArcMap</i> para o cálculo da área dos polígonos em hectares, por meio da ferramenta “ <i>Calculate geometry</i> ” (a), e a sumarização das áreas de cada classe do modelo de Interface de Bordas, por meio da ferramenta “ <i>Summarize</i> ” (b).	52
Figura 31. Resultado do Modelo de Interface de Bordas para a UAP1214.	52

Figura 32. Gráfico ilustrando a frequência das classes de Interface de Bordas na UAP1214, de acordo com os resultados obtidos a partir da sumarização das áreas do mapa, onde BO = Bordas, CO = Conectores, IS = Ilhas, NN = interface natural.....	53
Figura 33. Posicionamento do botão de ativação que permite a identificação dos componentes da rede de fragmentos florestais na UAP (<i>NW Components</i>).	54
Figura 34. Janela principal do <i>GuidosToolbox</i> mostrando o resultado da identificação dos componentes que compõem o <i>foreground</i> da paisagem da UAP1214 (<i>NW Components</i>).	55
Figura 35. Arquivo de saída gerado pela operação que permite o cálculo dos componentes da rede, sua área (em pixels) e suas respectivas conexões, para a UAP1214.	55
Figura 36. Localização da ferramenta para o cálculo da importância das conexões dos componentes da rede na UAP (<i>Node/Link Importance</i>).	56
Figura 37. Resultado da identificação dos componentes que compõem o <i>foreground</i> da paisagem da UAP1214.....	57
Figura 38. Arquivo de saída gerado para a UAP 1214 pela operação que permite o cálculo da diferença de probabilidade de conectividade <i>dPC</i> e da importância normalizada dos nós e das conexões da rede , o número de conexões de cada componente, e sua área (em pixels).	58
Figura 39. Janela do <i>ArcMap</i> contendo o mapa de importância dos conectores existentes na paisagem da UAP1214.....	59
Figura 40. Janelas do <i>ArcMap</i> demonstrando o processo de união de uma tabela externa com um arquivo vetorial em um projeto.	60
Figura 41. Estrutura de pastas do programa Conefor, ilustrando a localização do arquivo executável.	61
Figura 42. Janelas do Conefor, mostrando as especificações para a análise da conectividade na paisagem (a), bem como os respectivos índices derivados (b).	62
Figura 43. Posicionamento do botão de ativação da análise de fragmentação por meio da distância euclidiana (<i>Hypsometry</i>) no <i>GuidosToolbox</i>	63
Figura 44. Curva hipsométrica da distribuição das distâncias euclidianas no primeiro plano e no segundo plano(a), e curva hipsométrica normalizada para o mínimo (preto), máximo (vermelho), e o estado atual da fragmentação para o primeiro plano (verde) e o segundo plano (azul) em (b).	64
Figura 45. Imagem gerada pelo cálculo da distância euclidiana resultando no Índice de Fragmentação Hipsométrico. Na barra de título do programa (1) são apresentados o Índice de Fragmentação Hipsométrico calculado para a imagem toda e também o índice calculado quando considerado somente o segundo plano (<i>background, BG</i>) e somente o primeiro plano (<i>foreground, FG</i>). No painel <i>Divide</i> , abaixo da janela, os valores de fragmentação podem ser agrupados em classes de distância, pequena, média e grande, de acordo com limiares estabelecidos pelo usuário (2).	64
Figura 46. Posicionamento do botão de ativação da análise de fragmentação baseada na FAD.....	68
Figura 47. Mapas de fragmentação nas cinco escalas de observação (1 – 5) e o mapa agregado (multiescala) (6), para a UAP1214.	68
Figura 48. Gráfico de barras cumulativo, para as cinco escalas de observação, incluindo a análise multiescala e a quantidade total de área florestal (<i>foreground</i>), número e tamanho médio dos fragmentos, para a UAP1214.	69
Figura 49. Tabela resumo dos resultados da análise FAD, contendo o percentual de classes de fragmentação nas cinco escalas de observação e também para a análise multiescala.	70

Figura 50. Resultado da análise FAD para a UAP1214, exibindo o mapa de fragmentação multiescala.....	70
Figura 51. Posicionamento do botão de ativação das análises baseadas em distância.	72
Figura 52. Resultado da análise das Zonas de Influência, baseada em distância, para a UAP1214.	73
Figura 53. Resultado da análise de Proximidade, baseada em distância, para a UAP1214....	75
Figura 54. Resultado da análise de Proximidade, baseada em distância, para a UAP1214, exibindo uma aproximação de um dos divisores de água, onde encontram-se destacados em vermelho os pixels de menor distância entre dois fragmentos diferentes para toda a imagem e onde apenas dois pixels são necessários para conectar os dois objetos vizinhos; conforme se pode verificar nas informações disponibilizadas abaixo da imagem, quando o cursor do <i>mouse</i> é posicionado sobre a área em vermelho são exibidos: a proximidade (item 1), o Ganho de Área Conectada (CAG) (item 2) e o Ganho Relativo de Área Conectada (CAGrel) (item 3), entre duas componentes da paisagem.	76
Figura 55. Exemplo ilustrando o resumo dos resultados de “Proximidade” e “Ganho de Área Conectada - CAG” para toda a imagem: (a) valor de CAG para conectores com diferentes comprimentos de Proximidade, podendo-se clicar no ícone de expansão da janela (item 1) para visualizar a faixa de proximidade completa, ilustrada em (b); (c) frequência de proximidade ao longo do divisor de águas; (d) planilha com o resumo das estatísticas.	77
Figura 56. Posicionamento do botão de ativação das análises baseadas em custo.....	78
Figura 57. Janela principal do <i>GuidosToolbox</i> indicando as opções que permitem a configuração dos parâmetros de ajuste para a análise “ <i>Reconnect</i> ”.	79
Figura 58. Janelas auxiliares do <i>GuidosToolbox</i> guiando o procedimento para configuração do caminho de menor custo (<i>least cost path - LCP</i>) entre dois fragmentos.	80
Figura 59. Resultado da Análise de Reconexão para a UAP1214, onde a linha tracejada na cor magenta ilustra o caminho de menor custo para a conexão dos dois componentes da paisagem de maior valor CAG. Os itens 1, 2, 3 e 4 correspondem à quantidade de pixels a serem restaurados, ganho de área conectada absoluto e relativo e os componentes considerados na análise, respectivamente.	81
Figura 60. Zonas ripárias estabelecidas com base em <i>buffers</i> de 500 m de largura ao longo dos rios da UAP1214 e polígonos correspondentes às classes Ponte e Habitat Interior na análise MSPA, com respectiva legenda.	82
Figura 61. Distribuição espacial do Índice de Corredores Estruturais (ICE_c) para a UAP1214.	84
Figura 62. Distribuição espacial do Índice de Corredores Estruturais sob Pressão Antrópica (ICE_{Ac}) para a UAP1214.	85
Figura 63. Distribuição espacial do Índice de Proteção em Corredores Estruturais sob Pressão Antrópica (ICE_{Ac}) para a UAP1214.	86

Lista de Tabelas

Tabela 1. Descrição e codificação das classes de uso e cobertura presentes nas UAPs.	18
Tabela 2. Codificação dos atributos, tonalidade de cores e valores no modelo RGB adotados na legenda das classes para a elaboração do mapa de uso e cobertura da terra.....	19
Tabela 3. Exemplo de taxonomia de paisagem aplicada aos dados da UAP1214.	22
Tabela 4. Codificação das classes de uso e cobertura da terra nas UAPs de acordo com as classes para a MSPA.	23
Tabela 5. Nomes, códigos de cores e valores dos pixels (em <i>bytes</i>) para as classes de padrões resultantes da análise MSPA.....	33
Tabela 6. Nomes, códigos de cores, e valores dos pixels (em <i>bytes</i>) para as classes de padrões resultantes da análise LM.....	39
Tabela 7. Codificação das classes de uso e cobertura da terra nas UAPs de acordo com as classes para a análise do mosaico da paisagem.	40
Tabela 8. Índices de Mosaico da Paisagem da UAP 1214.....	47
Tabela 9. Codificação das classes MSPA e LM nas UAPs de acordo com as classes para a análise de Interface de Bordas.....	48
Tabela 10. Codificação da legenda, valores no modelo RGB e tonalidade de cores das classes para elaboração do mapa de Interface de Bordas.	50
Tabela 11. Índices baseados na Interface de Bordas.....	54
Tabela 12. Índices de importância das conexões existentes na paisagem da UAP1214.....	60
Tabela 13. Amplitude das classes, tonalidades das cores e valores no modelo de cores RGB das classes de fragmentação hipsométrica da paisagem.....	65
Tabela 14. Definição das seis classes de fragmentação, de acordo com a amplitude da Densidade de Área Florestal (FAD) e as respectivas tonalidades de cores adotadas na legenda.....	69
Tabela 15. Classes cumulativas de fragmentação para cinco escalas de observação, com os respectivos valores de linha de base para cada classe sumária e a tonalidade de cor adotada na legenda.....	71
Tabela 16. Índices de corredores e conectores estruturais ripários na paisagem da UAP1214.	90

Lista de abreviaturas e siglas

A	- Agricultura e Pastagem
APP	- Área de Preservação Permanente
C	- Gramíneas e Herbáceas
CAG	- <i>Connected Area Gain</i>
dPC	- <i>Probability of Connectivity Difference</i>
EC (PC)	- <i>Equivalent conneted area</i>
F	- Floresta Natural
FAO	- <i>Food and Agriculture Organization of the United Nations</i>
H	- Superfície com água
ICE _{Ac}	- Índice de corredores estruturais sob pressão antrópica
ICE _{APc}	- Índice de proteção em corredores estruturais sob pressão antrópica
ICE _C	- Índice de corredores estruturais
ID	- Identificador
IFN-BR	- Inventário Florestal Nacional do Brasil
JRC	- <i>Joint Research Centre</i>
LM	- <i>Landscape Mosaic</i>
MSPA	- <i>Morphological Spatial Pattern Analysis</i>
NHMC	- <i>Normalized Hypsometric Curve</i>
NO	- Área não observada
OTA	- Outras Terras com Árvores
PC	- <i>Probability of Connectivity</i>
PRH	- <i>Percentage of Reachable Habitat</i>
R	- Floresta Plantada
RE	- <i>RapidEye</i>
RGB	- <i>Red/Green/Blue</i>
S	- Solo Exposto
SAD	- <i>South American Datum</i>
SFB	- Serviço Florestal Brasileiro
SIG	- Sistema de Informações Geográficas
SIRGAS	- Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas
SRC	- Sistema de Referência de Coordenadas
U	- Área Urbanizada
UAP	- Unidade Amostral de Paisagem
UTM	- Universal Transversa de Mercator
VL	- Outras terras com vegetação lenhosa

Sumário

1	Análise de paisagem.....	17
1.1	Composição da paisagem	17
1.1.1	Frequência e distribuição das classes de uso e cobertura da terra na paisagem.....	20
1.1.2	Índices de composição da paisagem.....	21
1.1.3	Taxonomia da paisagem	21
1.2	Análise morfológica de padrões espaciais	22
1.2.1	Preparação dos dados para a MSPA	23
1.2.2	Aplicação da abordagem MSPA	28
1.2.3	Resultados da análise MSPA	34
1.3	Modelo de mosaico da paisagem	37
1.3.1	Preparação dos dados para a análise do mosaico da paisagem	40
1.3.2	Elaboração do mosaico da paisagem.....	41
1.3.3	Resultados da análise do mosaico da paisagem	42
1.4	Modelo de interface de bordas.....	47
1.4.1	Aplicação da abordagem do modelo de interface de bordas	47
1.4.2	Resultados do modelo de interface de bordas.....	51
1.5	Análise de conectividade	54
1.5.1	Componentes da rede (<i>NW Components</i>)	54
1.5.2	Importância dos nós e conexões	56
1.5.3	Elaboração dos arquivos de entrada para o <i>Conefor</i>	61
1.6	Análise da fragmentação	63
1.6.1	Fragmentação hipsométrica	63
1.6.2	Densidade de área florestal	67
1.7	Análises baseadas em distância.....	72
1.7.1	Zonas de influência	72
1.7.2	Proximidade	74
1.8	Reconexão	78
1.9	Análise das zonas ripárias	81
1.9.1	Índices de corredores e conectores estruturais presentes nas zonas ripárias	89
1.10	Diagnóstico final - qualidade da paisagem florestal.....	90
	Agradecimentos.....	92
	Referências	92

1 Análise de paisagem

A base para o cálculo dos índices de paisagem e posteriores análises, que serão descritas nos itens subseqüentes deste manual, é o mapa de uso e cobertura da terra, obtido empregando-se a metodologia descrita no *Manual de Análise de Paisagem Vol. 1: Procedimentos para a execução do mapeamento de uso e cobertura da terra* (Luz et al., 2018a) e cuja acurácia deve ter sido avaliada seguindo os padrões descritos no *Manual de Análise de Paisagem Vol. 2: Procedimentos para a execução do controle de qualidade do mapeamento de uso e cobertura da terra* (Luz et al., 2018b). Os exemplos de mapas, figuras, índices e tabelas mostrados no presente manual foram baseados nos resultados de Unidades Amostrais de Paisagem (UAPs), analisadas em um estudo-piloto para o estado do Paraná.

O arquivo *shapefile* correspondente ao mapa de uso e cobertura da terra deve conter em sua tabela de atributos duas colunas principais: “LULC”, contendo o código numérico de cada classe para todos os polígonos, e “AREA_ha”, com o cálculo das áreas para todos os polígonos, apresentadas em hectares, e calculadas utilizando-se a Projeção Cônica Equivalente de Albers, em virtude de ser esta a projeção apropriada para tal finalidade (IBGE, 2016), e adotando o Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas (SIRGAS2000), com os seguintes parâmetros para o país: Longitude origem: -54°; Latitude origem: -12°; Paralelo padrão 1: -2°; Paralelo padrão 2: -22°.

1.1 Composição da paisagem

O primeiro elemento abordado na análise de paisagem corresponde à sua composição, que deriva diretamente do mapa de uso e cobertura da terra de cada UAP. A classificação gerada por meio da segmentação orientada a objeto, além de permitir avaliar a frequência e a distribuição dos tipos de uso e cobertura que ocorrem em cada UAP, é um elemento essencial para as demais análises que aqui serão apresentadas. O mapeamento contempla onze classes de uso e cobertura da terra, que foram divididas, para fins da análise espacial que considera conceitos da ecologia de paisagens, em duas grandes categorias, de acordo com o grau de influência antrópica. A primeira inclui áreas de cobertura arbórea ou arbustiva, por se tratar de um inventário florestal, com vegetação natural, de maior interesse para a ecologia e a conservação da natureza, denominado “primeiro plano”, do termo em inglês *foreground*, conforme adotado na literatura relacionada (Wickham et al., 2010; Soille; Vogt, 2009; Estreguil et al., 2014; Vogt e Riitters, 2017). As seguintes classes estão incluídas nessa grande divisão: Floresta Natural, Outras Terras com Vegetação Lenhosa e Outras Terras com Árvores. Em “segundo plano” (ou *background*) estão as demais classes, que correspondem à matriz da paisagem em estudos de ecologia de paisagens, exceto as grandes massas d’água e a classe espectral de áreas não observadas, composta por pixels onde houve obstruções ou impedimentos à identificação ou imageamento do objeto na superfície terrestre. Uma breve descrição de cada classe pode ser vista na Tabela 1. A tonalidade das cores adotadas, seus respectivos valores no modelo de cores RGB e a codificação a ser adotada na tabela de atributos, utilizados para a legenda de cada classe do mapeamento, são apresentados na Tabela 2. Para um maior detalhamento das classes deve-se consultar o *Manual de Análise de Paisagem Vol. 1: Procedimentos para a execução do mapeamento de uso e cobertura da terra* (Luz et al., 2018a).

Na Figura 1 podem-se observar tanto os polígonos gerados por meio da segmentação da imagem (a), sobrepostos ao mosaico das imagens *RapidEye* (RE) que recobrem a área da UAP1214, bem como o mapa resultante (b) e a legenda das diferentes classes consideradas no mapeamento (c).

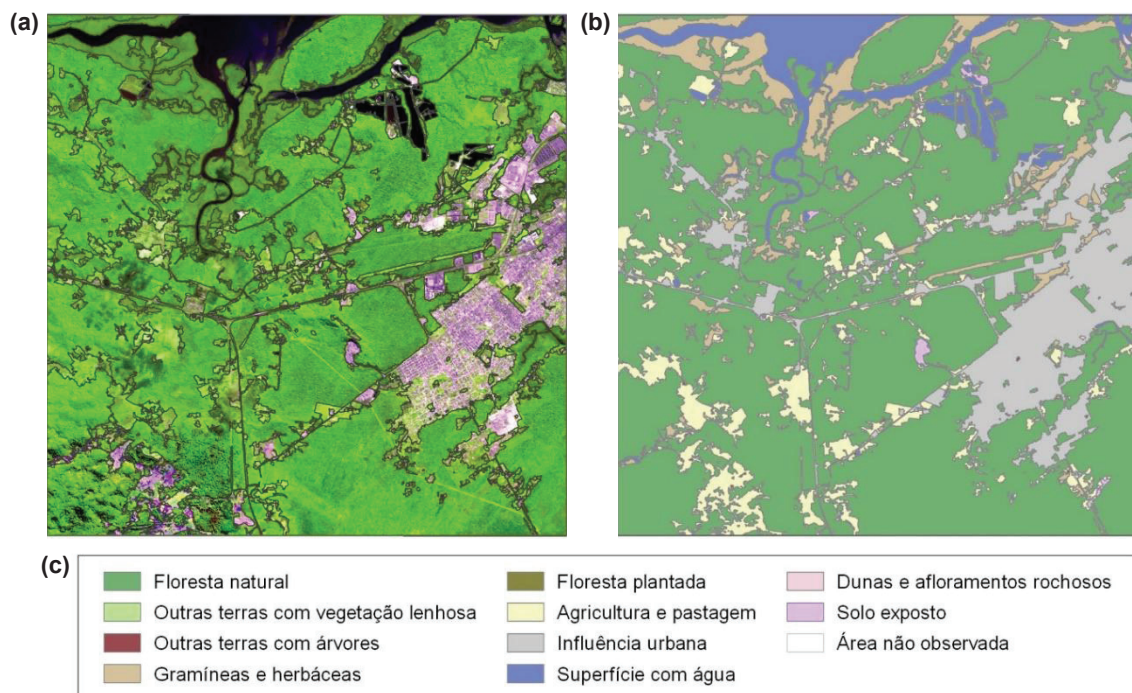
Tabela 1. Descrição e codificação das classes de uso e cobertura presentes nas UAPs.

Classe	Símbolo/código	Descrição
Floresta Natural	F 01	Áreas estendendo-se por mais do que 0,5 ha ocupadas por árvores de mais de 5 m de altura, com uma cobertura de copa maior do que 10%, ou árvores capazes de atingir estes limiares in situ (FAO, 2012), de origem natural. Não incluem áreas de uso predominantemente agrícola ou urbano. São definidas tanto pela presença de árvores quanto pela ausência de outros usos da terra predominantes.
Outras Terras com Vegetação Lenhosa	VL 02	Áreas não classificadas como florestas, que se estendem por mais de 0,5 ha, com árvores maiores do que 5 m e cobertura de copas entre 5% e 10%; ou árvores capazes de atingir estes limiares in situ; ou com uma combinação de indivíduos arbóreos, arbustivos e de árvores com mais de 10% de cobertura do dossel (FAO, 2012).
Outras Terras com Árvores	OTA 03	Contempla árvores isoladas, ou agrupadas, que não se enquadram na definição de floresta, ocorrendo associadas a outros usos, como áreas de agricultura e pastagem, ou influência urbana. Correspondem a áreas que tenham abrangência superior a 0,05 ha (500 m ²) e inferior a 0,5 ha (5.000 m ²).
Gramíneas e Herbáceas	C 04	Áreas naturais, caracterizadas por um estrato predominantemente herbáceo, com eventual ocorrência de elementos arbóreo/arbustivo, desde que esparsamente distribuídos, sobre um tapete gramíneo-lenhoso. Encontram-se disseminadas por diferentes regiões fitogeográficas, compreendendo diferentes tipologias, com diversos graus de antropização (IBGE, 2013).
Floresta Plantada	R 05	Classe relativa aos plantios ou formações de maciços com espécies florestais nativas ou exóticas, puros ou consorciados. Nesta definição não se considera se o plantio é realizado em áreas anteriormente povoadas com espécies florestais ou não; considera-se como floresta plantada todas as áreas povoadas com essências florestais, independentemente do ambiente. Inclui estradas florestais, barreiras de proteção contra incêndios e quebra-ventos.
Solo Exposto	S 06	Áreas sem cobertura vegetal, devido a influência antrópica, podendo estar ocupadas por atividades de mineração, exploração de jazidas, lavras, bem como áreas de extração de areia.
Agricultura e Pastagem	A 07	Áreas utilizadas para a produção de alimentos, fibras e <i>commodities</i> do agronegócio, incluindo todas as terras cultivadas, ou em descanso, podendo também compreender áreas alagadas (IBGE, 2013) que sejam utilizadas para essa mesma finalidade. Classe constituída por culturas temporárias, cíclicas e permanentes. Inclui, ainda, as plantas hortícolas, floríferas, medicinais, aromáticas e condimentares de pequeno porte. Inclui lavouras semipermanentes e plantios lenhosos perenes, como os de frutíferas (pomares).
Influência Urbana	U 08	A essa nomenclatura estão associados os tipos de uso da terra de natureza antrópica intensiva, estruturadas por edificações e sistema viário, onde predominam as superfícies artificiais não agrícolas. Estão incluídas nesta categoria as metrópoles, cidades, vilas, áreas de rodovias, serviços e transporte, energia, comunicações e terrenos associados, bem como edificações presentes no meio rural (casas, galpões, estábulos, entre outras).
Superfície com Água ¹	H 09	Áreas compostas pelo oceano, rios, lagos, lagoas, barragens, represas, canais naturais ou artificiais, tanques d'água, com área igual ou superior a um hectare.
Dunas e Afloramentos Rochosos	D 10	Áreas referentes a ambientes naturais, sem cobertura vegetal, como afloramentos rochosos, praias, dunas e extensões de areia ou seixos (IBGE, 2013).
Área não observada	NO 00	Área de desinformação, não observada por impedimentos tais como erro no sistema de imageamento, obstruções como nuvens e sombra de nuvens e demais condições de observação desfavoráveis.

¹ A base hidrográfica fornecida como insumo serve de orientação e referência para a delimitação e classificação dos elementos constantes na classe "Superfície com água". Todos os rios de margem dupla que constam nesse insumo deverão constar nessa classe

Tabela 2. Codificação dos atributos, tonalidade de cores e valores no modelo RGB adotados na legenda das classes para a elaboração do mapa de uso e cobertura da terra.

Valor de codificação	Classe de uso e cobertura	R	G	B	Cor
01	Floresta Natural	115	178	115	
02	Outras Terras com Vegetação Lenhosa	190	231	150	
03	Outras Terras com Árvores	155	074	079	
04	Gramíneas e Herbáceas	215	194	158	
05	Floresta Plantada	137	137	068	
06	Solo Exposto	232	190	255	
07	Agricultura e Pastagem	247	247	198	
08	Influência Urbana	204	204	204	
09	Superfície com Água	113	132	201	
10	Dunas e Afloramentos Rochosos	240	210	220	
00	Área não Observada	255	255	255	

**Figura 1.** Polígonos de uso e cobertura da terra, originados pela classificação orientada a objetos para a UAP1214 (a), localizada no município de Paranaguá, PR, bem como o mapa de uso e cobertura da terra (b) e a respectiva legenda das classes (c).

1.1.1 Frequência e distribuição das classes de uso e cobertura da terra na paisagem

Com base no mapa de uso e cobertura da terra de cada uma das UAPs, podem ser analisadas a frequência e a distribuição dos tipos de uso e cobertura que ocorrem em cada uma delas. Estes resultados podem ser apresentados na forma de gráficos, contendo valores percentuais da área ocupada por cada classe, como demonstrado na Figura 2, utilizando como exemplo a UAP1214.

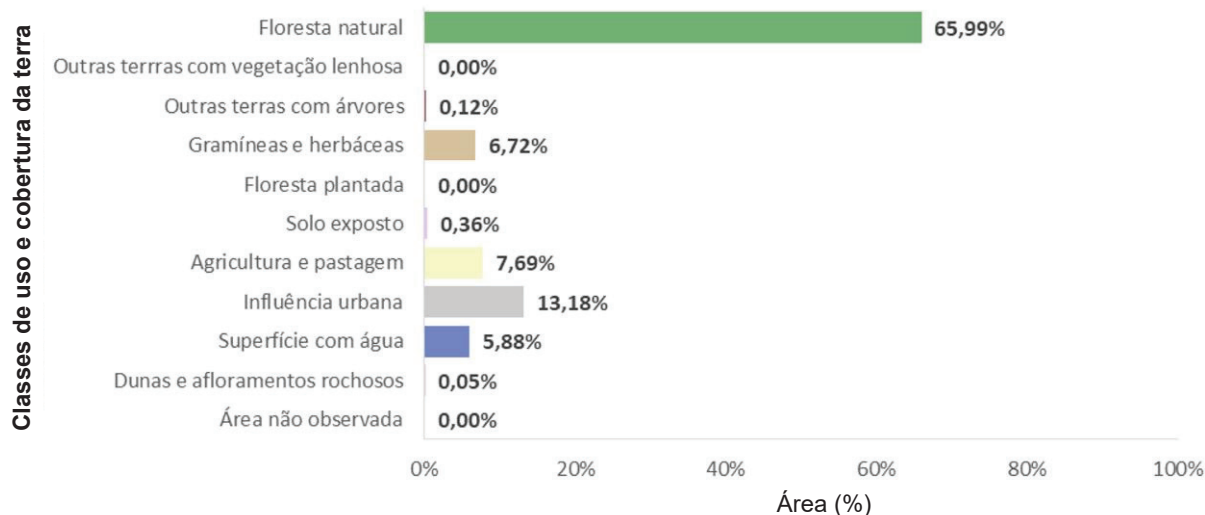


Figura 2. Percentual de área ocupada por cada classe de uso e cobertura dentro da UAP1214.

Para obtenção do percentual de ocupação de cada classe de uso e cobertura na paisagem, pode-se utilizar o programa *ArcMap*, conforme apresentado na sequência, que exemplifica o processo por meio da versão 10.4.1 (outros programas, como o *QGIS*, por exemplo, podem ser utilizados para a mesma finalidade):

- a. Carregar o mapa de uso e cobertura da terra no *ArcMap*.
- b. Abrir a tabela de atributos da camada, clicando com o botão direito do *mouse* no arquivo localizado na “*Table Of Contents*” e selecionando a opção “*Open Attribute Table*”.
- c. Na tabela de atributos, clicar com o botão direito em qualquer uma das colunas e selecionar a ferramenta “*Summarize*” (Figura 3 (a)).
- d. Uma nova janela será aberta. Deve-se, então, em “*Select a field to summarize*”, selecionar o campo “*LULC*”, e em “*Choose one or more summary statistics to be included in the output table*” escolher a opção “*Sum*” para o campo “*AREA_ha*”, da maneira como ilustrado na Figura 3 (b).

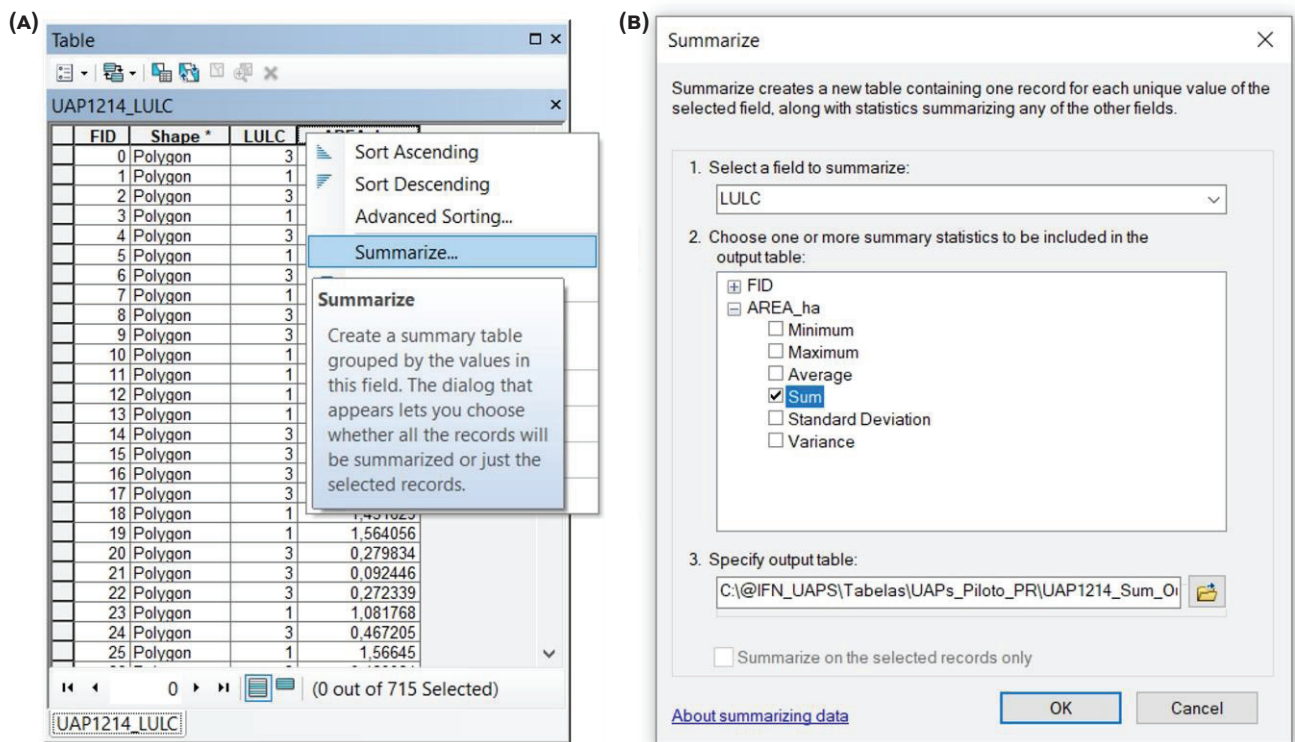


Figura 3. Janelas do software *ArcMap*, ilustrando os passos para a seleção da ferramenta “*Summarize*” (a) para o cálculo da frequência das classes de uso e cobertura nas UAPs (b).

1.1.2 Índices de composição da paisagem

Associados à composição espacial da UAP, são calculados dois índices adimensionais, importantes para avaliar a disponibilidade de habitat e a facilidade de adaptação das espécies em relação à perda de habitats florestais, expressos em percentagem e com amplitude de zero a 100%:

1. **Proporção de cobertura arbórea/arbustiva:** Inclui as classes “Floresta Natural”, “Outras Terras com Vegetação Lenhosa” e “Outras Terras com Árvores”, correspondendo somente às áreas contempladas por classes com cobertura arbórea e/ou arbustiva.
2. **Proporção de outras áreas naturais/seminaturais:** Inclui as classes “Gramíneas e Herbáceas” e “Floresta Plantada”.

No caso da UAP1214, por exemplo, a proporção de cobertura arbórea/arbustiva contempla 66,11% da paisagem desta unidade amostral (“Floresta Natural” – 65,99%; “Outras Terras com Vegetação Lenhosa” – 0% e; “Outras Terras com Árvores” – 0,12%), enquanto a proporção de outras áreas naturais/seminaturais recobre 6,72%, resultante da soma das classes “Gramíneas e Herbáceas” (áreas naturais – 6,72%) e “Floresta Plantada” (áreas seminaturais – 0%).

1.1.3 Taxonomia da paisagem

A taxonomia, ou nomenclatura, da paisagem representada pela UAP é definida pelo grau (percentagem) de presença de cada classe de uso e cobertura. Assim, existem quatro possíveis graus de presença:

- **Presença Matricial:** quando o grau de presença de uma das classes é superior a 50% do território.

- **Presença Essencial:** quando o grau de presença oscila entre 25% e 50% do território.
- **Presença Marginal:** quando o grau de presença oscila entre 5% e 25% do território.
- **Presença Residual:** quando o grau de presença é inferior a 5% do território.

A nomenclatura da paisagem da UAP deve obedecer às seguintes regras:

- A classe predominante, ou seja, a de maior presença, dará o nome à paisagem. Assim, as paisagens poderão ser **florestais** (predominância das classes “Floresta Natural” – **F** ou “Floresta Plantada” – **R** ou “Outras Terras com Vegetação Lenhosa” – **VL** ou “Outras Terras com Árvores” - **OTA**), **agrícolas** (predominância da classe “Agricultura e Pastagem” – **A**), **campestres** (predominância da classe “Gramíneas e Herbáceas” – **C**), ou **urbanas** (predominância da classe “Influência Urbana” – **U**).
- Quando há uma classe de uso com presença matricial (mais de 50% da área) o nome será definido por essa classe, acompanhado do termo “matricial” e seguido pelo nome da classe essencial, se houver. Caso haja mais de uma classe essencial, o nome incluirá apenas a classe de uso matricial seguido dos termos “matricial” e “mista”.
- Se não houver classe de presença matricial, o nome é definido em função da classe de uso essencial (entre 25% e 50% de presença) predominante, seguido da palavra “não matricial”. Se houver duas classes de uso essenciais, a paisagem deve incluir em seu nome a segunda classe de uso. Se houver três classes de uso essenciais, a paisagem é denominada apenas a partir da primeira classe de uso, e deve incluir os termos “não matricial” e “mista”. Exceções a essa regra são as paisagens florestais, em que as letras F (“Floresta Natural”) e R (“Floresta Plantada”) são consideradas equivalentes.

Utilizando como exemplo a paisagem da UAP 1214, que possui 65,99% de Floresta Natural (F); 6,72% de Gramíneas e herbáceas (C); 7,69% de agricultura e pastagem (A); 13,18% de área urbana (U); 0,36% de solo exposto (S) e 5,88% de superfícies com água (H); ou seja, nenhuma classe com presença essencial, a paisagem da UAP1214 será denominada “**Paisagem Florestal Matricial**”, com a notação descrita na Tabela 3:

Tabela 3. Exemplo de taxonomia de paisagem aplicada aos dados da UAP1214.

Matricial	Essencial	Marginal	Residual	Classe
F	-	UHAC	OTA S R D	F
Nome da paisagem: Florestal Matricial				

F: floresta natural; OTA: outras terras com árvores; R: floresta plantada; C: gramíneas e herbáceas; A: agricultura e pastagem; S: solo exposto; U: influência urbana; H: superfícies com água; D: dunas e afloramentos rochosos.

1.2 Análise morfológica de padrões espaciais

A partir do mapa de uso e cobertura da terra deve ser realizada a Análise Morfológica de Padrões Espaciais - (*Morphological Spatial Pattern Analysis - MSPA*), implementada por Soille e Vogt (2009) do programa denominado *GuidosToolbox (Graphical User Interface for the Description of image Objects and their Shapes*, ou Interface Gráfica ao Usuário para a Descrição de Objetos de Imagem e suas Formas) (Vogt, 2016b), cedido pelo JRC (*Joint Research Centre of the European Commission*).

A metodologia aplicada para essa análise consiste de uma sequência de operadores morfológicos matemáticos voltados à caracterização da distribuição espacial dos componentes de uma imagem. A abordagem baseia-se na segmentação dos objetos que estão em primeiro plano, ou *foreground* em uma dada imagem binária, dividindo-os em sete classes genéricas (Soille; Vogt, 2009; Wickham et al., 2010). O procedimento vai atribuir a cada um dos pixels do *foreground* uma e apenas uma das classes de feições geométricas mutuamente exclusivas. Este princípio implica que, em primeiro lugar, a cobertura espacial da imagem de entrada e as classes resultantes é idêntica, e segundo, a abordagem é uma verdadeira segmentação matemática devido à atribuição de classes mutuamente exclusivas que compreendem a área do *foreground*.

1.2.1 Preparação dos dados para a MSPA

Para a utilização das ferramentas contidas no aplicativo *GuidosToolbox* é necessária a preparação do mapa de uso e cobertura da terra, de acordo com as premissas estabelecidas pelo desenvolvedor. Os dados de entrada devem estar em formato *raster (grid)* do tipo *byte (8-bit)* e devem, obrigatoriamente, conter duas classes de dados, o *foreground* (primeiro plano) e o *background* (segundo plano). Podem conter, também, a classe de dados ausentes (ou "*missing data*"). A segmentação *MSPA* será realizada na classe *foreground* e a classe de dados ausentes será ignorada durante o processo.

No caso das UAPs, a classe de *foreground* deve representar as áreas cobertas pelas classes "Floresta Natural", "Outras Terras com Vegetação Lenhosa" e "Outras Terras com Árvores". As demais classes de uso e cobertura da terra são representadas como o *background*, com exceção de grandes massas d'água. Essas devem ser excluídas da análise, utilizando-se os valores de codificação para dados ausentes, já que podem constituir barreiras totais ou parciais ao fluxo gênico da flora e da fauna na paisagem (Jaeger et al., 2011). Dessa forma, não serão criadas conexões sobre estas áreas, evitando-se a criação de conexões entre ilhas ou fragmentos florestais sobre corpos d'água.

A codificação da imagem deve, portanto, seguir o padrão definido por Soille e Vogt (2009) e Vogt (2016b), de acordo com o objetivo da análise de paisagem das UAPs esquematizado na Tabela 4. Às classes "Floresta Natural", "Outras Terras com Vegetação Lenhosa" e "Outras Terras com Árvores" deve ser atribuído o valor de pixel igual a "2", enquanto às demais classes de uso e cobertura deverão ser atribuídos valores iguais a "1" (com exceção das grandes massas d'água ou áreas não observadas), compondo o *background* (o que inclui a classe "Floresta Plantada"). Em locais de ocorrência das grandes massas d'água, ou pertencentes à classe de "Área não Observada", devem ser atribuídos valores iguais a "0", reservados aos dados ausentes (*missing data*), conforme demonstrado na Tabela 4.

Tabela 4. Codificação das classes de uso e cobertura da terra nas UAPs de acordo com as classes para a MSPA.

Classes de uso e cobertura da terra	Classes da análise MSPA	Valor de codificação das imagens	Obrigatoriedade
Regiões onde não há disponibilidade de dados ou corpos d'água	Dados ausentes (<i>missing data</i>)	0	Opcional
"Floresta plantada" e demais classes de uso e cobertura	Segundo plano (<i>background</i>)	1	Obrigatório
"Floresta Natural", "Outras Terras com Vegetação Lenhosa" e "Outras Terras com Árvores"	Primeiro plano (<i>foreground</i>)	2	Obrigatório

No estudo-piloto, para a codificação da imagem foi realizada inicialmente a delimitação das massas d'água a partir das informações da hidrografia contidas na base cartográfica disponível para o Estado do Paraná, em escala 1:50.000. Nesta escala são representados como polígonos os cursos d'água, lagos, lagoas, represas, açudes, e viveiros de peixes com dimensões compatíveis com esta escala, assim como os oceanos. Não serão considerados nesta análise corpos d'água de pequenas dimensões, por não constituírem barreiras absolutas na paisagem, permitindo certa conexão entre fragmentos através de suas margens.

O procedimento de delimitação da massa d'água a ser considerada e a codificação da imagem de acordo com o padrão do *GuidosToolbox* podem ser realizados com apoio de um sistema de informações geográficas (SIG) e de um aplicativo para o processamento de imagens digitais, conforme descrito a seguir. Serão utilizados os arquivos vetoriais contendo os polígonos de massa d'água e o mapa de uso e cobertura da terra, bem como o programa *ArcMap* para exemplificar o processamento.

- a. Abrir no *ArcMap* os arquivos vetoriais do mapa de uso e cobertura da terra e o arquivo contendo os polígonos de massa d'água referentes à área da UAP em questão. Caso os polígonos de massa d'água estejam projetados em um sistema de referência diferente do adotado para o mapa de uso e cobertura da terra, como é o caso da base de dados fornecida pelo Instituto das Águas (SAD69/UTM22S) para o estado do Paraná, deve-se reprojotá-lo da seguinte maneira:
 1. Na "*ArcToolbox*" localizar e abrir a ferramenta geral de vetores chamada "*Project*", localizada em "*Data Management Tools > Projections and Transformations > Project*".
 2. Escolher como camada de entrada o arquivo que se deseja reprojeter, adotando como Sistema de Referência de Coordenadas (SRC) de destino o mesmo SRC do arquivo contendo as classes de uso e cobertura da terra (no caso, SRC Albers).
- b. Após ambos os arquivos estarem no mesmo SRC pode-se observar, como na Figura 4, que a massa d'água (a) corresponde, aproximadamente, à classe corpos d'água do mapa de uso e cobertura da terra (b). No entanto, nessa fase, optou-se pela utilização do arquivo vetorial

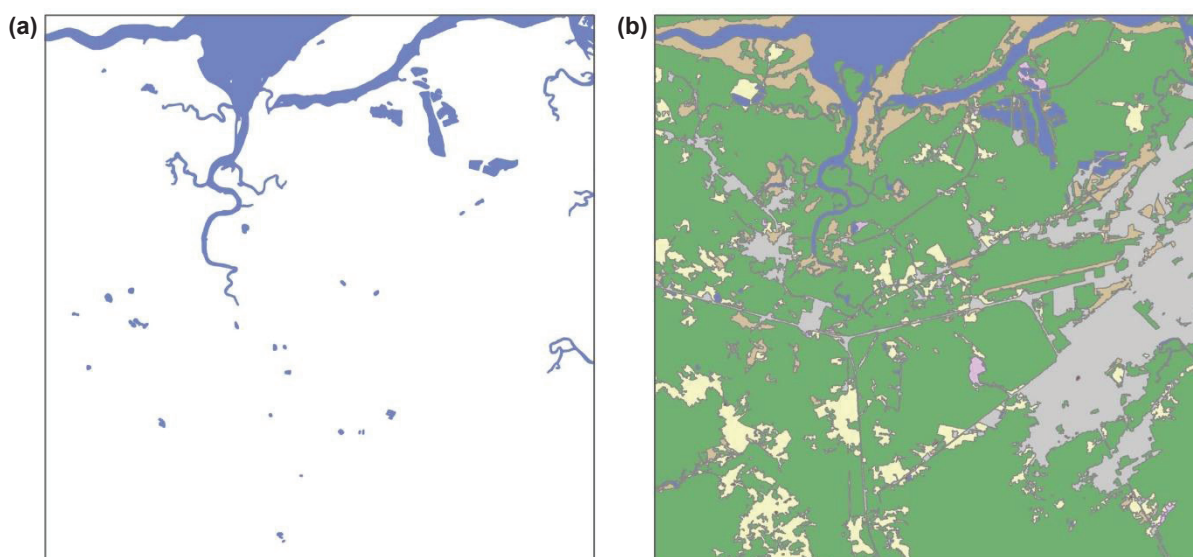


Figura 4. Arquivo contendo os polígonos de massa d'água existentes na área da UAP1214 (a) e respectivo mapa de uso e cobertura da terra obtido pela classificação da imagem (b).

para delimitar as áreas que devem ser consideradas como barreiras na análise da fragmentação e conectividade florestal.

- c. Efetuar a operação de união entre os dois arquivos, por meio da ferramenta “Union” (Figura 5 (a) (b)), obtendo-se um arquivo que inclua os limites dos polígonos de massa d’água e, também, os atributos originais dessa camada de informação. Na Figura 5 (c) pode-se observar que os atributos das duas camadas de informação que foram unidas são preservados.

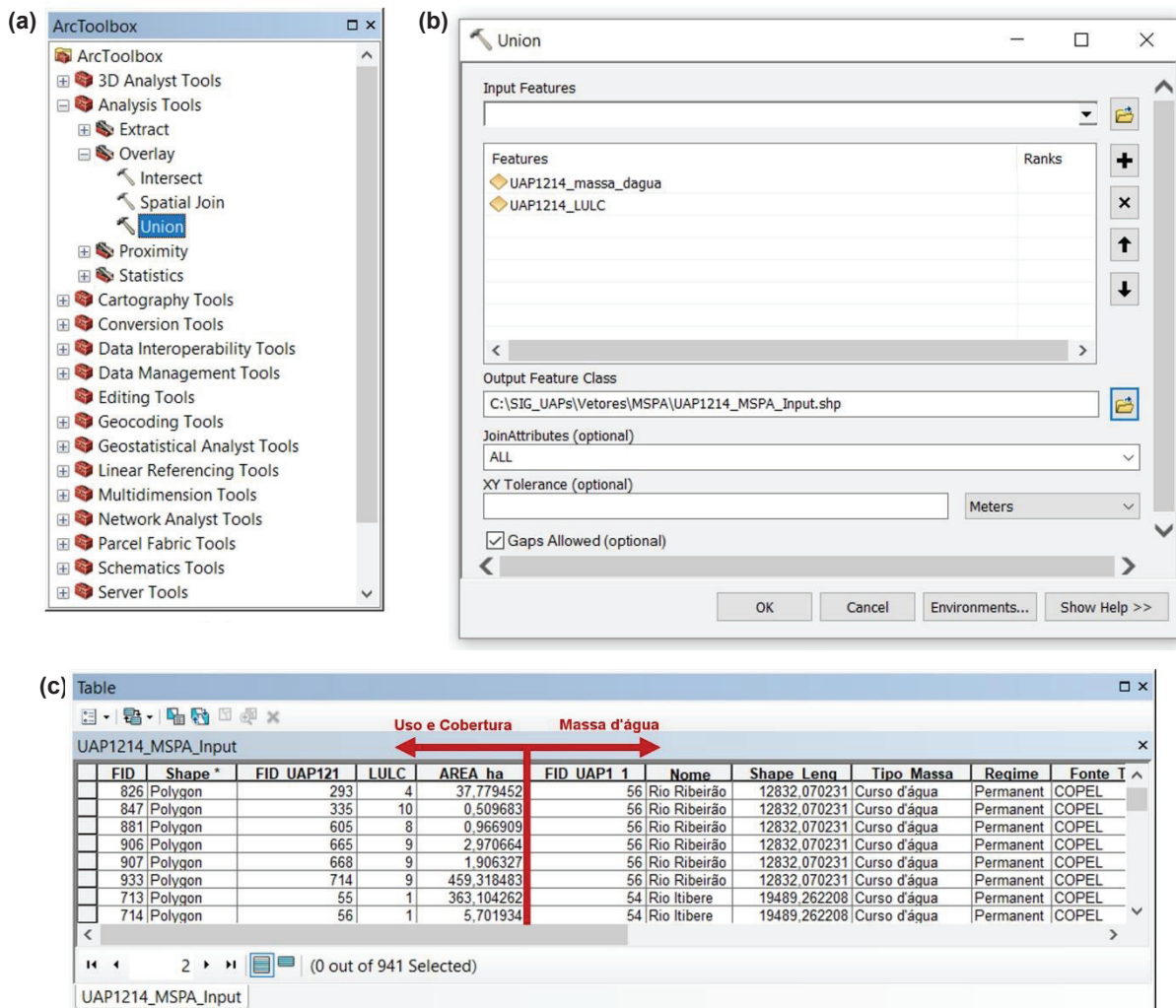


Figura 5. Localização da ferramenta “Union” na Caixa de ferramentas do software ArcMap (a) e janela da ferramenta para a entrada dos dados a serem unidos (b), bem como a tabela de atributos do arquivo resultante de tal união (c).

- d. Para a codificação das classes de uso e cobertura da terra de acordo com as premissas estabelecidas para utilização no *GuidosToolbox*, é necessária a criação de um novo atributo, que deve conter os códigos estabelecidos na Tabela 4 para cada polígono do mapa. Deve-se, então, iniciar a edição do arquivo vetorial gerado pela união dos dois anteriores, clicando-se com o botão direito do mouse no referido arquivo presente na “Table Of Contents”, selecionando a opção “Edit Features > Start Editing”. Em seguida, abrir a tabela de atributos desta camada de dados por meio da mesma janela, na opção “Open Attribute Table”, e selecionar a opção “Add Field” a partir do menu de opções da tabela de atributos. Na janela que se abre inserir o nome do novo atributo (“MSPA”, por exemplo), indicando o formato do dado a ser inserido (“Short Integer”, já que serão utilizados apenas valores inteiros entre 0 e 2), aceitar em “OK” e fechar a janela.

- e. Efetuar a seleção das classes “Floresta Natural”, “Outras Terras com Vegetação Lenhosa” e “Outras Terras com Árvores” utilizando a seleção por atributos (“*Selection By Attributes*”), a partir do menu “*Selection*” localizado na janela principal do *ArcMap*. Selecionar a camada de informação (*Layer*) a partir da qual se deseja efetuar a seleção, selecionar o método de seleção “*Create a new selection*”, efetuar duplo clique no atributo que armazena o nome da classe (“LULC”) até que seu nome apareça na janela inferior “*SELECT*FROM ... WHERE*”. Em seguida, selecionar a operação desejada “=”, clicar sobre “*Get Unique Values*” para que sejam apresentados os tipos únicos de registros existentes para este atributo, ou seja, as classes de uso e cobertura da terra. Efetuar duplo clique sobre o código “1”, que corresponde à classe “Floresta Natural”, até que seu nome apareça na janela inferior, logo após o sinal “=”. Para selecionar as outras classes de interesse, clicar uma vez sobre o operador “OR” e novamente efetuar um duplo clique sobre o atributo que armazena o nome da classe (“LULC”), dessa vez selecionando o código “2”, que corresponde à classe “Outras terras com vegetação lenhosa”. Repetir o mesmo procedimento, dessa vez em relação à classe de código “3” (“Outras terras com árvores”). Quando uma das classes não aparece na lista, significa que ela não ocorre na UAP em questão, como no exemplo da Figura 6 (a). Clicar em “OK”.

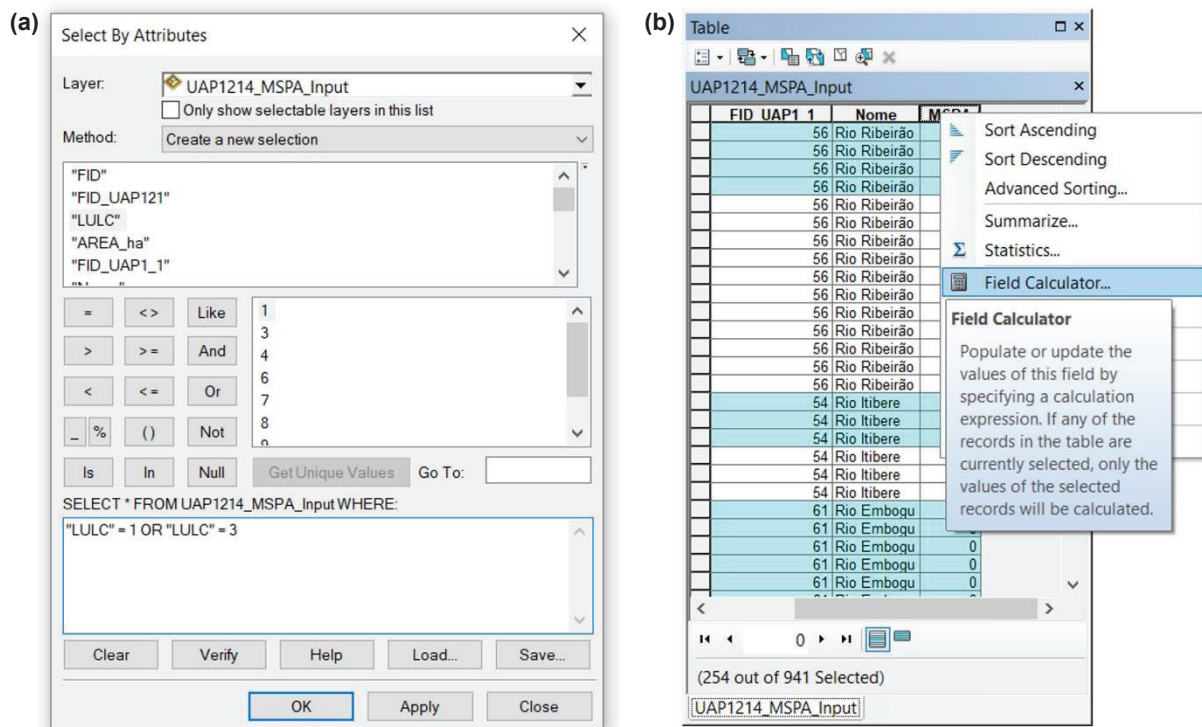


Figura 6. Janelas do *ArcMap* demonstrando parte das operações necessárias para a codificação do arquivo vetorial contendo as classes de uso e cobertura da terra e as massas d’água para a UAP1214.

- f. Na tabela de atributos, já com os registros de todos os polígonos correspondentes às classes de cobertura arbórea e/ou arbustiva selecionados, abrir a calculadora de campo, clicando com o botão direito do mouse sobre o atributo “MSPA”, que receberá a codificação, e selecionar a opção “*Field Calculator*” (Figura 6 (b)). Na janela que se abre inserir o valor “2”, correspondente à classe de *foreground* na análise MSPA e clicar em “OK” para o preenchimento deste atributo.
- g. Na tabela de atributos, clicar sobre o botão “*Switch Selection*” alternando da seleção das classes de *foreground* para a seleção de todas as demais classes de uso e cobertura da ter-

ra constantes da tabela. Utilizar novamente a ferramenta “*Field Calculator*” sobre o atributo “MSPA” para atribuir o valor “1” aos registros selecionados.

- h. Utilizar novamente a ferramenta de seleção para a seleção do atributo “Tipo_Massa” da mesma forma realizada anteriormente, porém, desta vez serão selecionados os polígonos sem atributos (“Tipo_Massa” = ‘ ‘), ou seja, aqueles que não são originários do arquivo vetorial que contém os polígonos de massa d’água. Inverter a seleção. Adicionar a essa seleção também os polígonos pertencentes à classe de uso e cobertura igual a 9 (“Superfícies com água”). Utilizando a calculadora de campo, atribuir o valor “0” aos registros selecionados.
- i. Após a codificação do arquivo vetorial de mapa de uso e cobertura da terra e das massas d’água, deve ser gerado um arquivo em formato *raster* contendo, em cada *pixel*, o valor a ser utilizado nas análises do *GuidosToolbox*. Para tanto, selecionar a opção “*Feature to Raster*” disponível em “*ArcToolbox > Conversion Tools > To Raster > Feature to Raster*” (Figura 7 (a)) na Caixa de Ferramentas. Utilizar como dado de entrada o arquivo vetorial resultante da união dos arquivos “mapa de uso e cobertura da terra” e “massa d’água”, codificados anteriormente de acordo com as premissas do *GuidosToolbox*. Selecionar o atributo (coluna da tabela de atributos) utilizado para codificar os polígonos, bem como selecionar o nome e o local no qual se deseja armazenar o arquivo gerado, estabelecer o tamanho da célula de saída igual a 5 m e clicar em “OK” (Figura 7 (b)).

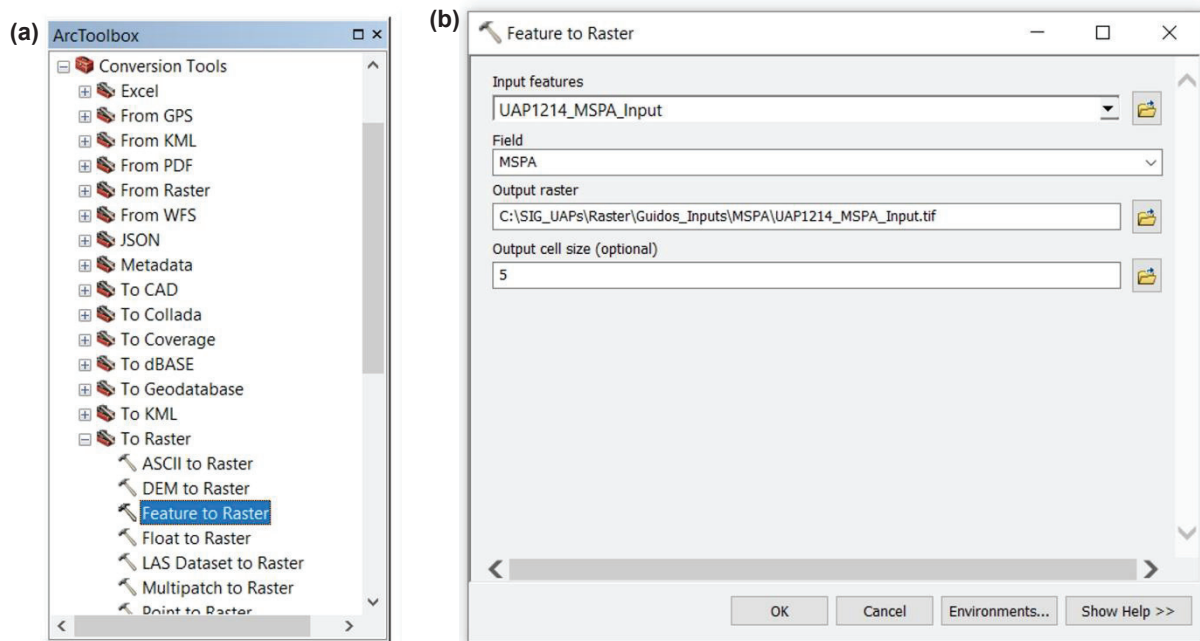


Figura 7. Janela do *ArcToolbox* (a) e da ferramenta *Feature to Raster* (b), demonstrando passos da operação de conversão do formato de arquivo vetorial para o formato de arquivo raster.

- j. Converter o arquivo *raster* gerado em formato Esri Grid para um arquivo *raster* em formato *Geotiff*, exportando-o. Clicar sobre o nome do arquivo na tabela de conteúdos (*Table of Contents*) do *ArcMap* com o botão direito do mouse, selecionar a opção “*Data > Export Data*”. Selecionar as opções *default* de extensão do arquivo, referência espacial e tamanho da célula de acordo com o exposto na Figura 8. Selecionar a localização de armazenamento do arquivo a ser gerado, nome do arquivo e formato tiff, sem compressão (“*none*”).

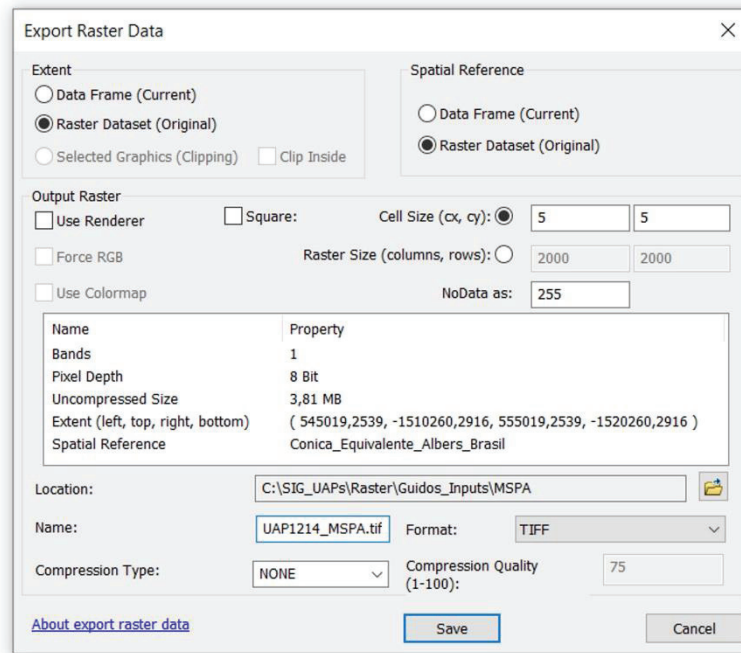


Figura 8. Janela de exportação do arquivo em formato *raster* Esri Grid gerado pela ferramenta “*Feature to Raster*” para o formato *raster* Geotiff.

1.2.2 Aplicação da abordagem MSPA

Com o arquivo formato *raster* preparado para uso no aplicativo *GuidosToolbox*, pode-se dar início à análise MSPA. Para instalação do programa, acessar a página da internet do *Joint Research Centre* onde se encontram depositados os arquivos de instalação, manual de utilização, exemplos e tutoriais de uso, efetuar download e seguir as instruções para instalação do programa em <<http://forest.jrc.ec.europa.eu/download/software/guidos/>>. Depois de instalado e aberto o programa, proceder de acordo com as direções a seguir para a realização das análises de interesse:

- a. Ao abrir o programa (duplo clique sobre o ícone ou seleção do programa a partir do *menu* iniciar), apresenta-se uma janela notificando a utilização de ferramentas na linguagem IDL, utilizada para sua compilação. Clicar na opção “*Click To Continue*” para prosseguir (Figura 9 (a)).

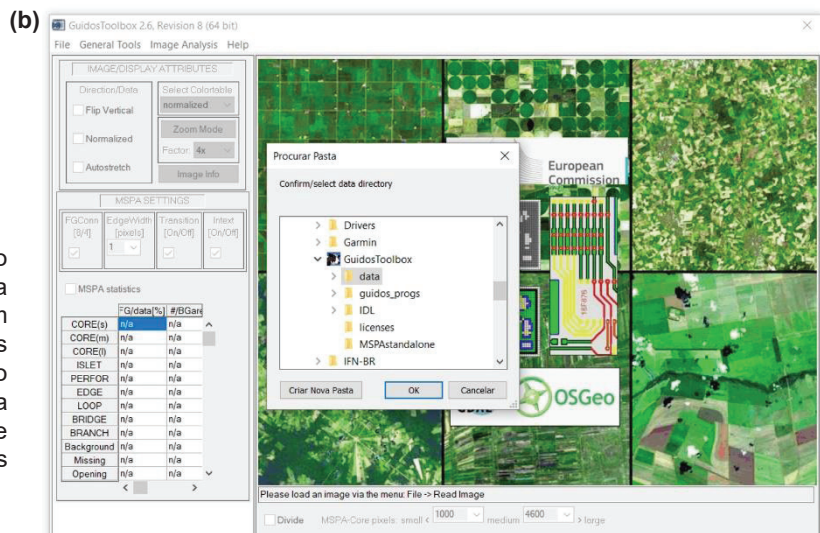


Figura 9. Janelas que se abrem quando o *GuidosToolbox* é inicializado. A primeira informa que ferramentas em linguagem IDL serão utilizadas, devendo-se apenas clicar na opção apresentada para que o programa inicialize (a). A segunda janela permite que seja definida a pasta de trabalho, onde estão armazenadas as imagens a serem analisadas (b).

Fonte: Vogt (2016a).

- b. Assim que o programa se abre, pode ser selecionada a pasta de trabalho onde se encontram os arquivos que serão utilizados. Navegar nesta janela até a pasta de trabalho, clicando em “OK” ao finalizar.
- c. Abrir a imagem utilizando o menu “File > Read Image > GeoTiff”, como na Figura 10 (a).

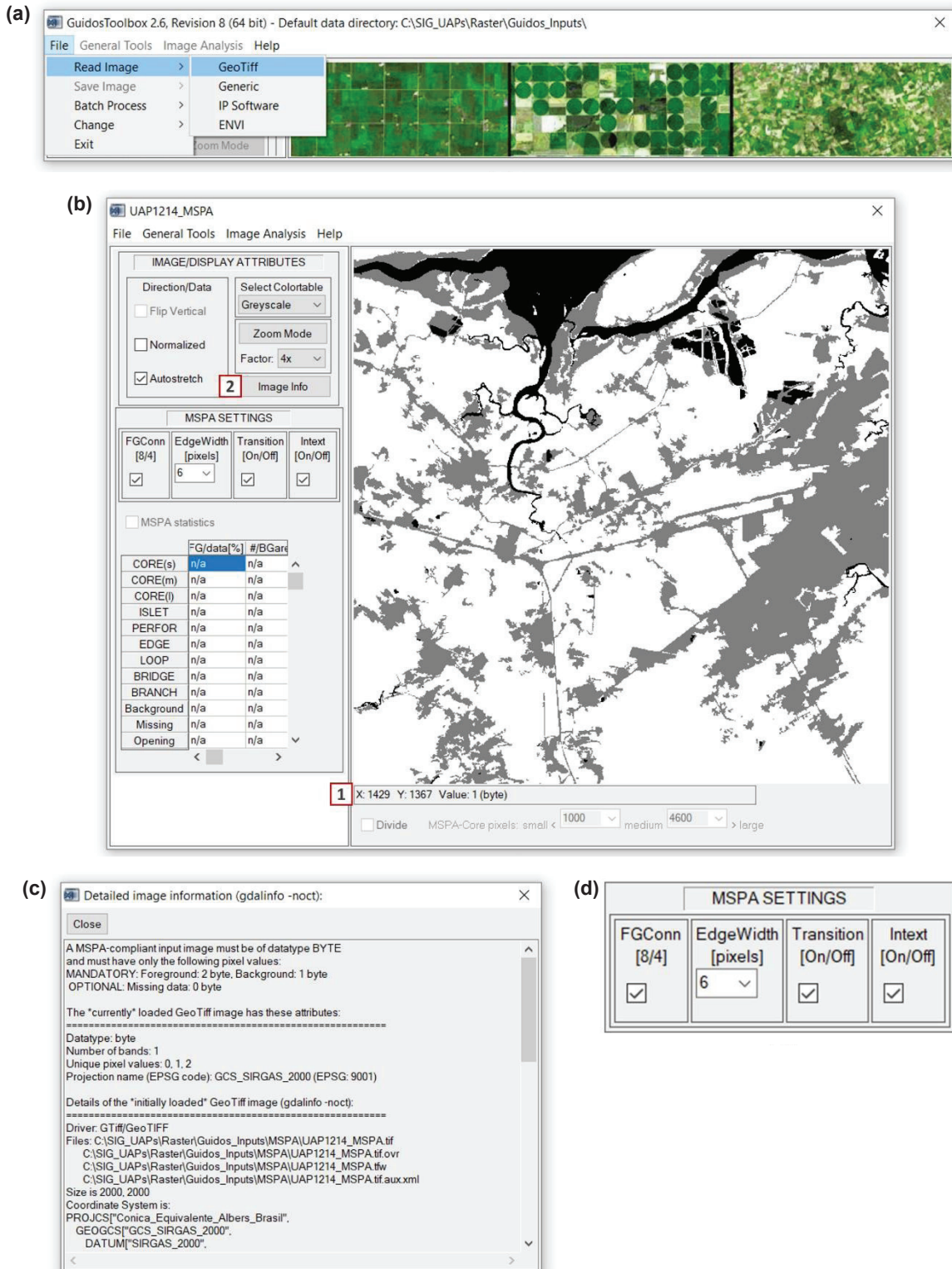


Figura 10. Janelas do *GuidosToolbox*. Em (a) um exemplo da tela inicial do programa com a opção que permite abrir imagens em formato geotiff. Em (b) a imagem anteriormente preparada e aberta de acordo com as cores para visualização padrão. Em (c) podem ser visualizadas as informações da imagem. Em (d) é apresentada parte da interface que permite configurar os parâmetros de ajuste para a análise MSPA.

- d. A imagem aberta deve conter apenas os três valores utilizados na codificação das classes realizada anteriormente, variando de 0 a 2 em números inteiros. As áreas ocupadas pelas classes “Floresta Natural”, “Outras Terras com Vegetação Lenhosa” e “Outras Terras com Árvores” devem apresentar valor igual a “2”, massas d’água e áreas não observadas, valores iguais a “0” e, demais classes de uso e cobertura da terra, igual a “1”. Esta confirmação pode ser realizada verificando-se o valor apresentado logo abaixo da imagem, onde se encontram as coordenadas de imagem do pixel sob o *mouse* e também seu valor em *bytes*, como demonstrado na Figura 10 (b), item (1). Também podem ser consultadas informações da imagem clicando sobre “*Image Info*”, conforme indicado na Figura 10 (b), item (2). Na janela que se abre são disponibilizadas informações do tipo de dado, do número de bandas da imagem, dos valores únicos de pixels encontrados na imagem, do número de pixels na imagem e do tipo de projeção em que a imagem se encontra, dentre outras (Figura 10 (c)). A imagem é apresentada em tons de cinza: em preto, os dados ausentes (*missing data*), em cinza, os pixels do primeiro plano (*foreground*) e, em branco, os pixels do segundo plano (*background*).
- e. Anteriormente ao início da análise MSPA, devem ser definidos quatro parâmetros, como: 1 - o tipo de conectividade a ser adotado entre o pixel central da janela móvel e os pixels vizinhos do *foreground*, 2 - a largura de borda a ser considerada para os fragmentos florestais, 3 - a forma de transição entre a área de habitat interior e a borda ou perfuração e 4 - a opção de identificação dos pixels internos às perfurações na área de habitat interior, denominada “*Intext*” (Figura 10 (d)).
- f. O parâmetro conectividade do *foreground* determina de que forma o pixel central (circulado em vermelho, na Figura 11 (a) e (b)) é considerado conectado aos seus pixels vizinhos e adjacentes, enquanto a janela móvel de dimensão 3 x 3 pixels desloca-se sobre a imagem durante seu processamento. A conectividade pode se dar quando um pixel de borda e um pixel da diagonal são comuns (conectividade em 8) (Figura 11 (a) e (c)) ou quando apenas o pixel de borda é comum (conectividade em 4) (Figura 11 (b) e (d)). A Figura 11 apresenta os dois tipos de conectividade e o seu impacto nos resultados da segmentação realizada na MSPA. O valor padrão do programa para o parâmetro Conectividade do *Foreground* é 8, sendo, portanto, este valor adotado na análise das UAPs.

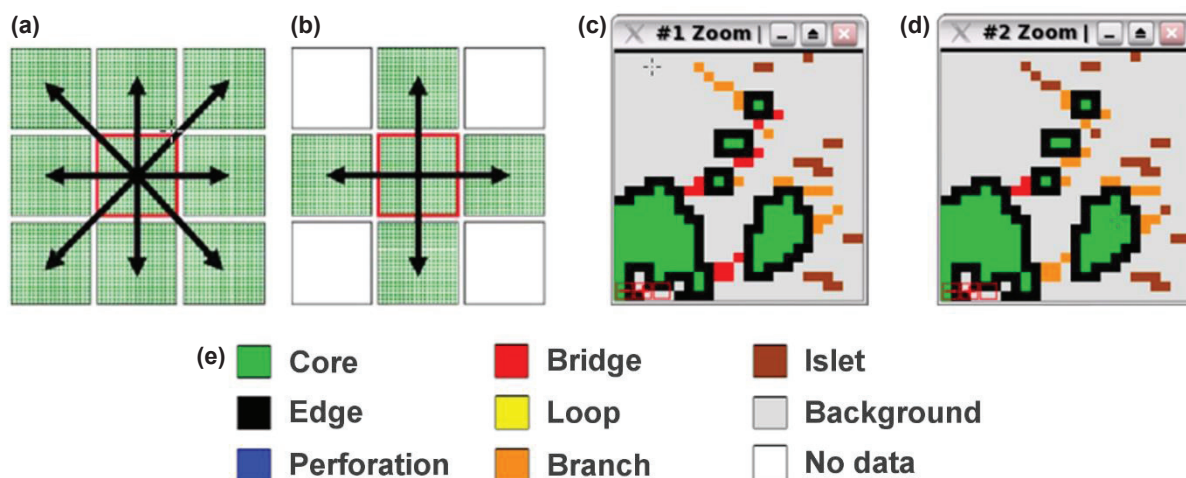


Figura 11. Parâmetro conectividade do *foreground* e o impacto da aplicação das suas variações na análise MSPA. Exemplos e aplicação de conectividade em 8 ((a) e (c) respectivamente) e conectividade em 4 ((b) e (d) respectivamente), de acordo com as classes da MSPA (e).

- g. O segundo parâmetro a ser definido previamente à análise MSPA é o parâmetro de Largura de Borda (*Edge Width Parameter*) (Figura 12), que define a largura ou espessura das classes que não correspondem à área “core” da floresta, ou seja, que não correspondem à área de habitat interior. Para sua definição, deve ser considerada a distância na qual as espécies da floresta estão submetidas aos efeitos de borda, de acordo com as particularidades das espécies de interesse e do bioma em questão, devendo ser definido em número de pixels. A distância real deve, portanto, ser dividida pela resolução espacial do dado de entrada, resultando no número de pixels que correspondem à borda da floresta. No caso da análise MSPA aplicada às UAPs será adotada a largura de borda (*Edge Width*) igual a 30 m, de acordo com Tejera et al. (2012), correspondente a 6 pixels no caso das imagens *RE*, que têm resolução espacial de 5 m.

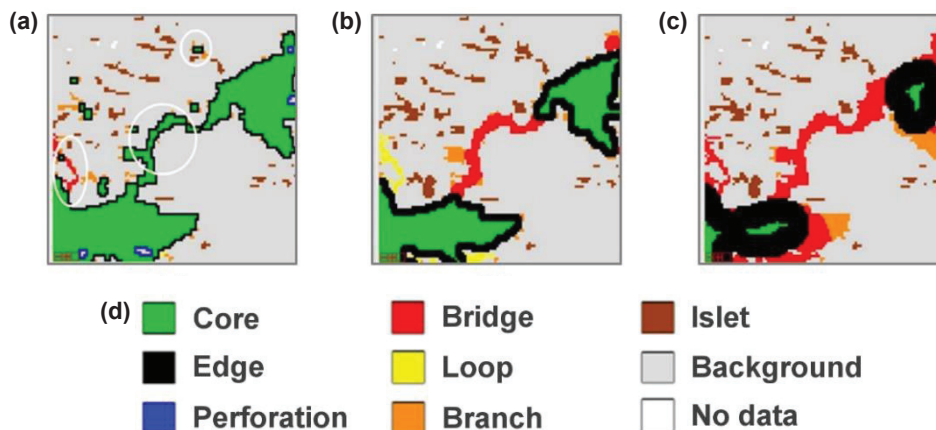


Figura 12. Resultados da variação do parâmetro Largura de Borda (*Edge Width*), quando a distância aplicada é igual a 1 (a), 2 (b) ou 3 pixels (c), de acordo com as classes MSPA (d).

Fonte: Vogt (2016a).

- h. O terceiro parâmetro a ser utilizado na análise MSPA refere-se aos pixels de transição, que são aqueles pixels de uma borda (*Edge*) ou perfuração (*Perforation*) onde a área de habitat interior (*Core*) intercepta uma alça (*Loop*) ou uma ponte (*Bridge*). Se a transição é definida como 0 (não mostrar pixels de transição), então perfurações e bordas serão apresentadas como fronteiras fechadas delimitando áreas de habitat interior. Percebe-se, na Figura 13, que uma alça (*Loop*) ou uma ponte (*Bridge*) igual a 2 pixels de extensão não será visível para esta configuração, já que estará escondida sob a borda ou perfuração. A configuração padrão do programa é a de exibir os pixels de transição (valor igual a 1) de forma a ilustrar as conexões detectadas. Para Parâmetros de Largura de Borda maiores, os conectores e as áreas cobertas por pixels de transição aumentam de forma acentuada. Enquanto estes resultados são matematicamente corretos, podem parecer confusos ao usuário menos experiente. Na Figura 13 pode-se perceber que, quando o parâmetro de transição está desativado (valor igual a 0 no campo “*Transition*” da Figura 10 (d)), as perfurações (em amarelo, Figura 13 (a)) na parte superior da imagem estão ocultas sob os pixels de borda (em preto, Figura 13 (b)). Os valores dos pixels resultantes da segmentação MSPA são independentes da seleção da configuração referente à Transição, sendo apenas aplicadas cores diferentes na visualização da imagem. O valor padrão igual a “1” para transição, conforme padrão do programa, deve ser adotado para a análise das UAPs.

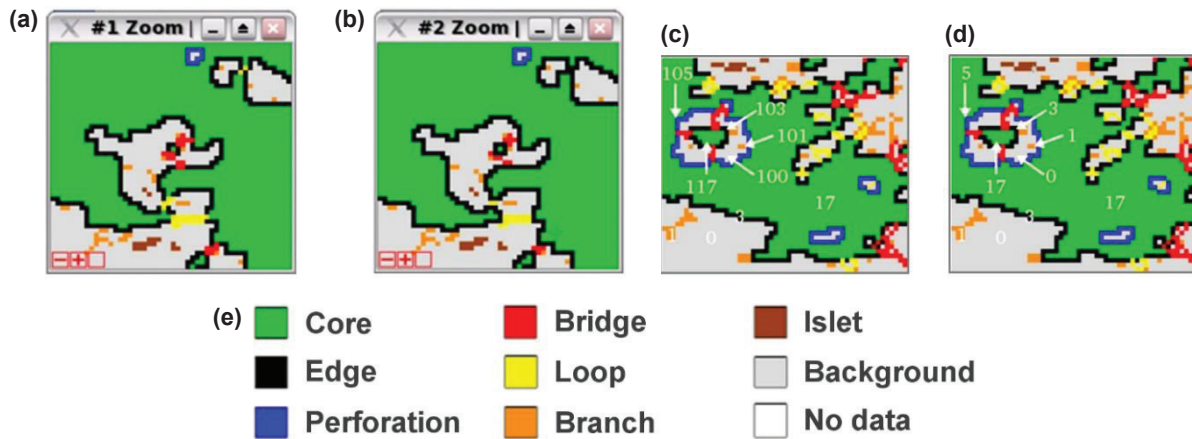


Figura 13. Exemplos do resultado do Parâmetro de Transição quando ativado (a) e quando desativado (b) e Parâmetro *Intext* ativado (c) e desativado (d).

Fonte: Vogt (2016a).

- i. O Parâmetro *Intext* permite distinguir feições internas e externas (Figura 13 (c) e (d)). Feições internas são definidas por estarem envoltas por uma perfuração, ou seja, uma clareira na floresta, limitadas pela borda da clareira. O padrão do programa é o de permitir esta distinção, adicionando um segundo conjunto de classes às sete classes originais, e deve ser adotado na análise das UAPs. Todas as classes, com exceção da perfuração, que por definição é invariavelmente uma classe interna, podem ser caracterizadas como internas ou externas.
















Os resultados da segmentação da imagem são visualizados de acordo com a legenda apresentada na Tabela 5, que inclui as sete classes de padrões para o *foreground*, a cor cinza para o *background* e a cor branca para *Missing data*.

A Tabela 5 apresenta a tonalidade das cores e seus respectivos valores no modelo de cores RGB das classes da MSPA, para a Transição = 1. Para Transição = 0, os pixels de interseção das classes 5b e 6b (“*Loop in Edge*” e “*Bridge in Edge*”, respectivamente) recebem cores iguais às de *bordas* (preto) e os pixels de classe 5c e 6c (“*Loop in Perforation*” e “*Bridge in Perforation*”, respectivamente) recebem cores iguais às de *perfurações* (azul). As estatísticas em *GuidosToolbox* são calculadas com relação às cores da imagem. Por conseguinte, as estatísticas são diferentes para Transição = 0 / 1, enquanto os valores reais da imagem são idênticos para Transição = 0 / 1.

Se o parâmetro “*Intext*” é definido como “0”, então não há nenhuma distinção entre *background* interno e externo e as classes da MSPA resultantes só podem ter os valores de *bytes* externos, descritos na tabela acima. Em vez disso, quando se utiliza a configuração padrão o *Intext* é ajustado para 1, então, e dependendo do seu arranjo espacial, todas as classes podem aparecer como internas ou externas. Isto, naturalmente, exclui os pixels da classe perfuração (*perforation*), que, por definição, são sempre internos e, portanto, todos aparecem com um valor de *byte* igual a 105, como pode ser visto na Tabela 5 e na Figura 13 (c), quando *Intext* é definido como 1.

Em resumo, o resultado visual pode ter um total de até sete cores para o *foreground* além da cor cinza para a área do *background* e da cor branca para áreas de dados faltantes. Os valores de pixels reais e únicos para a imagem quando *Intext* = 0 podem assumir até 13 valores (11 para o *foreground* + 1 para o *background* + 1 para *Missing data*) e quando *Intext* = 1 até 24 valores (21 para o *foreground* + 2 para o *background* + 1 para *Missing data*).

Tabela 5. Nomes, códigos de cores e valores dos pixels (em bytes) para as classes de padrões resultantes da análise MSPA.

Classe	Valor (byte) interno/externo	R	G	B	Cor
1a. <i>Core (small)</i> - habitat interior (pequeno)	116 / 16	0	255	0	
1b. <i>Core (medium)</i> - habitat interior (médio)	117 / 17	0	200	0	
1c. <i>Core (large)</i> - habitat interior (grande)	118 / 18	0	130	0	
2. <i>Islet</i> - ilha de vegetação	109 / 9	160	60	0	
3. <i>Perforation</i> - borda de clareira	105 / 5	0	0	255	
4. <i>Edge</i> - borda	103 / 3	0	0	0	
5a. <i>Loop</i> - alça	165 / 65	255	255	0	
5b. <i>Loop in Edge</i> - alça em borda	167 / 67	255	255	0	
5c. <i>Loop in Perforation</i> - alça em clareira	169 / 69	255	255	0	
6a. <i>Bridge</i> - ponte	133 / 33	255	0	0	
6b. <i>Bridge in Edge</i> - ponte em borda	135 / 35	255	0	0	
6c. <i>Bridge in Perforation</i> - ponte em clareira	137 / 37	255	0	0	
7. <i>Branch</i> - ramificação	101 / 1	255	140	0	
<i>Background</i> - segundo plano	100 / 0	220	220	220	
<i>Missing</i> - dados ausentes	129 / 129	255	255	255	

Fonte: Adaptado de Vogt (2016a).

Definidos os parâmetros de configuração, pode-se dar início ao cálculo de MSPA, selecionando a partir do menu “*Image Analysis*” a opção “*Pattern*” e em seguida a opção “*MSPA*” (“*Image Analysis* > *Pattern* > *MSPA*”), conforme demonstrado na Figura 14.

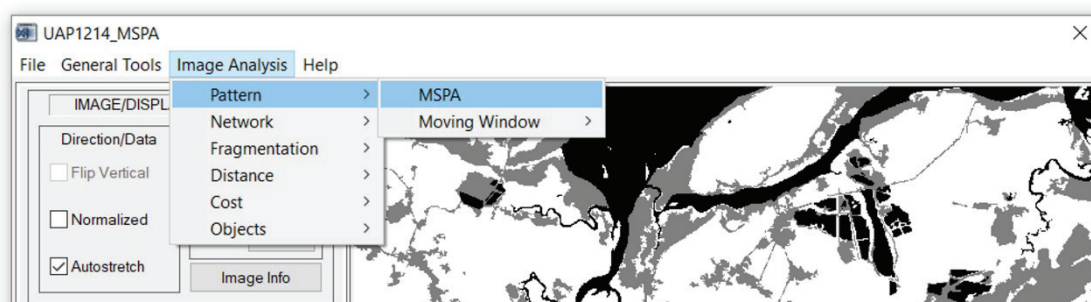


Figura 14. Parte da janela principal do aplicativo *GuidosToolbox* exibindo a sequência de menus necessária para a ativação do cálculo de MSPA.

1.2.3 Resultados da análise MSPA

Após o cálculo da segmentação MSPA de acordo com o anteriormente exposto, os resultados obtidos podem ser analisados. O resultado da segmentação MSPA é apresentado na interface gráfica do programa e também em um arquivo de texto. Como um exemplo, apresentam-se os resultados obtidos para a UAP1214 juntamente com observações a respeito da interpretação e análise dos resultados.

- a. Assim que a segmentação da imagem é concluída, a imagem resultante é apresentada na interface gráfica do aplicativo (Figura 15), de acordo com as classes MSPA e legenda anteriormente indicadas. A imagem pode ser salva em formato Geotiff utilizando-se o menu “File > Save Image > Geotiff”.

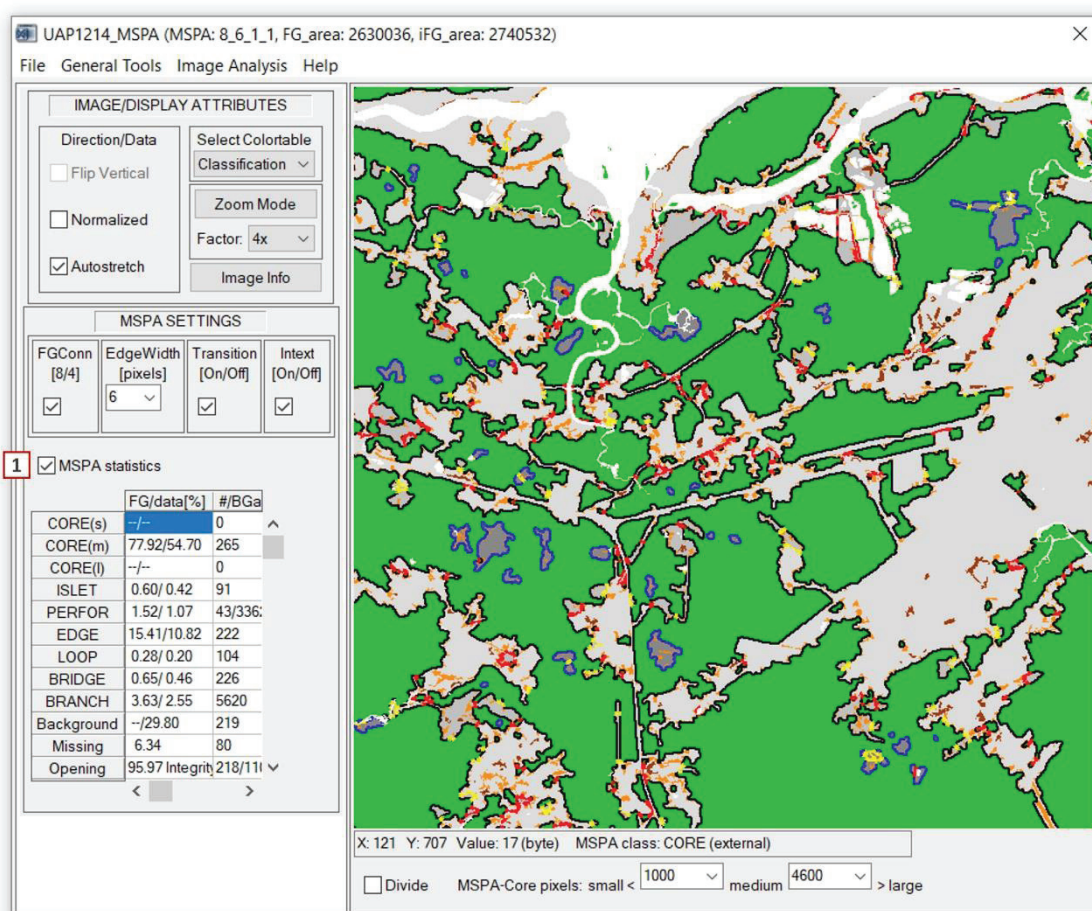


Figura 15. Resultados obtidos pela segmentação MSPA da área de *foreground* (“Floresta Natural”, “Outras Terras com Vegetação Lenhosa” e “Outras Terras com Árvores”) da UAP1214.

- b. Para salvar o arquivo de texto contendo as estatísticas da análise juntamente com a imagem segmentada é necessário ativar o botão “MSPA Statistics” (Figura 15, item (1)). Com este comando ativado, o arquivo de texto é gerado e armazenado juntamente com a imagem. Ao se ativar este comando, é apresentada na tabela localizada no canto inferior esquerdo da interface gráfica a frequência de cada classe MSPA na imagem. A primeira coluna (FG/data%) contém dois valores, sendo o primeiro relativo à frequência percentual da classe em relação ao total de pixels do *foreground* e o segundo expressa o total de pixels da imagem. A segunda coluna contém as frequências absolutas em número de pixels.

- c. Os resultados da MSPA podem também ser divididos de acordo com as dimensões das áreas de habitat interior em três classes de tamanho (pequeno, médio e grande) definidas pelo usuário, ativando-se o botão “*Divide*” (item (1) Figura 16) e inserindo-se os valores desejados para os limites das classes. Pode-se perceber na Figura 16 que as áreas de habitat interior apresentam tons de verde diferentes, representando a classificação aplicada de acordo com as dimensões das áreas. Neste caso, foram utilizados os limiares de 1.000 e 4.600 pixels para as classes que apresentam pequena (s), média (m) e grande (l) área de habitat interior (s: menor que 1.000 pix.; m: entre 1.000 e 4.600 pix.; g: maior que 4.600 pix.).

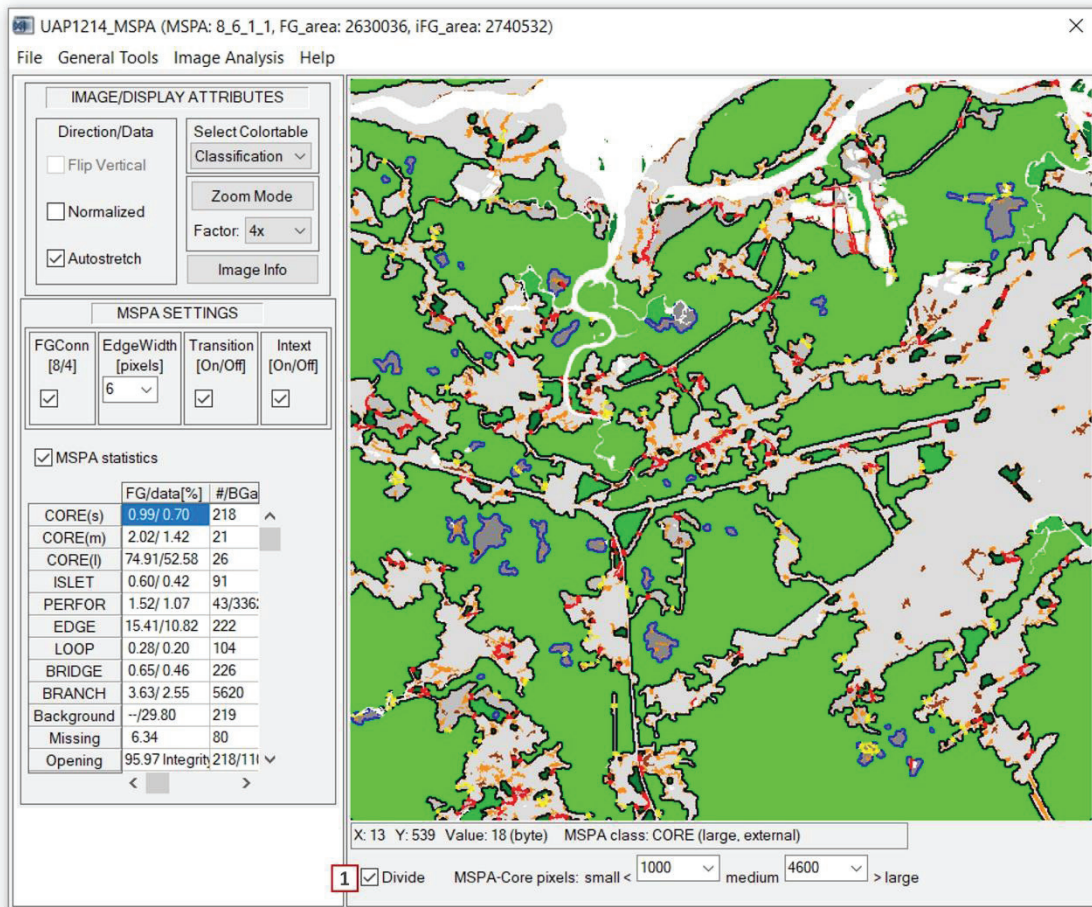


Figura 16. Resultados obtidos pela segmentação MSPA da área de *foreground* (“Floresta Natural”, “Outras Terras com Vegetação Lenhosa” e “Árvores Fora da Floresta”) da UAP 1214 com a subdivisão das áreas *Core* em classes de tamanho, utilizando-se os limiares 1.000 e 4.600 pixels.

- d. Os arquivos de texto contendo a frequência das classes de segmentação MSPA são gerados e armazenados juntamente com a imagem, com o mesmo nome, porém contendo o sufixo “*stat*” ao final do nome do arquivo. Os resultados gerados pela segmentação MSPA da imagem da UAP1214 são apresentados na Figura 17. No primeiro exemplo tem-se a frequência das classes MSPA na imagem (a) e no segundo (b) a frequência das classes com a divisão da área de habitat interior em três subclasses, de acordo com seu tamanho, pequeno (s), médio (m) e grande (l).

MSPA-class [color]:	FG/data pixels [%]	#/BGarea
CORE(s)-green:	--/--	0
CORE(m)-green:	77.92/54.70	265
CORE(l)-green:	--/--	0
ISLET-brown:	0.60/ 0.42	91
PERF-blue:	1.52/ 1.07	43/33622
EDGE-black:	15.41/10.82	222
LOOP-yellow:	0.28/ 0.20	104
BRIDGE-red:	0.65/ 0.46	226
BRANCH-orange:	3.63/ 2.55	5620
Backg-grey:	--/29.80	219
Miss-white:	6.34	80

MSPA-class [color]:	FG/data pixels [%]	#/BGarea
CORE(s)-green:	0.99/ 0.70	218
CORE(m)-green:	2.02/ 1.42	21
CORE(l)-green:	74.91/52.58	26
ISLET-brown:	0.60/ 0.42	91
PERF-blue:	1.52/ 1.07	43/33622
EDGE-black:	15.41/10.82	222
LOOP-yellow:	0.28/ 0.20	104
BRIDGE-red:	0.65/ 0.46	226
BRANCH-orange:	3.63/ 2.55	5620
Backg-grey:	--/29.80	219
Miss-white:	6.34	80

Figura 17. Resultados gerados pela segmentação MSPA da imagem da UAP1214. No primeiro exemplo tem-se a frequência das classes MSPA na imagem (a) e no segundo (b) a frequência das classes com a divisão da classe *Core* em três subclasses, de acordo com seu tamanho: pequeno (s), médio (m) e grande (l).

e. Com os resultados da segmentação MSPA armazenados no arquivo de texto, podem ser gerados gráficos que ilustram a frequência das classes na UAP em questão, da mesma maneira como executado para o mapa de uso e cobertura da terra. Como exemplo, foram gerados gráficos que ilustram a frequência simples das classes MSPA na UAP1214 (Figura 18 (a)) e com a subdivisão da classe *Core* (habitat interior) em classes de tamanho pequeno (p), médio (m) e grande (g) de acordo com os limiares anteriormente citados (Figura 18 (b)).

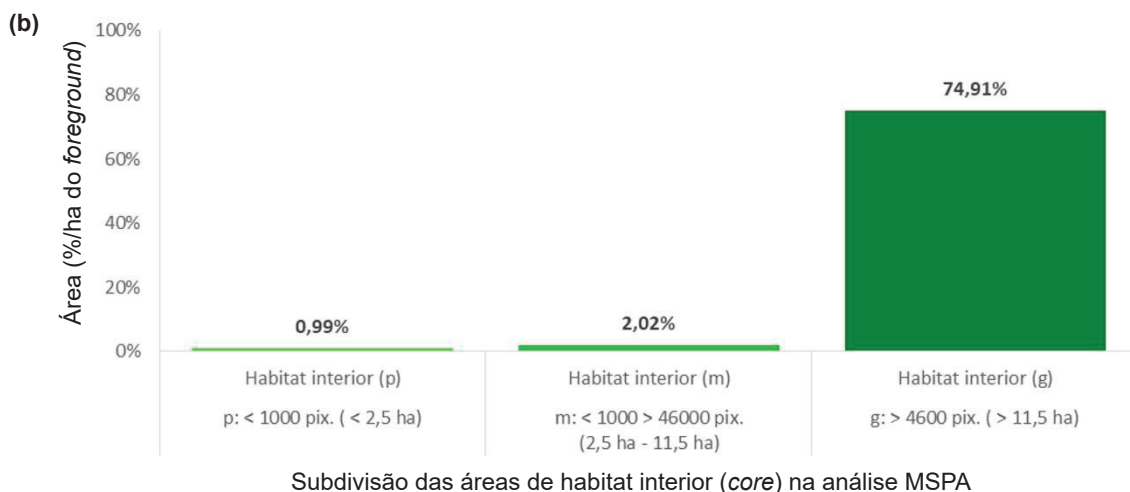
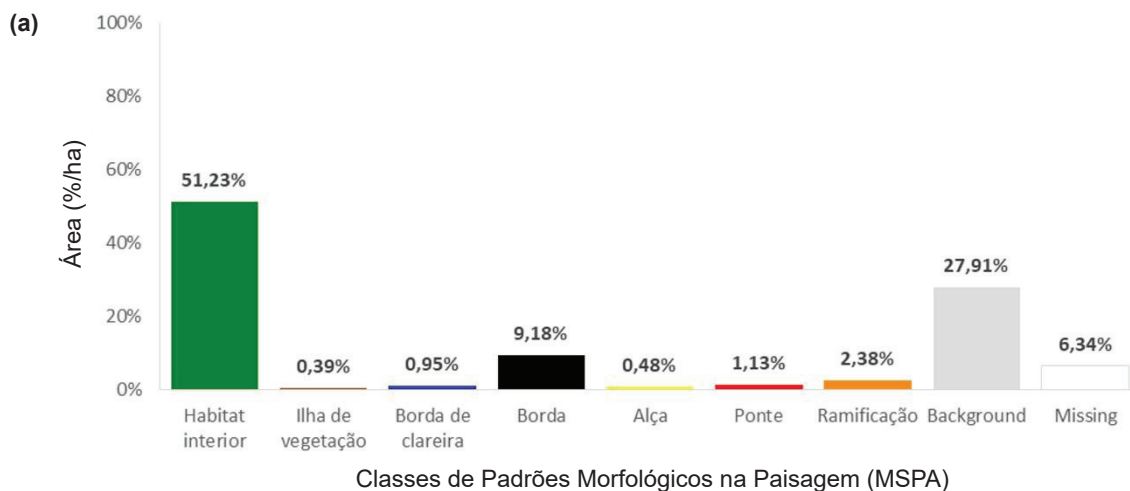


Figura 18. Gráficos ilustrando a frequência das classes MSPA na UAP1214, de acordo com os resultados armazenados no arquivo de texto (a), incluindo a subdivisão da classe *Core* (habitat interior) em subclasses de tamanho (pequeno (p), médio (m) e grande (g)) (b).

1.2.3.1 Índices de padrões morfológicos do hábitat

Associados à análise dos padrões morfológicos do habitat da UAP, são calculados quatro índices adimensionais, expressos em percentagem, que variam de 0% a 100%:

1. **Habitat interior:** são as áreas pertencentes às classes de uso e cobertura da terra naturais, com cobertura arbórea e/ou arbustiva (contempladas pelas classes: “Floresta Natural”, “Outras Terras com Vegetação Lenhosa” e “Outras Terras com Árvores”), localizadas além da distância de 30 metros de borda de outras classes não naturais. Corresponde à classe de habitat interior *per se* na análise MSPA.
2. **Ilha de vegetação:** são áreas de vegetação natural potencialmente vulneráveis a desaparecer devido à sua forma e tamanho (geralmente pequenas e/ou alongadas, finas e isoladas, como é o caso da classe “Outras Terras com Árvores”). Dependendo do contexto da paisagem em que se encontram, podem servir como as chamadas *stepping stones*¹ para a polinização e dispersão de espécies entre as áreas centrais dos fragmentos. Corresponde à classe *islet*, na análise MSPA.
3. **Borda:** são as áreas mais vulneráveis à penetração de espécies invasoras e contemplam características de borda que, por sua vez, podem afetar as áreas de habitat interior. Corresponde ao agrupamento das classes *perforation* e *edge* (borda de clareira e bordas) da análise MSPA.
4. **Conectores e ramificações:** áreas que representam conexões estruturais entre as partes internas de um fragmento e que podem atuar como corredores de biodiversidade. Corresponde ao agrupamento das classes *loop* (alças, pontes e ramificações).

No caso da UAP1214, por exemplo, a proporção de habitat interior é igual a 77,92% da área total de *foreground* da UAP, correspondendo a 51,23% da área total da UAP. Os restantes 0,39% da área total da UAP são compostos por ilhas de vegetação, 10,13% por áreas de borda e 4,00% por conectores e ramificações.

1.3 Modelo de mosaico da paisagem

A partir do mapa de uso e cobertura da terra, obtido pela segmentação e classificação das imagens, deve ser realizada uma classificação denominada Mosaico da Paisagem (*Landscape Mosaic* - LM) no aplicativo *GuidosToolbox* (Vogt, 2016b). As classes do mapa de uso e cobertura da terra são generalizadas de acordo com sua aproximação a ambientes naturais ou seminaturais, áreas de cultivo agrícola e áreas urbanizadas, para a elaboração do mapa de mosaicos da paisagem. Este indicador classifica cada pixel do mapa de acordo com a composição dos tipos de uso e cobertura em uma área de vizinhança pré-definida ao seu redor, gerando um mapa de mosaicos da paisagem. De acordo com o percentual de cada tipo de uso e cobertura da terra, é atribuída ao pixel central de uma janela móvel uma das 19 classes de mosaico possíveis, contidas em um esquema de classificação tripolar (Figura 19).

Nos três eixos do triângulo mostrado na Figura 19 estão as proporções dos tipos genéricos de uso e cobertura da terra: agrícola, urbano e natural. Os valores limites para definir o mosaico da paisagem são: ausência (0%), presença substancial (10%), dominância (60%) e exclusividade (100%) de

¹ Em português, “pontos de ligação” ou “trampolins ecológicos” correspondem a pequenas áreas de habitat dispersas pela matriz que podem, para algumas espécies, facilitar os fluxos entre manchas (Metzger, 2001).

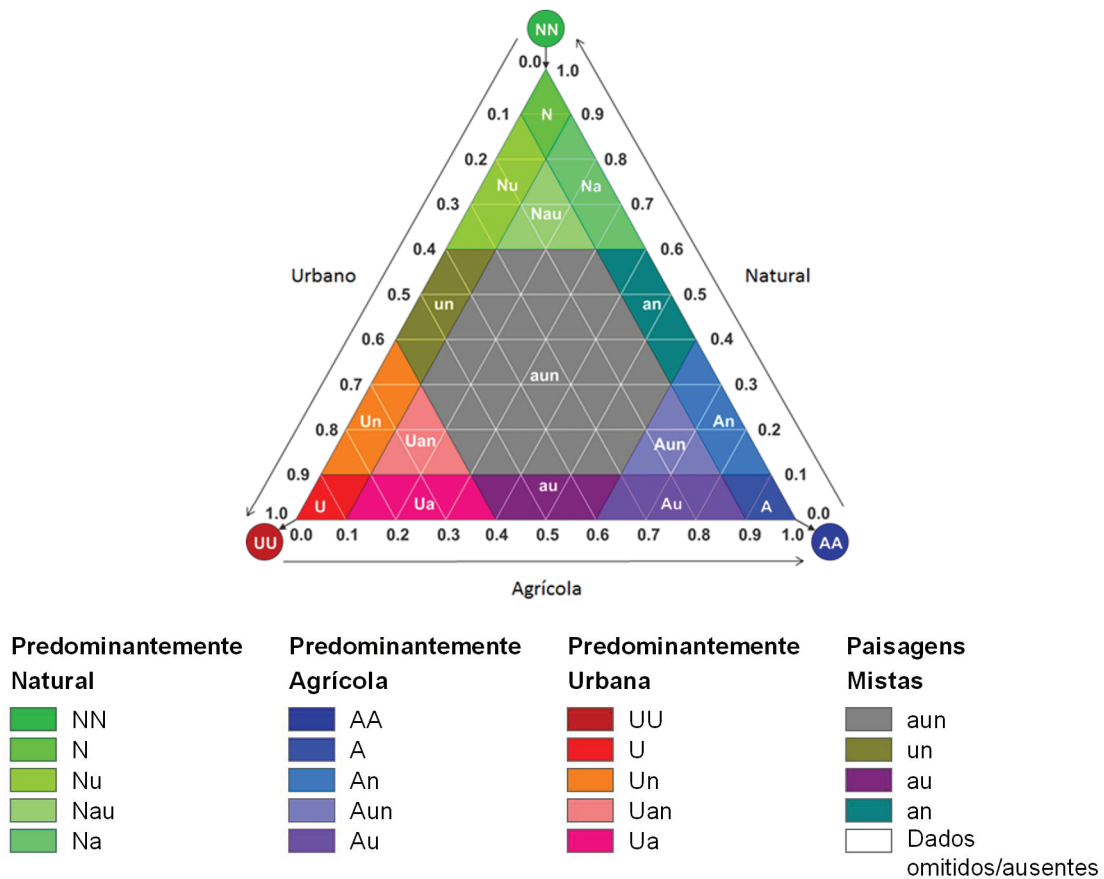


Figura 19. Triângulo para classificação tripolar do Mosaico da Paisagem, contendo 19 classes atribuídas de acordo com a proporção de tipos de uso e cobertura que mais se aproximam das categorias “natural”, “agrícola” e “urbano”.





















Fonte: Adaptado de Riitters et al. (2009).

cada um dos três tipos. Limiares de classificação são, geralmente, arbitrários, mas os valores definidos são razoáveis no que diz respeito à estratificação da paisagem para análises comparativas de habitats em zonas de interferência antrópica (Riitters et al., 2009).

O mapa de mosaicos da paisagem auxilia na visualização das “zonas de interface” (como por exemplo, a interface “floresta-área urbana”) e outros gradientes espaciais da composição da cobertura em uma região. O objetivo geral dessa abordagem é gerar informações sobre os riscos de isolamento de habitats e a intensidade dos efeitos de borda naquele determinado local, devido a atividades antrópicas. Pode-se, por exemplo, estimar a proporção de florestas ou campos naturais em paisagens com predominância de classes de uso e cobertura naturais, agrícolas ou urbanizadas (Riitters et al., 2009).

A Tabela 6 apresenta o nome das classes, a codificação em valores de *bytes*, a tonalidade de cores e os valores no modelo RGB adotados para as 19 classes de mosaico da paisagem para a classificação resultante dessa análise.

Tabela 6. Nomes, códigos de cores, e valores dos pixels (em *bytes*) para as classes de padrões resultantes da análise LM.

Nome da classe	Valor (<i>byte</i>)	R	G	B	Cor
<i>Missing</i>	0	255	255	255	
A	1	0	0	255	
U	2	255	0	0	
N	3	0	255	0	
Au	4	128	0	255	
An	5	0	128	255	
Un	6	255	128	0	
Ua	7	255	0	128	
Na	8	0	255	128	
Nu	9	128	255	0	
Aun	10	128	128	255	
Uan	11	255	128	128	
Nau	12	128	255	128	
au	13	128	0	128	
an	14	0	128	128	
un	15	128	128	0	
aun	16	128	128	128	
NN	17	0	191	0	
AA	18	0	0	191	
UU	19	191	0	0	

As classes do mosaico são denominadas de acordo com as seguintes regras (Riitters et al., 2009):

- Letras minúsculas (a, u, n) aparecem no nome da classe se o tipo de cobertura correspondente (agrícola, urbano, natural, respectivamente) representar, no mínimo 10%, mas menos que 60% da paisagem.

- Letras maiúsculas (A, U, N) aparecem no nome da classe se o tipo de cobertura correspondente (agrícola, urbano, natural, respectivamente) representar no mínimo 60%, mas menos que 100% da paisagem.
- A letra não irá aparecer se o tipo de cobertura compreender menos que 10% da paisagem.
- Os nomes das classes AA, UU e NN indicam paisagens que contêm exatamente 100% do tipo de cobertura correspondente.
- Pode-se, ainda, agregar as 19 classes de mosaico em quatro classes de contexto da paisagem que identificam regiões dominadas, ou seja, circundadas por, no mínimo, 60% de um dos três tipos genéricos de cobertura e também regiões não dominadas por nenhum tipo de cobertura, denominadas de paisagens mistas.

1.3.1 Preparação dos dados para a análise do mosaico da paisagem

Para a utilização das ferramentas contidas no aplicativo *GuidosToolbox* é necessário preparar o mapa de uso e cobertura da terra, da mesma maneira como executado para a MSPA, de acordo com as premissas estabelecidas pelo desenvolvedor para essa análise. Os dados de entrada devem estar em formato *raster (grid)* do tipo *byte* (8-bit) e devem conter, no máximo, quatro classes com os correspondentes valores em *bytes*: 1 - Agrícola; 2 - Natural; 3 - Urbano e uma classe opcional para dados ausentes (*missing data*) ou corpos d'água, com valor igual a "0".

Assim, a codificação da imagem deve seguir o seguinte padrão: à classe de cobertura "Agricultura e Pastagem" deve ser atribuído o valor de *pixel* igual a "1", enquanto às classes "Floresta Natural", "Outras Terras com Vegetação Lenhosa", "Outras Terras com Árvores", "Floresta Plantada", "Gramíneas e Herbáceas" e "Dunas e Afloramentos Rochosos" deve ser atribuído o valor de *pixel* igual a "2". Para as demais classes de uso e cobertura ("Solo exposto" e "Influência Urbana"), com exceção das grandes massas d'água, deve ser atribuído o valor igual a "3". Em locais de ocorrência das grandes massas d'água ou de dados ausentes devem ser atribuídos valores iguais a "0", conforme demonstrado na Tabela 7.

Tabela 7. Codificação das classes de uso e cobertura da terra nas UAPs de acordo com as classes para a análise do mosaico da paisagem.

Classes de uso e cobertura da terra	Classes do mosaico da paisagem	Valor (<i>byte</i>)	Obrigatoriedade
Regiões onde não há disponibilidade de dados ou corpos d'água	Dados ausentes (<i>missing data</i>)	0	Opcional
"Agricultura e Pastagem"	Agrícola	1	Obrigatório
"Floresta Natural", "Outras Terras com Vegetação Lenhosa", "Outras Terras com Árvores", "Gramíneas e Herbáceas", "Floresta Plantada" e "Dunas e Afloramentos Rochosos"	Natural/Seminatural	2	Obrigatório
Áreas com interferência antrópica ("Solo exposto" e "Influência Urbana")	Urbano	3	Obrigatório

Para a codificação da imagem foi utilizado o mesmo arquivo vetorial codificado para a análise MSPA, oriundo da união dos arquivos correspondentes ao mapa de uso e cobertura da terra e o arquivo contendo os polígonos de massa d'água referentes à área da UAP em questão, como segue:

- a. Abrir no *ArcMap* o arquivo vetorial gerado pela união das camadas supracitadas.
- b. Para a codificação das classes de uso e cobertura da terra, de acordo com as premissas estabelecidas para utilização no aplicativo *GuidosToolbox*, é necessária a criação de um novo atributo, que deve conter os códigos estabelecidos na Tabela 7 para cada polígono do mapa. Sendo assim, deve-se, então, abrir a tabela de atributos e adicionar um novo campo do tipo “*Short Integer*” (uma vez que apenas valores entre 0 e 3 serão utilizados).
- c. Seguindo as mesmas premissas dos itens “e”, “f”, “g” e “h” do tópico “1.2.1 Preparação dos dados para a análise MSPA”, deve-se efetuar a seleção e codificação das classes.
- d. Após a codificação do arquivo vetorial do mapa de uso e cobertura da terra deve ser gerado um arquivo em formato *raster* contendo, em cada célula, o valor a ser utilizado nas análises do *GuidosToolbox*. Para tanto, deve-se proceder da mesma maneira conforme descrito nos itens “i” e “j” do tópico “1.2.1 Preparação dos dados para a análise MSPA”.

1.3.2 Elaboração do mosaico da paisagem

Com o arquivo em formato *raster* preparado para uso no aplicativo *GuidosToolbox*, pode-se dar início ao processamento do mapa de uso e cobertura da terra codificado para a geração do mosaico da paisagem:

- a. Abrir a imagem utilizando o menu “*File > Read Image > GeoTiff*”.
- b. A imagem aberta deve conter apenas os quatro valores utilizados na codificação das classes realizada anteriormente, variando de 0 a 3 em números inteiros. A área ocupada pela classe “Agricultura e Pastagem” deve apresentar valor igual a “1”, enquanto as classes “Floresta Natural”, “Outras Terras com Vegetação Lenhosa”, “Outras Terras com Árvores”, “Floresta Plantada”, “Gramíneas e Herbáceas” e “Dunas e Afloramentos Rochosos” devem apresentar valor igual a “2”. Por sua vez as áreas pertencentes às classes “Solo exposto” e “Influência Urbana” devem apresentar valor igual a “3” e as demais classes (“Superfície com água” e “Área não Observada”) igual a “0”.
- c. Para dar início ao processamento do mosaico da paisagem deve-se selecionar, a partir do menu “*Image Analysis*”, a opção “*Pattern*” e em seguida as opções “*Moving Window*” e “*LM*”, respectivamente (“*Image Analysis > Pattern > Moving Window > LM*”), conforme apresentado na Figura 20.

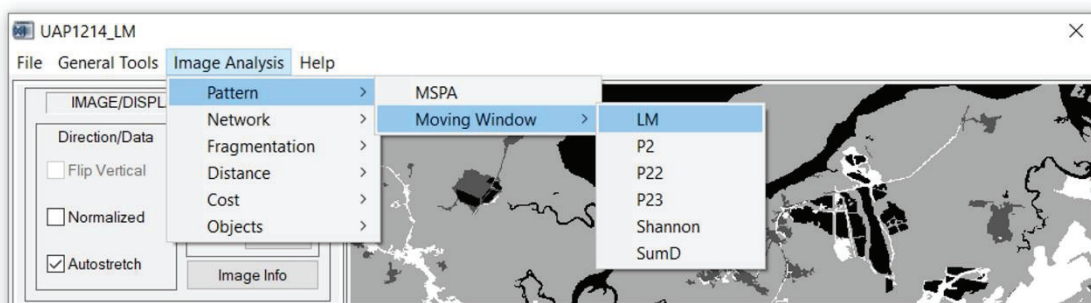


Figura 20. Parte da janela principal do *GuidosToolbox*, exibindo a sequência de menus necessária para a ativação do cálculo de *LM*.

- d. Após selecionada a opção LM do menu *Image Analysis* uma janela será aberta onde o usuário deverá especificar a dimensão da janela móvel (*Moving Window*) que será utilizada para a análise da imagem. A janela de tamanho definido pelo usuário é sobreposta a cada *pixel* da imagem de entrada. A métrica selecionada é, então, calculada para a área da janela, e o resultado é atribuído ao *pixel* central na imagem de saída. Assim, no caso das UAPs deve-se estabelecer a dimensão da janela igual a 13 colunas por 13 linhas, conforme demonstrado na Figura 21, e clicar em *Accept*.

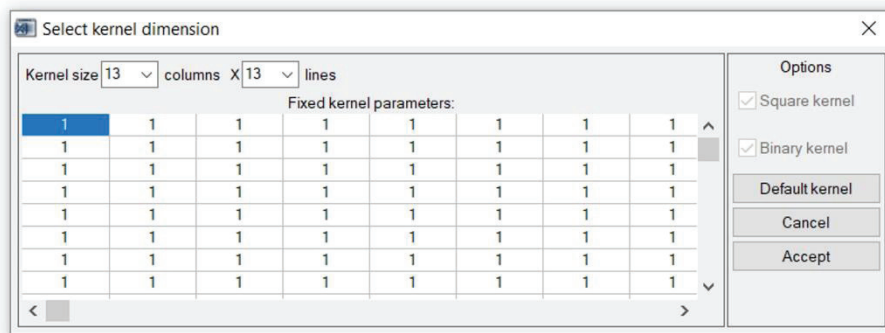


Figura 21. Janela do *GuidosToolbox* para a seleção da dimensão da janela móvel que será adotada para a convolução da imagem.

Usando uma janela de 13 x 13 pixels, a vizinhança imediata ao pixel central equivale a 0,42 ha (1 pixel = 5 m; 13 pixels = 65 m; 13 x 13 pixels = 4.225 m² ou 0,42 ha). Esse tamanho de janela também determina que a distância de penetração dos efeitos de áreas não-naturais ou seminaturais, quando presentes, seja de, no máximo, 50 m para dentro de um fragmento florestal (Estreguil; Mouton, 2009). Esse valor é obtido por meio de um cálculo de vizinhança que considera a direção diagonal da janela móvel. A diagonal de cada pixel é calculada pela diagonal d do quadrado ($d = l\sqrt{2}$), onde l é o tamanho do pixel (5 m). A diagonal da janela móvel contempla sete pixels e sua medida, portanto, é igual a sete vezes a diagonal d de cada pixel ($7 \times 7,07$) ou, aproximadamente, 50 m.

1.3.3 Resultados da análise do mosaico da paisagem

Após o processamento do mosaico da paisagem de acordo com o anteriormente exposto, os resultados obtidos podem ser analisados. O resultado da convolução da imagem é apresentado na interface gráfica do programa. Como exemplo, apresenta-se o mosaico da paisagem obtido para a UAP1214, juntamente com observações a respeito da interpretação e análise dos resultados, a seguir:

- Assim que o processamento é concluído, a imagem resultante é apresentada na interface gráfica do programa, de acordo com as classes de mosaico da paisagem e legenda anteriormente indicados (Figura 22), podendo-se armazenar a imagem resultante em formato GeoTiff utilizando o menu “*File > Save Image > GeoTiff*” na janela principal do programa.
- Com a imagem *raster* em formato GeoTiff pode ser gerado um histograma que ilustra a frequência das classes de mosaico da paisagem, com auxílio do *ArcMap*. Como exemplo, gerou-se um gráfico que ilustra a frequência simples das classes de mosaico da paisagem na UAP1214 (Figura 23).
- Para isso, deve-se primeiramente abrir o arquivo GeoTiff resultante da análise do mosaico da paisagem gerado pelo *GuidosToolbox*, no *ArcMap*.

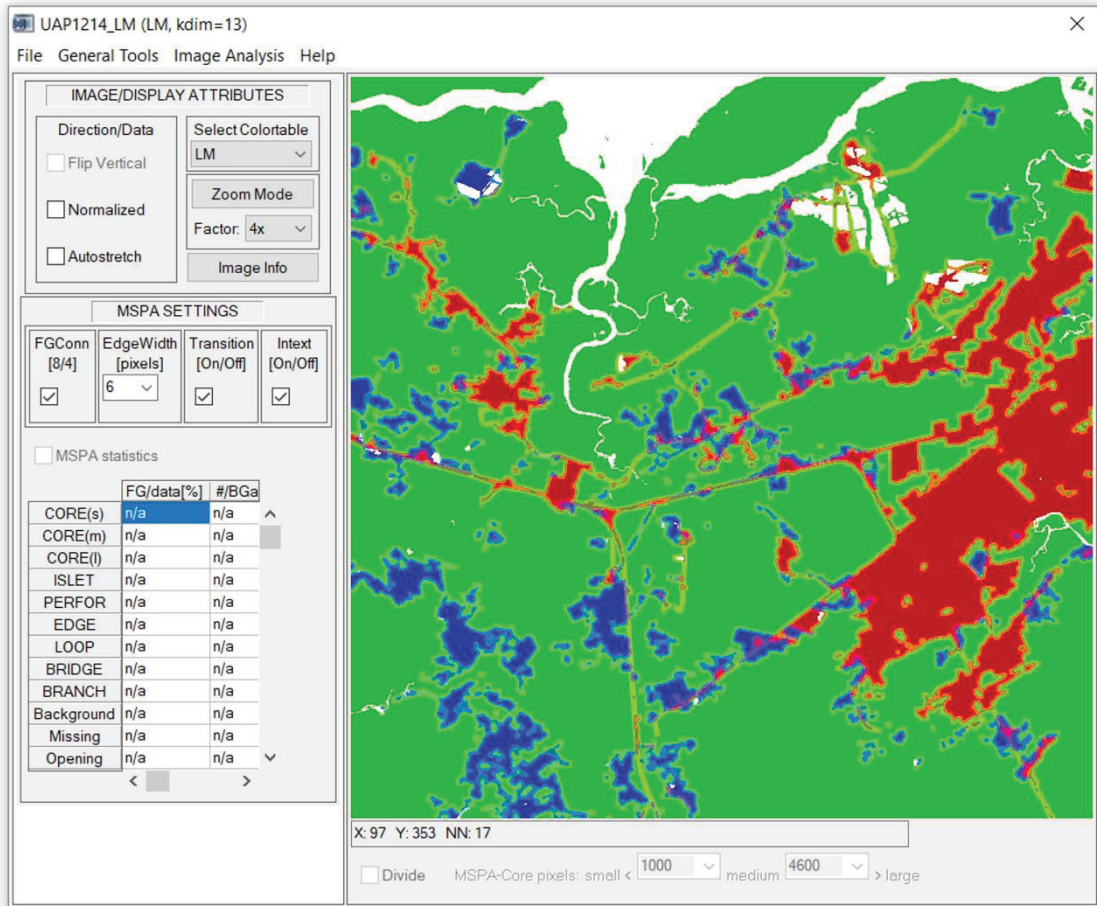


Figura 22. Resultado do Mosaico da Paisagem para a UAP 1214.

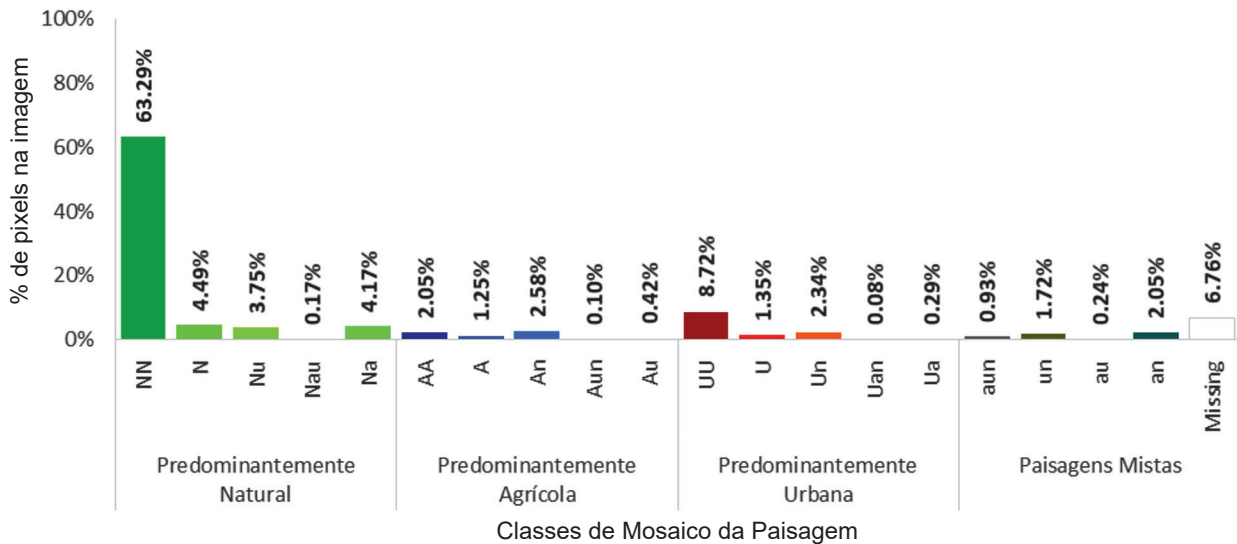


Figura 23. Gráfico ilustrando a frequência das classes de mosaico da paisagem na UAP1214, de acordo com os resultados obtidos a partir da imagem gerada pelo *GuidosToolbox*.

- d. Para habilitar a ferramenta de geração do histograma deve-se clicar com o botão direito do mouse em qualquer parte da janela principal do aplicativo e marcar a opção “*Spatial Analyst*”. Selecionar o arquivo *raster* resultante da análise do mosaico da paisagem e clicar na opção “*Create histogram*”; conforme ilustrado na Figura 24 (a).

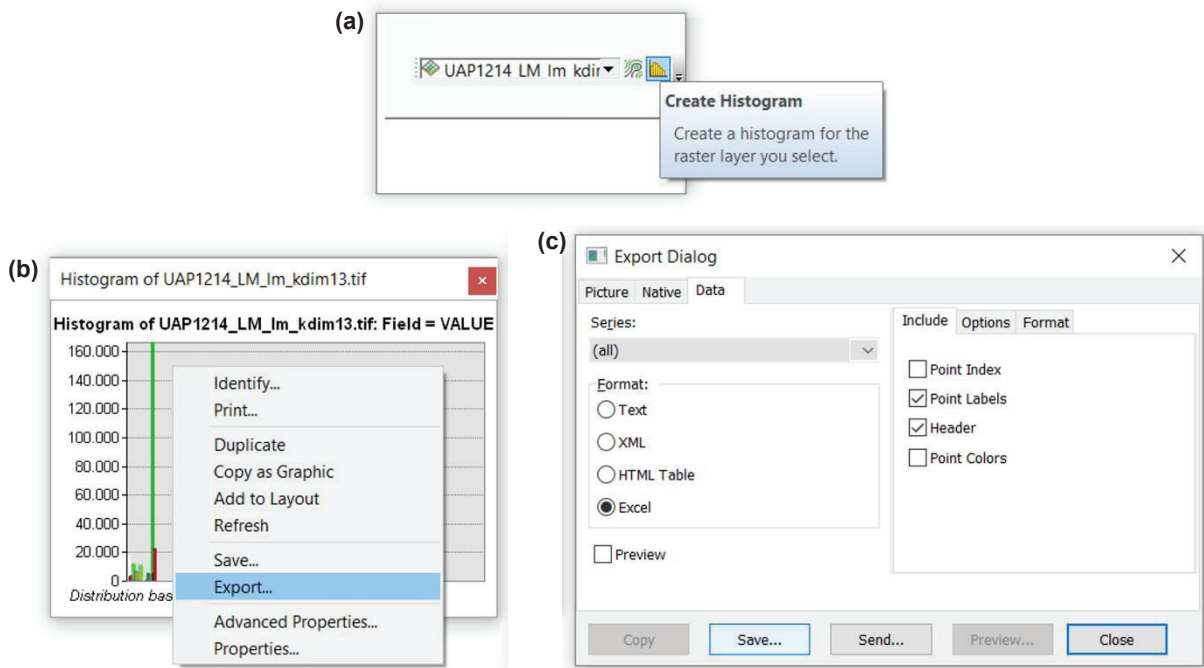


Figura 24. Janelas do ArcMap utilizadas na geração do histograma da imagem *raster* resultante da análise do mosaico da paisagem, com auxílio da ferramenta “*Spatial Analyst*” (a) e a posterior exportação dos dados (b) em formato de planilha *Excel* (c).

- e. Clicar com o botão direito do *mouse* no histograma gerado e selecionar a opção “*Export*” (Figura 24 (b)). Em seguida uma nova janela será aberta, onde deve-se selecionar a opção de formato de arquivo *Excel*, na aba “*Data*”, e os dados poderão ser salvos clicando-se no botão “*Save...*” (Figura 24 (c)), indicando-se o local de armazenamento e definindo-se o nome do arquivo a ser gerado.

A agregação das 19 classes do mosaico da paisagem ilustradas na Figura 19 em quatro classes de contexto da paisagem, como na Figura 25, item (a), permite identificar se a paisagem da UAP em questão é dominada por um dos três tipos de cobertura generalizados, ou se não há dominância de nenhum nas classes gerais (natural, agrícola ou urbano), compondo uma paisagem de influência mista. No caso da UAP1214, por exemplo, considerando toda a área da UAP analisada, exceto *missing data* (corpos d’água ou nuvens), aproximadamente 75% da área mapeada está contida em um contexto da paisagem com dominância de cobertura natural/seminatural (Figura 26).

O modelo de Mosaico da Paisagem utilizado pelo software *GuidosToolbox* é implementado classificando a paisagem em torno de cada pixel, e mapeando o mosaico da paisagem em nível de pixel, o que possibilita subseqüentes sobreposições geográficas para extrair informações estatísticas específicas para classes de interesse (Riitters et al., 2009). No caso da componente de paisagem do IFN-BR, a classe focal de interesse é composta pela área de cobertura arbórea/arbustiva natural, que contempla as classes de uso e cobertura da terra “Floresta Natural” (1), “Outras terras com Vegetação Lenhosa” (2) e “Outras terras com Árvores” (3).

Considerando que as classes de maior interesse do IFN-BR são as que contém cobertura arbórea/arbustiva, utilizou-se uma estratificação temática, obtida pelo cruzamento das camadas de informação do mosaico da paisagem e de uso e cobertura da terra, visando extrair os valores dos pixels do mosaico da paisagem correspondentes às classes de interesse. Dessa maneira, é possível avaliar o percentual da classe de interesse composta por paisagens dominadas por uso e cobertura do tipo

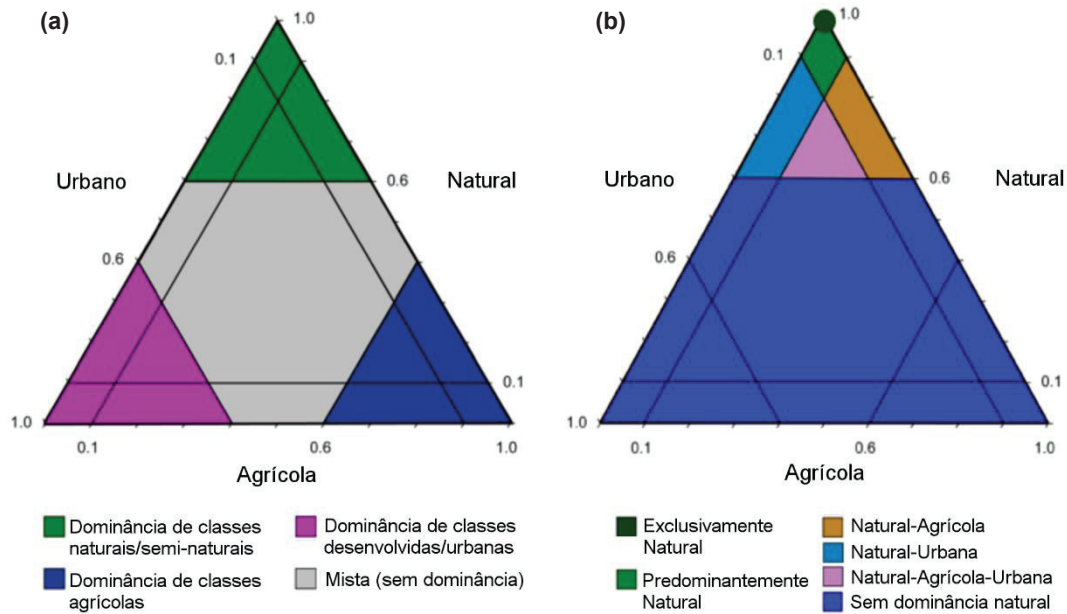


Figura 25. As 19 classes do mosaico foram condensadas em quatro classes, para realçar o contexto da paisagem, no item (a); as 19 classes do mosaico da paisagem foram condensadas em seis classes para realçar mosaicos de paisagem inseridos em um contexto natural, no item (b).

Fonte: Riitters et al. (2009).

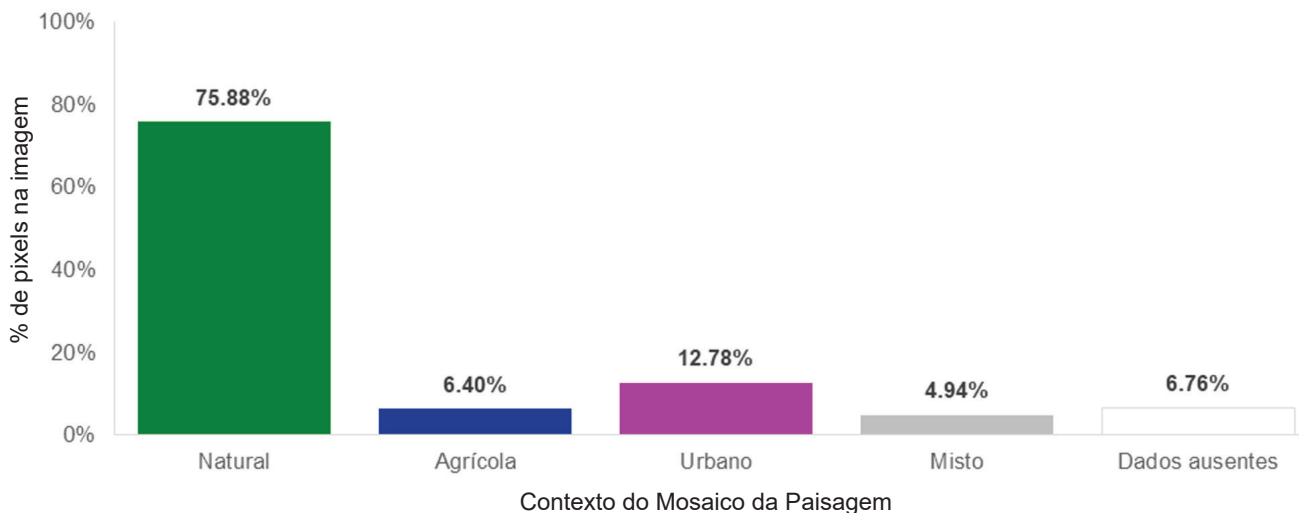


Figura 26. Gráfico de distribuição da proporção de classes do contexto do mosaico da paisagem para a UAP1214, identificando que essa UAP está inserida em uma paisagem de classes predominantemente naturais.

natural, agrícola ou urbano e também quanto da classe focal está inserida em paisagens onde não há predominância de nenhum uso específico (conforme ilustrado na Figura 25, item (a)). Da mesma forma, pode-se avaliar a proporção da classe de interesse inserida em um contexto onde predominam apenas as classes naturais do mosaico (Figura 25, item (b)) (Riitters et al., 2009).

Para realizar essa intersecção deve-se proceder da seguinte maneira:

- No *ArcMap*, criar um novo projeto contendo as camadas referentes ao mapa de uso e cobertura da terra (formato *shapefile*) e mapa do mosaico da paisagem, gerado por meio do software *GuidosToolbox* (formato *raster*).

- b. Utilizando a ferramenta “*Raster to Polygon*” (“*ArcToolBox > Conversion Tools > From Raster > Raster to Polygon*”), converter o arquivo *raster* para o formato *shapefile*, desmarcando a opção “*Simplify polygons (optional)*”.
- c. Por meio da ferramenta “*Selection by Attribute*” (localizada na aba “*Selection*” do menu principal do *programa*), selecionar no arquivo *shapefile* correspondente ao mapa de uso e cobertura da terra apenas classes correspondentes à cobertura arbórea/arbustiva: 1 (Floresta Natural), 2 (Outras terras com Vegetação Lenhosa) e 3 (Outras terras com Árvores): “LULC” = 1 OR “LULC” = 2 OR “LULC” = 3.
- d. Após efetuada a seleção, aplicar a ferramenta “*Intersect*” (“*ArcToolBox > Analysis Tools > Overlay > Intersect*”), utilizando como *inputs* os arquivos *shapefile* correspondentes ao mapa de uso e cobertura da terra (com as classes de interesse selecionadas) e o mapa do mosaico da paisagem.
- e. Na tabela de atributos do arquivo gerado após a utilização da ferramenta “*Intersect*”, criar um novo campo (AREA_ha) e calcular a área de cada polígono em hectares.
- f. Como “*Input Table*” para a ferramenta “*Summary Statistics*” (“*ArcToolBox > Analysis Tools > Statistics > Summary Statistics*”), utilizar a tabela de atributos com as áreas calculadas. Escolher o campo “AREA_ha” para “*Field*”, “SUM” para “*Statistic Type*” e o campo “GRIDCODE” para “*Case field (optional)*”.
- g. Esse procedimento irá gerar uma tabela contendo os dados sumarizados para as áreas de cada classe do mosaico da paisagem contida dentro da área de interesse.
- h. Usando qualquer aplicativo de planilha eletrônica é possível calcular a proporção (percentual) da área ocupada por cada classe do mosaico da paisagem em relação à área de cobertura arbórea/arbustiva da UAP em questão.

Para a UAP1214, os valores obtidos, apresentados na Figura 27, indicam que mais de 80% de toda a área de cobertura arbórea/arbustiva natural da UAP possui em sua vizinhança próxima (0,42 hectares) paisagens onde não há evidência de uma zona de interface antrópica (classe NN do mosaico da paisagem).

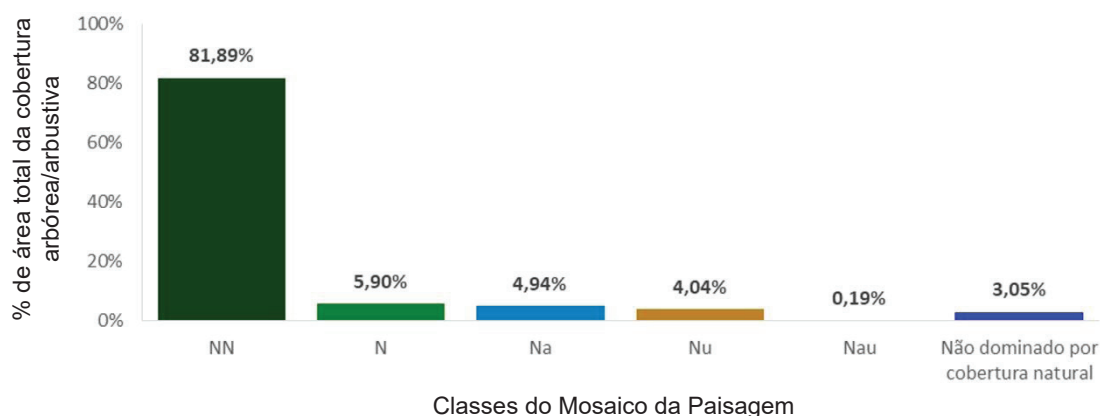


Figura 27. Percentual de ocupação das classes do mosaico da paisagem predominantemente naturais, para a área de cobertura arbórea/arbustiva natural na UAP1214.

1.3.3.1 Índices de mosaico da paisagem

Os índices de mosaico da paisagem são calculados pela soma dos percentuais de ocupação das classes de mosaico da paisagem no que se refere à cobertura arbórea/arbustiva natural e agrupados em três categorias adaptadas daquelas originalmente propostas por Estreguil e Mouton (2009) e Estreguil et al. (2014), expressos em valores percentuais, adimensionais, variando de 0 a 100, conforme exposto na sequência:

- **Padrão de paisagem florestal natural** (*Natural forest landscape pattern*): índice originado da soma dos percentuais de NN e N. Representa florestas com no mínimo 80% de cobertura natural/seminatural e menos de 10% de áreas urbanizadas ou com agricultura e pastagem em seu entorno; considera-se para os habitats florestais e espécies contidos nesse tipo de paisagem nenhum efeito de borda derivado de terras agrícolas ou áreas antrópicas, pois as zonas de interface da floresta com outros tipos de uso são naturais.
- **Padrão de paisagem florestal mista** (*Mixed forest landscape pattern*): índice originado da soma dos percentuais de Nu, Nau e Na. Representa florestas com variação de 89% a 60% de cobertura florestal natural/seminatural, e mais de 10% de áreas antrópicas ou terras agrícolas em seu entorno; habitats florestais e espécies contidas nesse padrão misto de paisagem (zonas de interface mista) estão potencialmente sofrendo efeitos de borda pela presença de áreas agrícolas ou urbanizadas.
- **Paisagem florestal com algum elemento natural** (*“Some natural” forest landscape*): índice originado da soma dos percentuais das demais classes (AA, A, An, Aun, Au, UU, U, Un, Uan, Ua, aun, un, an e au). Indica habitats florestais e espécies inseridas em uma paisagem predominantemente não florestal, e que, muito provavelmente, encontram-se sob o efeito de borda dominante de terras agrícolas e/ou urbanizadas.

Para a UAP1214, utilizada como exemplo, os índices de mosaico na paisagem apresentaram os valores descritos na Tabela 8:

Tabela 8. Índices de Mosaico da Paisagem da UAP 1214.

Mosaicos Predominantes na cobertura arbórea/arbustiva da Paisagem	Classes de LM	Índices de Mosaico na Paisagem (%)
Padrão de paisagem florestal natural	NN e N	87,78
Padrão de paisagem florestal mista	Nu, Nau e Na	9,17
Paisagem florestal com algum elemento natural	AA, A, An, Aun, Au, UU, U, Un, Uan, Ua, aun, un, an e au	3,05

1.4 Modelo de interface de bordas

A importância da análise de Interface de Bordas reside no fato de que a fragmentação está relacionada à mudança do uso e cobertura da terra de áreas adjacentes a fragmentos florestais, de forma que esse indicador permite avaliar a susceptibilidade a que estão submetidas as bordas dos fragmentos, quanto à pressão antrópica imposta por outros tipos de uso e cobertura. A permeabilidade das zonas de interface para a dispersão de espécies depende da similaridade dos tipos de habitat adjacentes e é provavelmente maior no caso de interfaces de bordas naturais. Assim, índices de proporção de bordas, conectores e ramificações e ilhas de vegetação com interfaces naturais mais altos, representam situações mais favoráveis.

1.4.1 Aplicação da abordagem do modelo de interface de bordas

O modelo de interface de bordas é derivado da integração do mosaico da paisagem e do modelo de MSPA (Estreguil et al., 2014), sendo caracterizado de acordo com a similaridade de habitats adjacentes (se a interface entre as bordas da cobertura arbórea/arbustiva ocorre com áreas naturais e seminaturais, ou mais antrópicas e artificiais). Sendo assim, para elaboração do mapa de Interface de Bordas, deve-se sobrepor as imagens resultantes das análises MSPA e do mosaico da paisagem (LM) e utilizar uma nova codificação para as classes, conforme descrito na sequência:

- Abrir os arquivos do tipo *raster*, em formato *GeoTiff*, gerados pelo *GuidosToolbox* para o MSPA e o LM, no programa *ArcMap* e converter ambos para formato de arquivo vetorial, utilizando a ferramenta “*Raster to polygon*”, sem a suavização de linhas.
- Executar a união dos arquivos vetoriais do MSPA e do LM utilizando a ferramenta “*Union*”, gerando um arquivo vetorial contendo tanto os códigos das classes referentes à segmentação MSPA quanto aquelas relativas às classes de mosaico da paisagem (LM), em sua tabela de atributos.
- Criar três novos campos, do tipo “*Short integer*”, na tabela de atributos do arquivo originado pelo processo de união: “*MSPA_Code*”, “*LM_Code*” e “*EDGE_Code*”. Em seguida, deve-se identificar na tabela de atributos qual coluna corresponde aos códigos da segmentação MSPA (variam de 0 a 169) e do LM (variam de 0 a 19) e copiar para os campos correspondentes recém-criados.
- Utilizando a ferramenta “*Selection by Attributes*” selecionar os itens de acordo com o exposto na Tabela 9. Demonstra-se na Figura 28 (a) como realizar a seleção dos itens correspondentes à classe “*Core*” na codificação para o Modelo de Interface de Bordas. Por meio da ferramenta deve-se selecionar os polígonos que possuem classe de MSPA igual a “*Core*” (código 116, 16, 117, 17, 118 ou 18) nas mesmas áreas em que as classes da análise LM são iguais a “*N*”, “*Na*”, “*Nd*” ou “*NN*” (códigos iguais a 3, 8, 9 ou 17).

Tabela 9. Codificação das classes MSPA e LM nas UAPs de acordo com as classes para a análise de Interface de Bordas.

Valor de codificação do modelo de interface de bordas	Classe de Interface de Bordas	Classe MSPA	Classe de mosaico da paisagem
1	Habitat interior (<i>Core</i>)	116/16; 117/17; 118/18	3; 8; 9; 17
2	Cobertura não florestal (<i>Background</i>)	100; 0	0 a 19
3	Borda com interface “natural” (BO_{NN})	105/5; 103/3	17
4	Borda com interface “artificial” (BO_o)	105/5; 103/3	0 a 16; 18 a 19
5	Conectores e ramificações com interface “natural” (CO_{NN})	165/65; 167/67; 169/69; 133/33; 135/35; 137/37; 101/1	17
6	Conectores e ramificações com interface “artificial” (CO_o)	165/65; 167/67; 169/69; 133/33; 135/35; 137/37; 101/1	0 a 16; 18 a 19
7	Ilhas de vegetação com interface “natural” (IS_{NN})	109/9	17
8	Ilhas de vegetação com interface “artificial” (IS_o)	109/9	0 a 16; 18 a 19
9	Dados ausentes	129	-

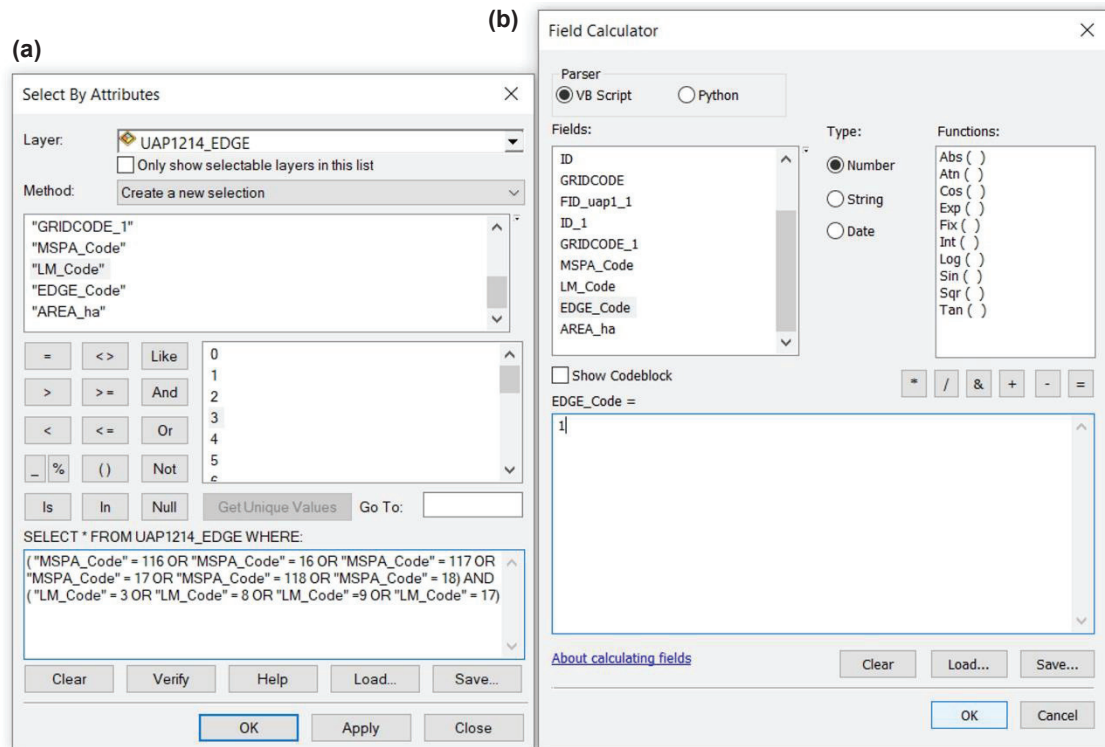


Figura 28. Janelas do ArcMap mostrando o processo de (a) seleção por atributo das áreas Core para o modelo de Interface de Bordas, utilizando a associação dos códigos oriundos do MSPA e do LM; bem como (b) a janela da calculadora de campo para o preenchimento da coluna criada para a nova codificação.

- e. Preencher na tabela de atributos a coluna “EDGE_Code” com o código correspondente à seleção realizada – no caso do exemplo refere-se ao código “1”, como exibido na Figura 28 (b).
- f. Realizar a seleção e a codificação da tabela de atributos para todos os valores das diferentes classes do modelo de Interface de Bordas, seguindo a mesma lógica da Figura 28.
- g. Para elaboração do mapa de Interface de Bordas e diferenciação das classes deve-se utilizar a escala de cores exposta na Tabela 10. Abrir a janela de propriedades da camada vetorial (“Layer Properties”) com um duplo clique sobre ela no menu “Table of Contents” do ArcMap e selecionar a aba “Symbology” para definição da legenda, ilustrada na Figura 29 (a). Na referida aba selecionar a opção de legenda por “Categories” utilizando “Unique values” de um campo. Para o “Value Field” selecionar o campo contendo a codificação para o Modelo de Interface de Bordas – no caso do exemplo seria o campo “EDGE_Code”; clicar em “Add All Values”. Serão atribuídas diferentes cores para cada classe.
- h. Para a edição das cores das classes de acordo com a legenda proposta, deve-se dar um duplo clique na cor/classe que se deseja alterar. A janela “Symbol Selector” será aberta. Clicar na opção “Fill Color” e então em “More Colors...” (Figura 29 (b)). A janela “Color Selector” se abre (Figura 29 (c)), permitindo a seleção dos valores no modelo RGB de cores e a codificação de cada classe conforme apresentado na Tabela 10. Deve-se manter o valor de “Outline Color” igual a zero, para todas as classes.
- i. Definida a codificação correta para cada classe da legenda, aplicar as alterações ao mapa clicando-se em “OK”, na janela “Layer Properties”. Na janela principal do ArcMap será apresentado o mapa de acordo com a legenda definida para o modelo de Interface de Bordas.

Tabela 10. Codificação da legenda, valores no modelo RGB e tonalidade de cores das classes para elaboração do mapa de Interface de Bordas.

Valor de codificação	Classe de Interface de Bordas	R	G	B	Cor
1	Habitat interior (<i>Core</i>)	225	225	225	
2	Cobertura não florestal (<i>Background</i>)	255	255	255	
3	Borda com interface "natural" (BO _{NN})	115	178	225	
4	Borda com interface "artificial" (BO _o)	190	210	255	
5	Conectores e ramificações com interface "natural" (CO _{NN})	223	115	255	
6	Conectores e ramificações com interface "artificial" (CO _o)	232	190	255	
7	Ilhas de vegetação com interface "natural" (IS _{NN})	255	211	127	
8	Ilhas de vegetação com interface "artificial" (IS _o)	255	235	175	
9	Dados ausentes	178	178	178	

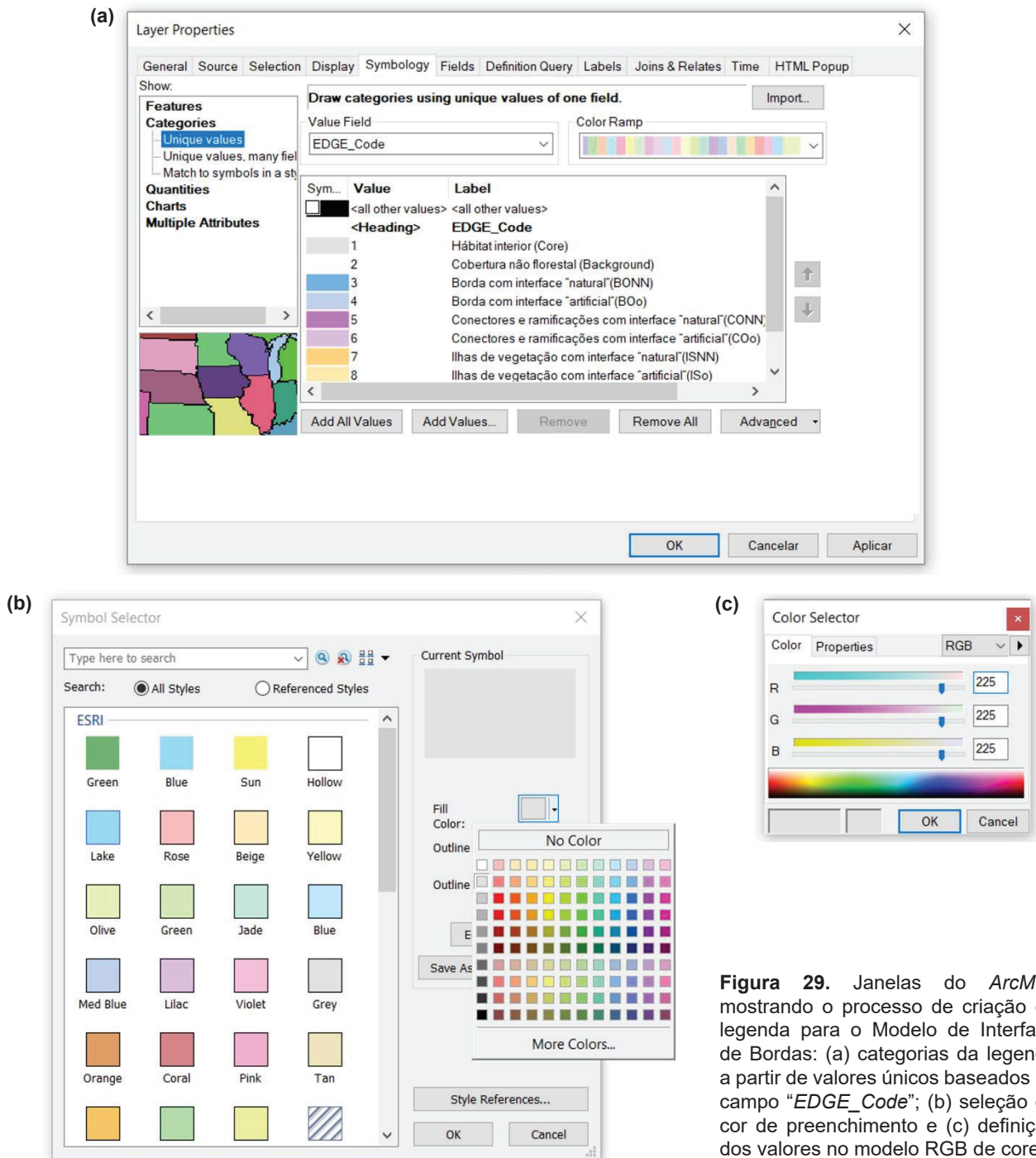


Figura 29. Janelas do *ArcMap* mostrando o processo de criação da legenda para o Modelo de Interface de Bordas: (a) categorias da legenda a partir de valores únicos baseados no campo "EDGE_Code"; (b) seleção da cor de preenchimento e (c) definição dos valores no modelo RGB de cores.

1.4.2 Resultados do modelo de interface de bordas

Após definida e aplicada a correta legenda do modelo de interface de bordas, conforme definido no item anterior, obtém-se como resultado o Mapa de Interface de Bordas (Figura 31), podendo-se então calcular a área ocupada por cada classe, conforme descrito a seguir:

- Adicionar à tabela de atributos desta camada vetorial uma nova coluna ("AREA_ha") do tipo *Double* com precisão (*Precision*) e escala (*Scale*) iguais a 20 e 10 unidades, respectivamente. Com o botão direito do *mouse*, clicar na nova coluna criada e utilizar a ferramenta "*Calculate Geometry...*" para calcular a área de cada polígono em hectares, conforme demonstrado na Figura 30 (a).

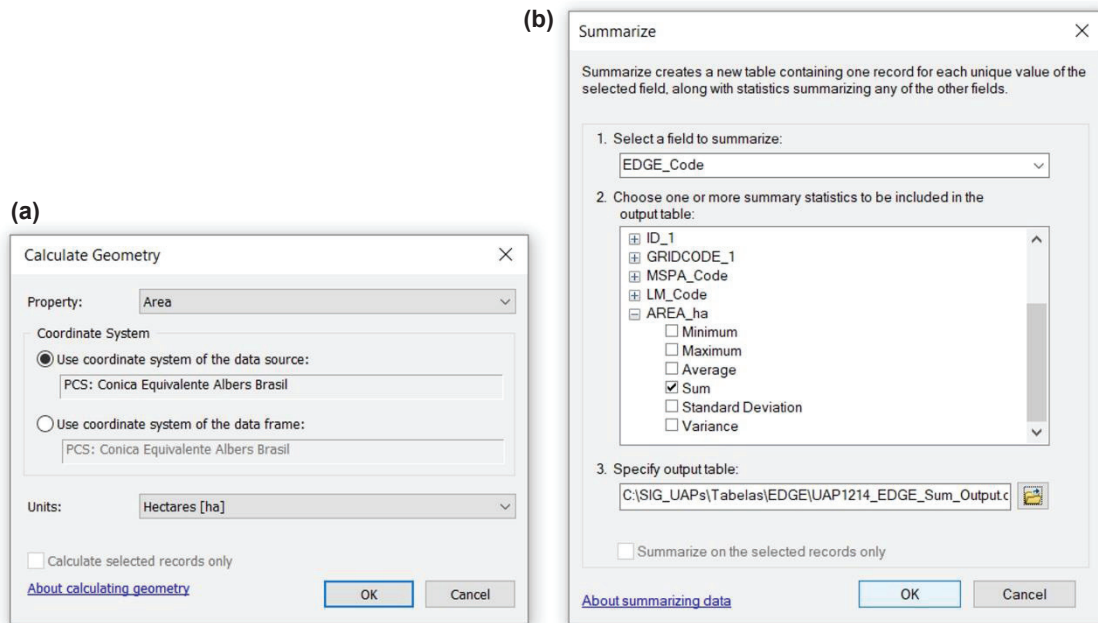


Figura 30. Janelas do ArcMap para o cálculo da área dos polígonos em hectares, por meio da ferramenta “*Calculate geometry*” (a), e a sumarização das áreas de cada classe do modelo de Interface de Bordas, por meio da ferramenta “*Summarize*” (b).

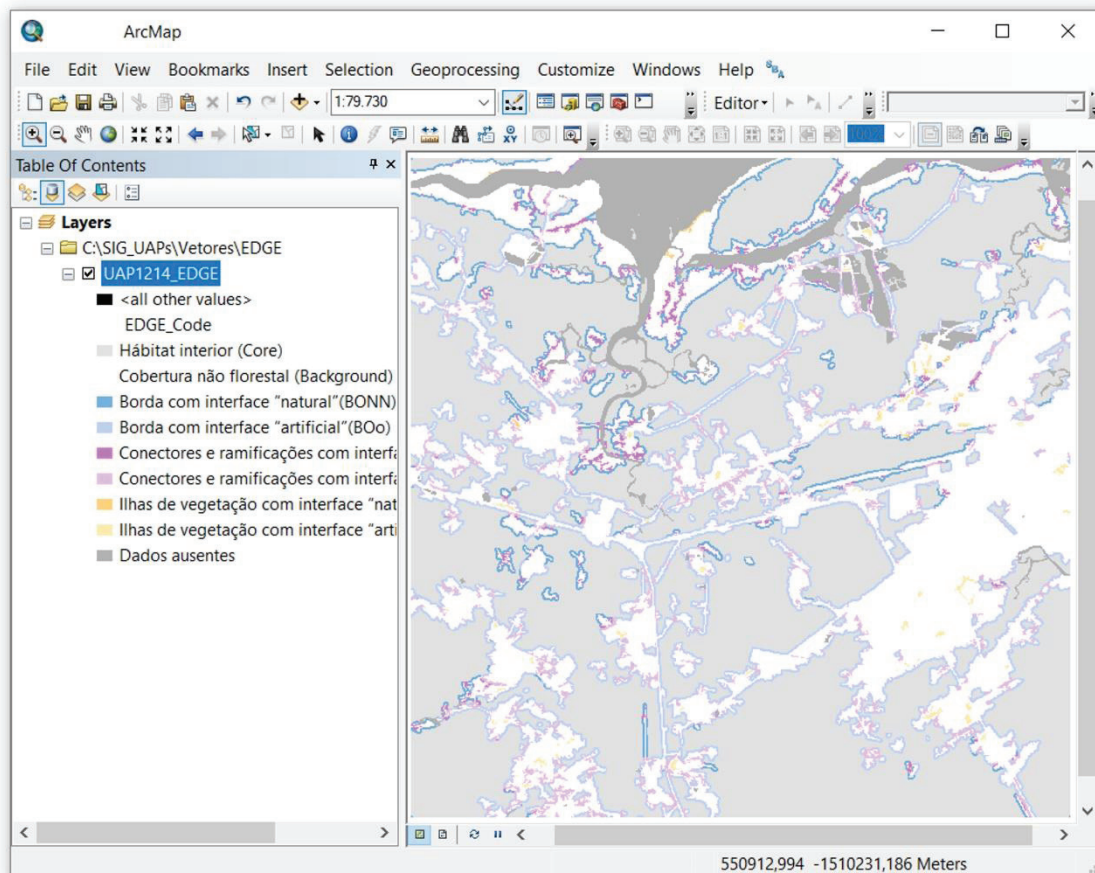


Figura 31. Resultado do Modelo de Interface de Bordas para a UAP1214.

- b. Novamente clicar com o botão direito na coluna correspondente à área em hectares e selecionar a opção “*Summarize*”. No campo “1. *Select a field to summarize:*” escolher a coluna com a codificação para a Interface de Bordas, e no campo “2” escolher a opção “*Sum*” para a coluna correspondente às áreas, da mesma maneira como ilustrado na Figura 30 (b). Essa ferramenta irá criar uma nova tabela (em formato dBASE) contendo a soma das áreas para cada uma das classes de Interface de Bordas.
- c. A partir destes dados, pode ser gerada uma visualização gráfica dos valores obtidos. O gráfico ilustra as proporções, em percentual, da superfície ocupada pelas diferentes classes de interface de borda. Como exemplo, é apresentado o gráfico que ilustra a frequência simples das classes de interface de borda na UAP1214 (Figura 32).

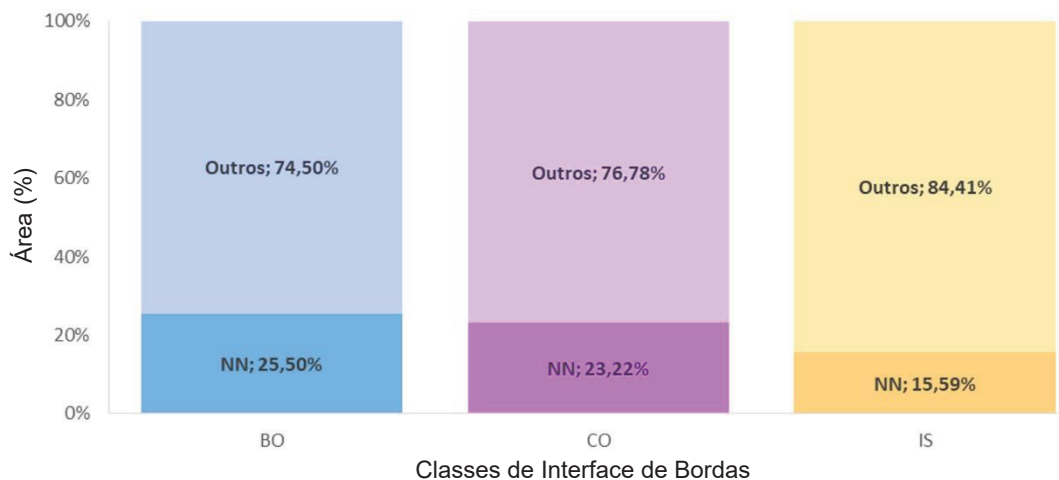


Figura 32. Gráfico ilustrando a frequência das classes de Interface de Bordas na UAP1214, de acordo com os resultados obtidos a partir da sumarização das áreas do mapa, onde BO = Bordas, CO = Conectores, IS = Ilhas, NN = interface natural.

1.4.2.1 Índices derivados do modelo de interface de bordas

Derivam desta análise seis índices adimensionais, expressos em percentagem e com amplitude de zero a 100%:

- Proporção de bordas com interface natural (BO_{NN}).
- Proporção de bordas com interface artificial (BO_O).
- Proporção de conectores e ramificações com interface natural (CO_{NN}).
- Proporção de conectores e ramificações com interface artificial (CO_O).
- Proporção de ilhas de vegetação com interface natural (IS_{NN}).
- Proporção de ilhas de vegetação com interface artificial (IS_O).

Como exemplo são apresentados os resultados obtidos para a UAP1214, que possui interfaces predominantemente artificiais, tanto com relação a suas bordas (74,50%), quanto conectores (76,78%) e ilhas (84,41%), como se pode analisar na Tabela 11.

Tabela 11. Índices baseados na Interface de Bordas.

Índices baseados na interface de bordas	Índices de mosaico na paisagem (%)
BO_{NN}	25,50
BO_O	74,50
CO_{NN}	23,22
CO_O	76,78
IS_{NN}	15,59
IS_O	84,41

1.5 Análise de conectividade

Os resultados da análise MSPA podem ser convertidos em uma “rede” para posterior análise no aplicativo *Conefor Sensinode* (Saura; Torné, 2009), que se baseia na teoria dos grafos. São considerados grafos, nesta abordagem, os conjuntos de nós e conexões de forma que cada conexão conecta dois nós. Os nós representam unidades propícias de habitat cercados de áreas inabitáveis, enquanto as conexões simbolizam a habilidade potencial da dispersão direta das espécies entre dois nós (por meio de um corredor, por exemplo) (Saura; Torné, 2009). No caso da abordagem adotada para a análise da conectividade das UAPs, uma “rede” é composta de áreas de habitat interior (“nós”) e de pontes (“conexões” entre áreas de habitat interior diferentes), resultantes da MSPA, sendo as demais classes MSPA negligenciadas. Um conjunto de nós conectados e suas conexões denomina-se “Componente”. No *GuidosToolbox* estão disponíveis, após a segmentação MSPA, algumas ferramentas para a obtenção de informações a respeito das redes de fragmentos de vegetação arbórea/arbustiva natural na paisagem, descritos a seguir.

1.5.1 Componentes da rede (*NW Components*)

Partindo-se do resultado da segmentação MSPA podem ser identificados os componentes da rede, compostos apenas pelas classes de habitat interior e pontes (*Core e Bridge*), utilizando-se o comando *Image Analysis > Network > NW Components*, como demonstrado na Figura 33.

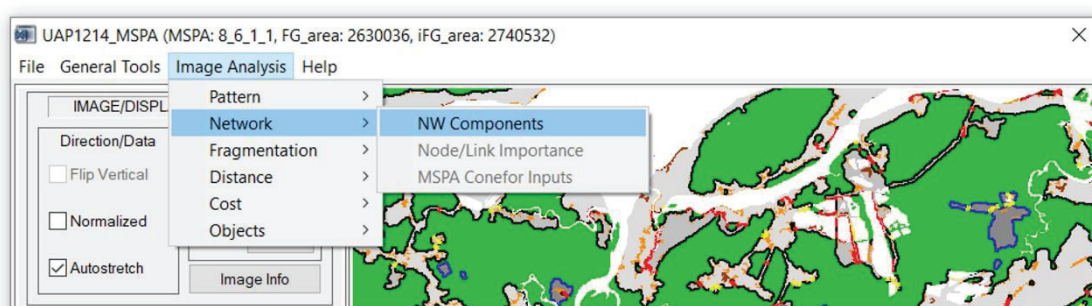


Figura 33. Posicionamento do botão de ativação que permite a identificação dos componentes da rede de fragmentos florestais na UAP (*NW Components*).

O resultado da identificação de cada componente da paisagem é apresentado na janela principal do programa, onde os componentes individuais da rede são exibidos com cores alternadas e podem ser consultados os valores do identificador único de cada componente (*ID*), bem como sua área total (em pixels) e a contribuição de cada conexão à conectividade da paisagem, conforme ilustrado pela Figura 34, item 1. Nessa representação, a cor preta é usada para componentes compostos apenas por nós, sem conexões.

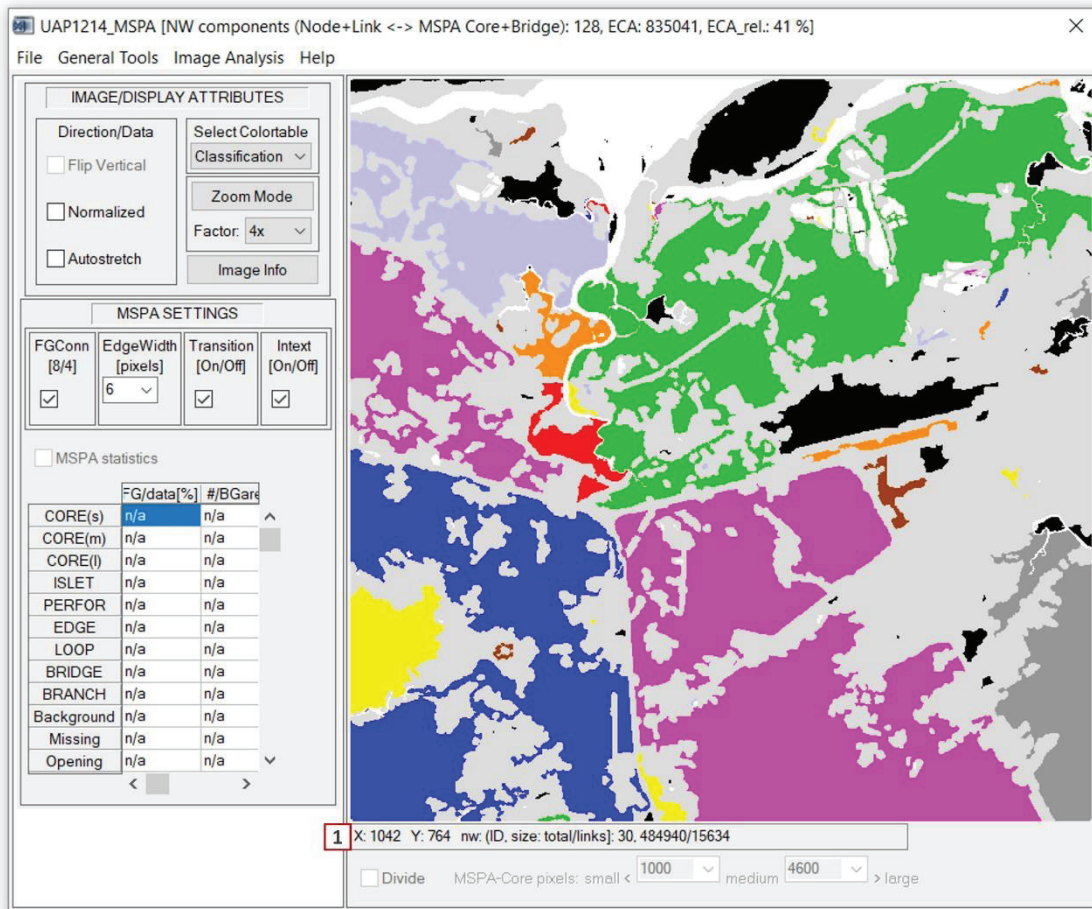


Figura 34. Janela principal do *GuidosToolbox* mostrando o resultado da identificação dos componentes que compõem o *foreground* da paisagem da UAP1214 (*NW Components*).

O resultado desta operação pode ser armazenado a partir do *menu* “*File > Save Image > GeoTiff*”, de forma que três arquivos são produzidos: um arquivo de imagem contendo os gráficos visualizados na tela do *GuidosToolbox*, em formato tif (<name>_nw.tif); um segundo arquivo de imagem com os identificadores (*IDs*) dos componentes armazenados nos valores dos pixels, também em formato tif (<name>_nw_nwdata.tif); e, o terceiro, um arquivo de texto contendo o número de componentes, o *ECA* total (*Equivalent Connected Area*) e o *ECA* relativo (percentual), a área de habitat interior (*core*) e o número de conexões de cada componente, em formato txt (<name>_nw_stat_txt). O arquivo de texto gerado ao salvar a imagem dos componentes da rede da UAP1214 é apresentado na Figura 35. Todos os componentes da rede são elencados, juntamente com a área (em pixels) e o número de conexões de cada componente.

```
Network analysis results using: UAP1214_MSPA_8_6_1_1
[NW components (Node+Link <-> MSPA Core+Bridge): 128, ECA: 835041, ECA_rel.: 41 %]
```

Component	Size: total	links
1	370074	8841
2	1	0
3	816	549
4	354	0
5	5938	515
6	537402	2744
7	125743	2499
8	224	0
9	44	0
10	1	0

Figura 35. Arquivo de saída gerado pela operação que permite o cálculo dos componentes da rede, sua área (em pixels) e suas respectivas conexões, para a UAP1214.

Tanto o ECA quanto o ECA_rel descrevem o grau de conectividade da rede na imagem. O ECA é medido em unidades de área, (em hectares, ou, no caso genérico, em unidades de pixel), e é calculado a partir da raiz quadrada de PC_{num} (Equação 1), a conectividade geral da rede. O ECA_rel, por sua vez, representa o ECA relativo, ou normalizado, expresso em percentual, com respeito ao ECA_{max} , (Equação 2), quando todos os componentes estão totalmente conectados. O ECA_rel também é conhecido como quantidade de habitat acessível (*amount of reachable habitat* (ARH)) ou percentagem de habitat acessível (*percentage of reachable habitat* (PRH)).

$$PC_{num} = \sum_{i=1}^N (\text{node area of component}_i)^2 \quad \text{Equação (1)}$$

$$ECA_{max} = \sum_{i=1}^N (\text{node area of component}_i) \quad \text{Equação (2)}$$

1.5.2 Importância dos nós e conexões

Após o cálculo dos componentes da paisagem (*NW Components*), pode ser determinada a importância das conexões existentes em cada nó, ativando-se o comando *Image Analysis > Network > Node/Link Importance* (Figura 36). Este comando só pode ser ativado após o cálculo dos componentes, conforme anteriormente demonstrado.

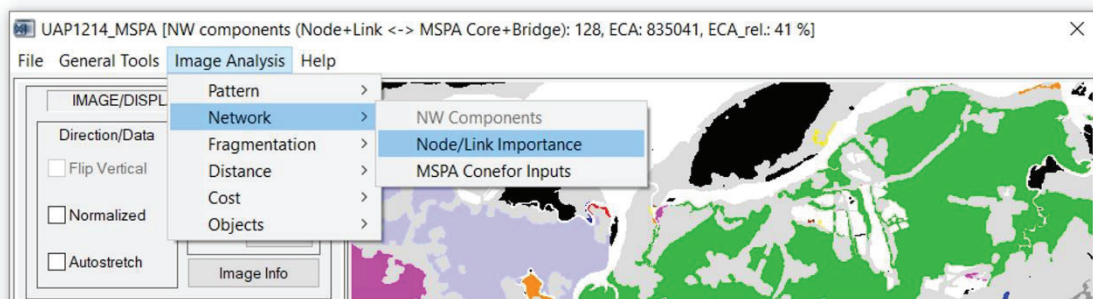


Figura 36. Localização da ferramenta para o cálculo da importância das conexões dos componentes da rede na UAP (*Node/Link Importance*).

Esta opção permite calcular a importância da conectividade de todo e cada nó e toda e cada conexão da rede. O resultado do cálculo da importância das conexões de cada nó (habitat interior) da rede é apresentado na Figura 37, onde pode ser consultado o identificador de cada nó, sua conectividade absoluta e relativa, na janela de informações indicada pelo item 1.

Ao armazenar a imagem resultante por meio do *menu File > Save Image > GeoTiff*, são gerados e armazenados, também, outros três arquivos além da imagem em formato tif (<name>_cs.tif), visualizada na janela principal do *GuidosToolbox*: um arquivo de imagem, em formato tif, contendo a importância da conectividade para cada nó e cada conexão (<name>_cs_conn.tif); outro arquivo de imagem tif, contendo identificadores únicos para cada nó e cada conexão, onde os nós são representados por valores negativos, para diferenciá-los das conexões (<name>_cs_ids.tif); e um arquivo do tipo texto, contendo o número de componentes, nós e conexões da rede, o número de conexões

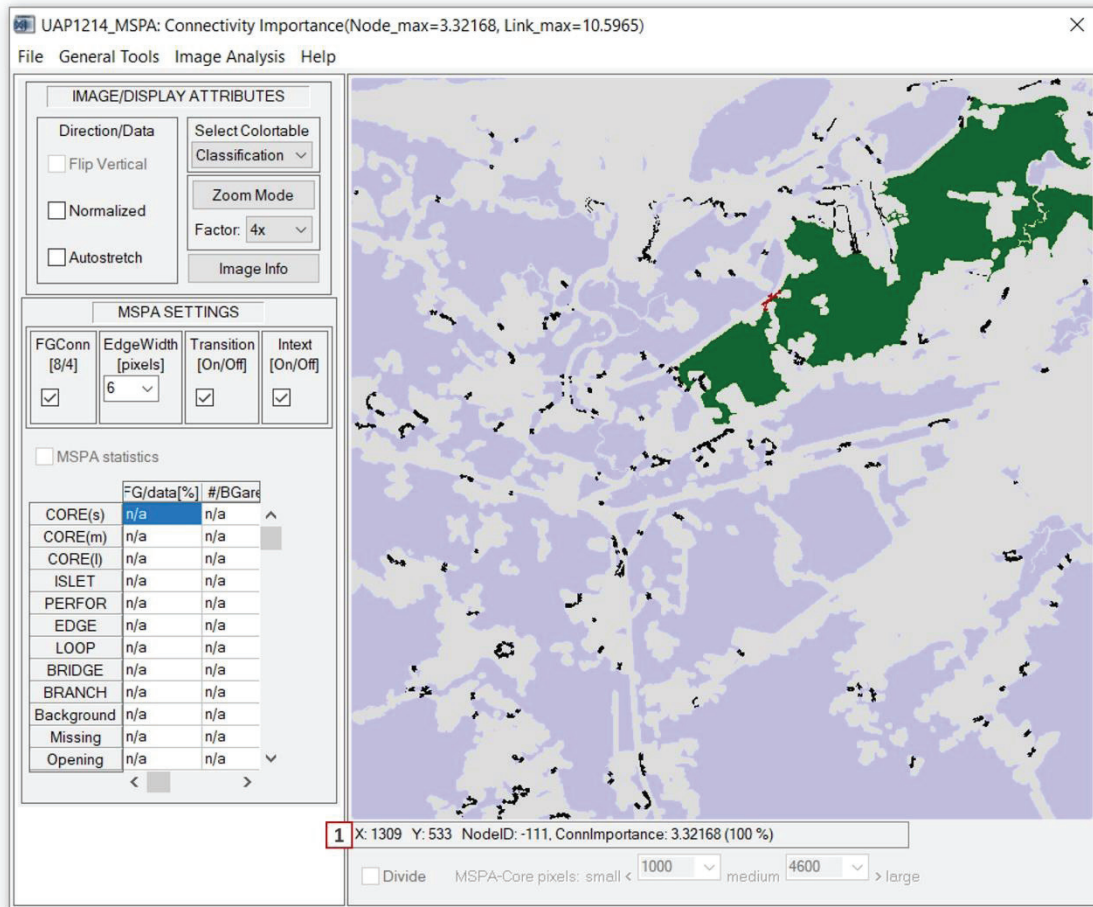


Figura 37. Resultado da identificação dos componentes que compõem o *foreground* da paisagem da UAP1214.

e nós de cada componente, o número total de pixels de cada componente, dos nós e das conexões seguidos das informações individuais dos nós e das conexões de cada componente, como o identificador, número de pixels, a diferença de probabilidade de conectividade *dPC* (*delta probability of connectivity*), para cada componente, e a importância de cada conexão (<name>_cs_stat).

Como se pode observar na Figura 38 (a), que apresenta os resultados obtidos para o cálculo da importância dos nós e conexões da rede da UAP1214, o componente número 1 é formado por 29 conexões (*links*) e 27 nós (*nodes*), e tem área igual a 370.074 pixels (ou 925,185 hectares, já que a área do pixel das imagens *RE* no terreno é igual a 25 m²). Na mesma figura, item (b), pode-se ainda observar que o componente 4 representa um nó que não possui conexões com outros componentes, e tem área igual a 354 pixels. Ainda na Figura 38 (c) são apresentados os resultados obtidos para o componente número 36, a listagem de todos os nós (com o sinal negativo antecedendo o identificador de cada nó) e as conexões de cada componente. Estas informações estão presentes no arquivo para todos os 128 componentes da rede.

A partir desses dados é possível gerar um mapa contendo os nós e conexões presentes em cada UAP, e sua respectiva graduação em termos de importância na paisagem, de acordo com o índice denominado diferença de probabilidade da conectividade *dPC* (*delta probability of connectivity*). Os valores de *dPC* para cada nó e conexão são calculados com base no decréscimo de conectividade que seria verificado para uma determinada paisagem com a remoção do referido nó ou conexão.

Assim, a partir do arquivo de texto contendo os resultados de cada componente, associado à imagem que contém os identificadores únicos para cada nó e cada conexão, pode-se gerar um novo

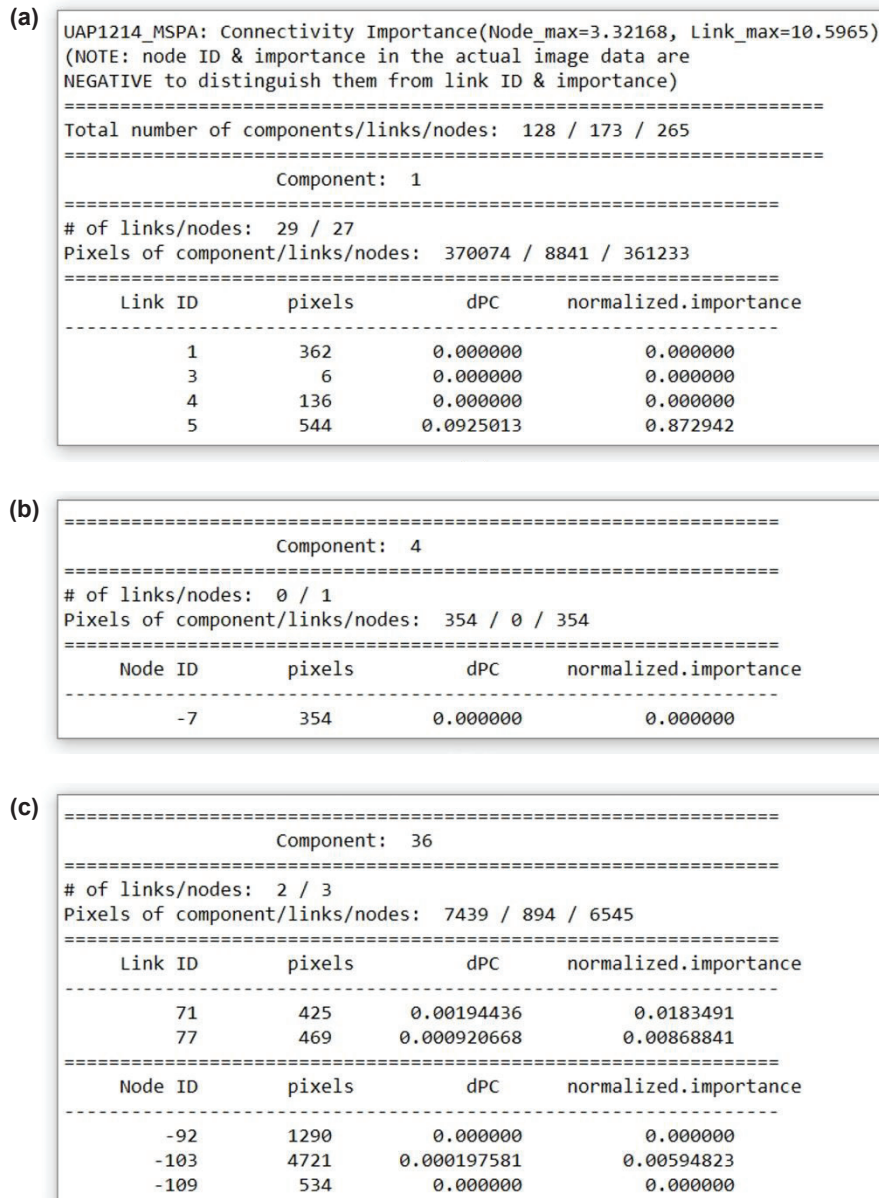


Figura 38. Arquivo de saída gerado para a UAP 1214 pela operação que permite o cálculo da diferença de probabilidade de conectividade *dPC* e da importância normalizada dos nós e das conexões da rede, o número de conexões de cada componente, e sua área (em *pixels*).

mapa, ilustrando a importância dos conectores existentes na paisagem (Figura 39), conforme descrito a seguir:

- Transferir os dados presentes no arquivo de texto para uma planilha, contendo quatro campos: ID (*Link ID/Node ID*); *pixels*; *dPC*; e *normalized.importance*. Salvar e abrir no *ArcMap*.
- No *ArcMap*, abrir a imagem resultante do cálculo da importância das conexões e dos nós da rede contendo os códigos de identificação, anteriormente descrita (arquivo de nome com sufixo “_cs_ids.tif”). Converter esse arquivo *raster* para o formato *shapefile*, por meio da ferramenta “*Raster to Polygon*”.
- Utilizando a ferramenta “*Selection by Attributes*”, localizada na janela “*Selection*” do *menu* principal do *ArcMap*, selecionar os elementos do arquivo *shapefile* contendo a importância das conexões e dos nós da rede que possuam valores negativos na coluna “*GRIDCODE*”.

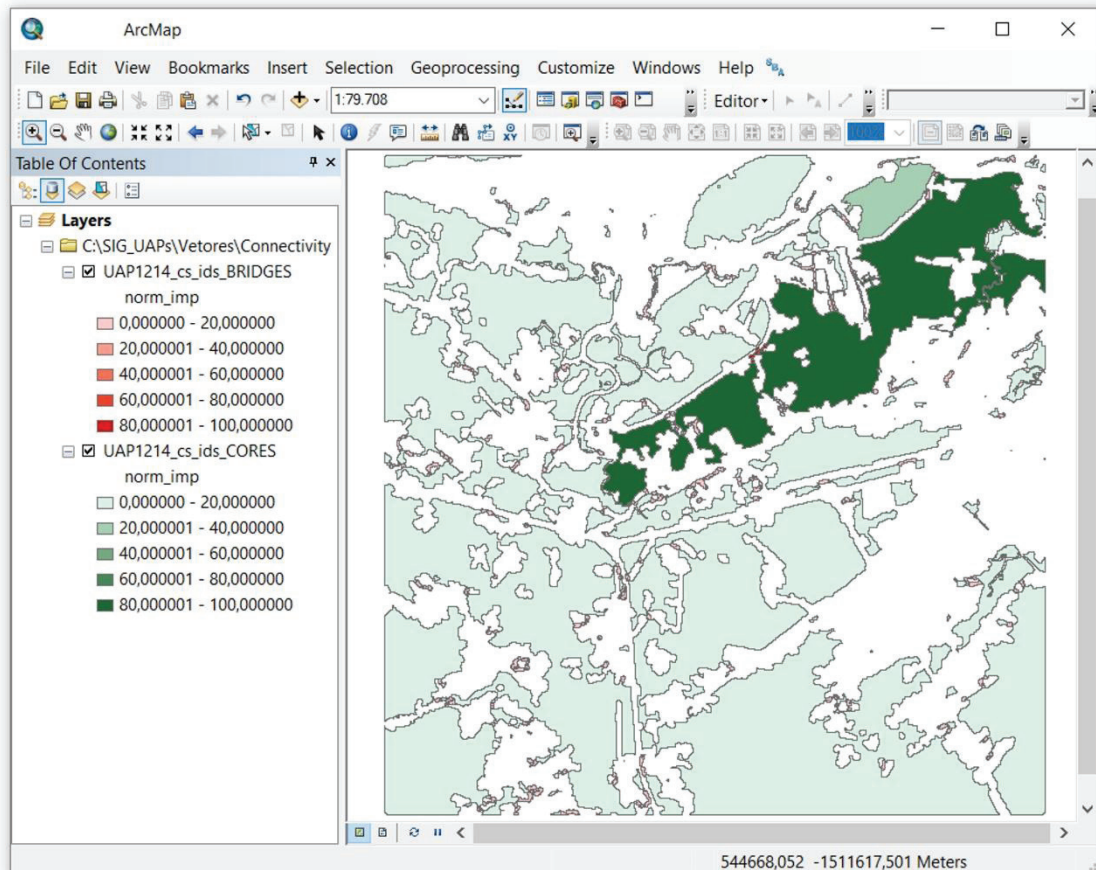


Figura 39. Janela do *ArcMap* contendo o mapa de importância dos conectores existentes na paisagem da UAP1214.

- Clicar com o botão direito no referido arquivo, localizado na “*Table Of Contents*”, e exportar a seleção como um novo arquivo *shapefile*, seguindo o caminho “*Data > Export Data*”, originando-se um novo arquivo apenas com as feições correspondentes aos nós (que correspondem às áreas de habitat interior) da paisagem. Na tabela de atributos do *shapefile* contendo a importância das conexões e dos nós da rede, inverter a seleção, tendo-se dessa vez apenas as feições com valores positivos para a coluna “GRIDCODE” selecionadas. Exportar a seleção da mesma maneira como feito no passo anterior, originando-se um arquivo apenas com as conexões (que correspondem às áreas de pontes) da paisagem.
- Clicar com o botão direito do *mouse* em cada novo arquivo criado por meio da seleção e realizar a união da sua tabela de atributos com a tabela das estatísticas originada do *GuidosToolbox* pelo cálculo da importância dos nós e conexões, utilizando os campos “GRIDCODE” e “ID”, conforme demonstrado na Figura 40.
 - Para a legenda desse mapa são utilizados tons de verde e vermelho. As cores verdes são empregadas na visualização dos nós (habitat interior), enquanto o vermelho é usado para representar as conexões (pontes). Quanto maior a intensidade das respectivas cores, maior será a importância do nó ou conexão. Para sua aplicação basta abrir as propriedades do arquivo, clicando-se com o botão direito e selecionando a opção “*Properties*”. Na aba “*Symbology*” selecionar a opção “*Quantities > Graduated Colors*”; e no campo “*Value*” selecionar a coluna que contenha os valores de importância normalizada. Classificar em cinco classes, com intervalos iguais.

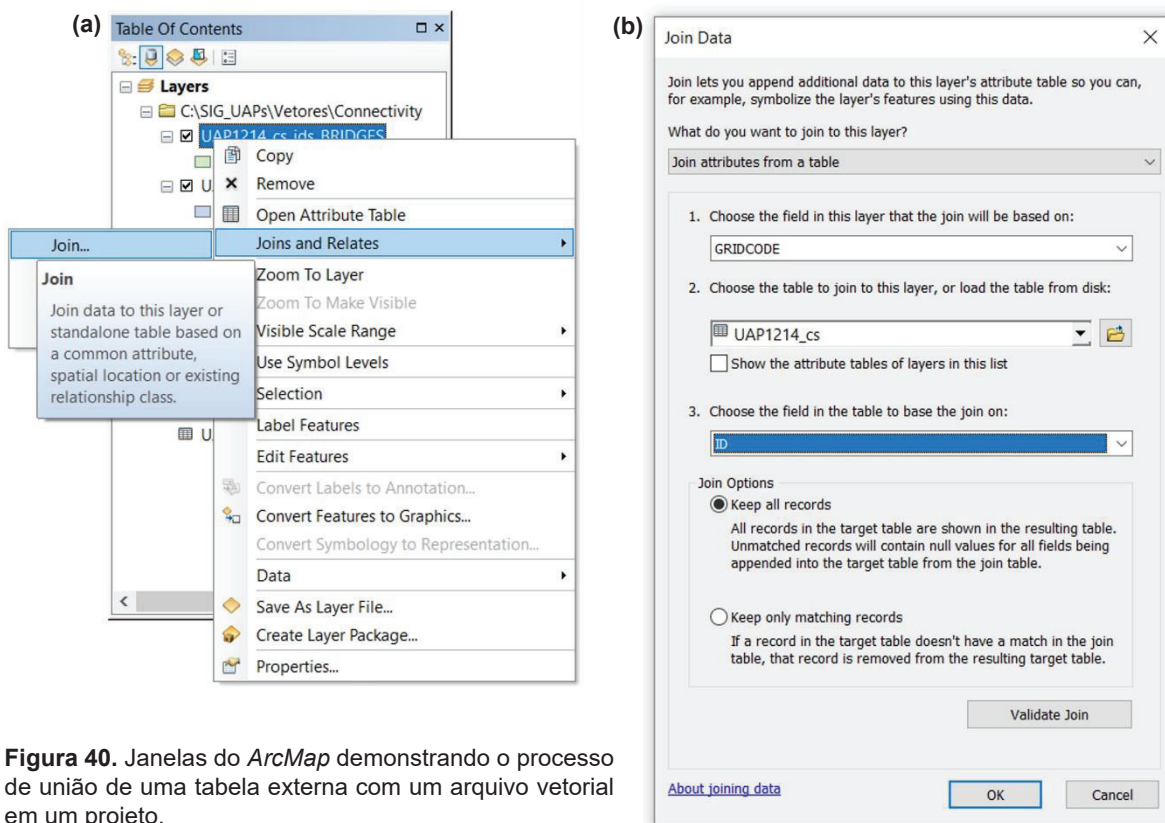


Figura 40. Janelas do *ArcMap* demonstrando o processo de união de uma tabela externa com um arquivo vetorial em um projeto.

1.5.2.1 Índices de importância dos conectores existentes na paisagem

Do cálculo da importância dos conectores existentes na paisagem derivam três índices, dados em valores percentuais:

- **dPC total:** corresponde à somatória dos dPCs de todos os nós e conexões existentes na paisagem.
- **dPC do habitat:** corresponde à somatória dos dPCs de todos os nós (áreas de habitat interior) existentes na paisagem.
- **dPC das conexões:** corresponde à somatória dos dPCs de todas as conexões existentes na paisagem.

Na Tabela 12 são apresentados os índices de importância das conexões existentes na paisagem da UAP1214:

Tabela 12. Índices de importância das conexões existentes na paisagem da UAP1214.

Σ dPC total	Σ dPC habitat	Σ dPC conexões
28,5044	11,3081	17,1963

1.5.3 Elaboração dos arquivos de entrada para o *Conefor*

Além das análises de conectividade descritas anteriormente, o *GuidosToolbox* permite a geração de arquivos de entrada de nós e conexões para posterior análise no *Conefor* (Saura; Torné, 2009), permitindo uma análise detalhada da teoria dos grafos, que está além da importância da conectividade no *GuidosToolbox*. Para gerar tais arquivos de entrada deve-se:

- A partir da segmentação *MSPA* da imagem, recalculando os componentes da rede (*NW Components*), podendo-se, então, acessar o comando “*Image Analysis > Network > MSPA Conefor Inputs*”. A partir desse comando serão gerados dois arquivos de texto (txt) contendo os nós (*nodes*) e conexões (*links*) da paisagem, que servirão para a análise de importância dos conectores existentes na paisagem.
- Para executar tal análise deve-se utilizar o programa chamado *Conefor*, que pode ser obtido acessando-se o site <<http://www.conefor.org/coneforsensinode.html>>. Selecionar a opção de *download* do “*Conefor 2.6 with graphical user interface*”. Descompactar os arquivos e executar o programa *Conefor 2.6* (Figura 41).

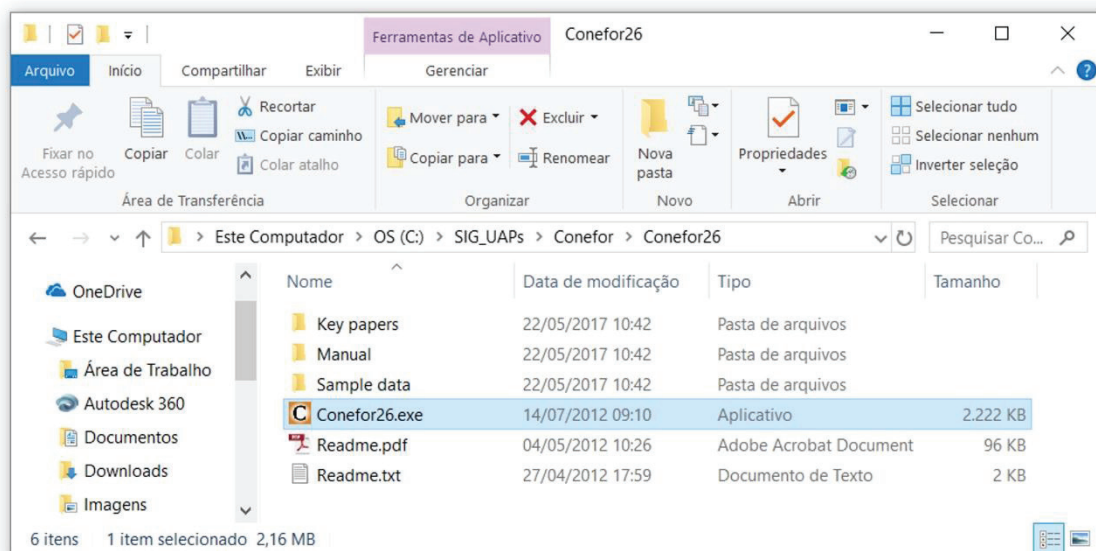


Figura 41. Estrutura de pastas do programa *Conefor*, ilustrando a localização do arquivo executável.

- Na janela principal do *Conefor* (Figura 42 (a)) deverão ser inseridos os arquivos resultantes da geração das informações de nós e conexões obtidos com o uso da ferramenta “*Conefor Inputs*”, em *GuidosToolbox*, usando as especificações apontadas na Figura 42 (a), clicando em “*Run*”. Os resultados da análise podem ser visualizados, ou armazenados, por meio da opção “*Results > Overall index values > View*” ou “*Save as txt file*”. Os resultados aparecem conforme ilustrado pela Figura 42 (b), apresentando os índices *PCnum*, *EC(PC)* e *PC*.

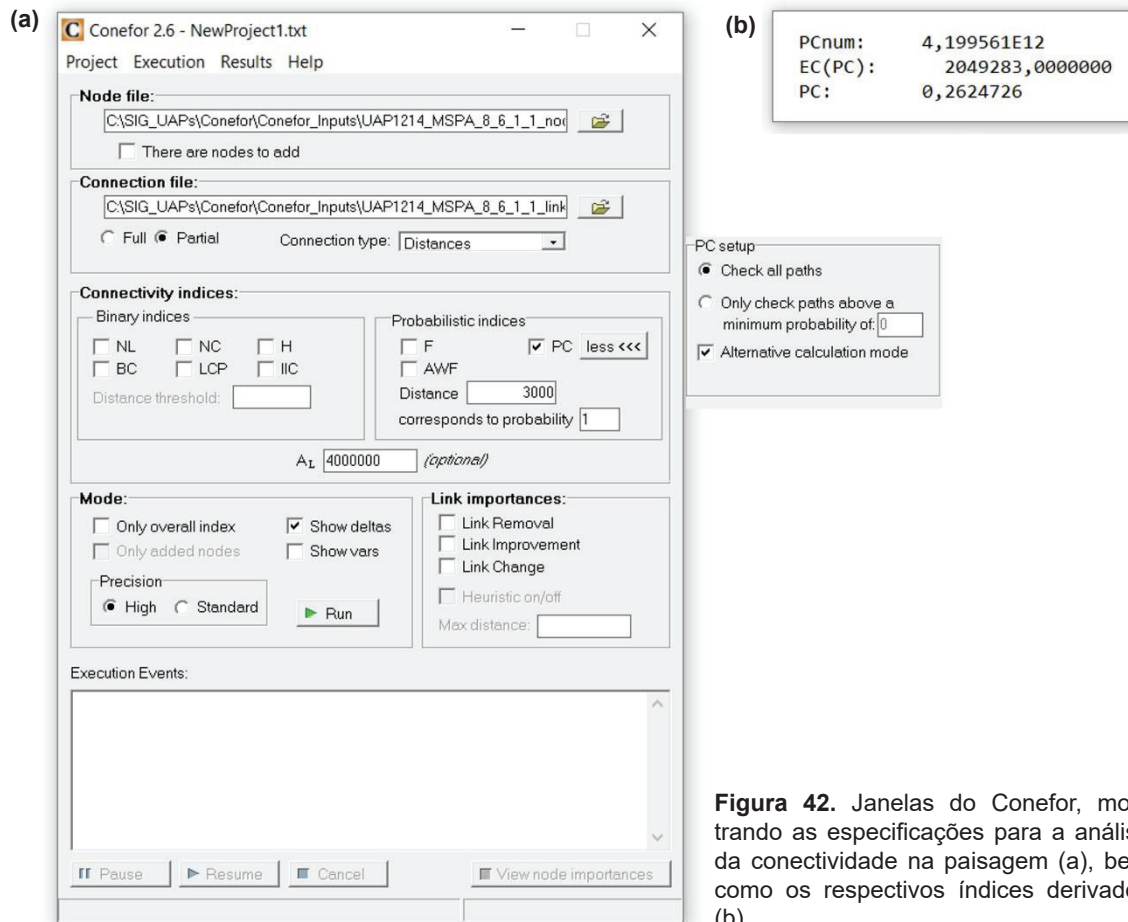


Figura 42. Janelas do Conefor, mostrando as especificações para a análise da conectividade na paisagem (a), bem como os respectivos índices derivados (b).

1.5.3.1 Índices de conectividade gerados pelo Conefor

Dessa análise utilizam-se dois índices:

- Índice de probabilidade de conectividade (*Probability of connectivity index, PC*) e;
- Índice de área equivalente (*Equivalent connected area, EC (PC)*);

O Índice de Probabilidade de Conectividade (*Probability of connectivity index, PC*) é uma métrica de paisagem adimensional que quantifica a conectividade funcional do habitat (Saura; Rubio, 2010), baseada em um modelo de conexão probabilística, onde uma certa probabilidade de dispersão (no caso de flora) ou de movimento (no caso de fauna) caracteriza as conexões (pontes) entre dois nós (áreas de habitat interior). Assim, este índice pode ser definido como a probabilidade de que dois pontos, colocados aleatoriamente dentro da paisagem, caíam em áreas que são acessíveis entre si (interligadas), dado um conjunto de n fragmentos e conectores (conexões diretas) entre eles (Saura, 2006). No caso da UAP1214, utilizada como exemplo, o valor obtido para esse índice foi de 0,26.

Por sua vez, o Índice de Área Equivalente (*Equivalent connected área, EC (PC)*), corresponde a um índice geral de conectividade, assim como o *PC*. No entanto, seu uso é preferível a este, no sentido de ser expresso em unidades de área, além de possibilitar comparações entre diferentes UAPs. Este índice pode ser definido como sendo o tamanho que um único fragmento (área de habitat interior) maximamente conectado deveria ter para ser capaz de atingir o mesmo valor do índice *PC* que o padrão real dos fragmentos da paisagem está atingindo. Para a UAP1214 esse índice apresenta valor igual a 2.049.283,00. Quanto maiores os valores de *PC* e *EC (PC)*, maior a importância das conexões existentes.

1.6 Análise da fragmentação

A fragmentação pode ser vista como a heterogeneidade espacial, ou a composição e arranjo espacial de objetos de interesse em uma imagem. Leva em consideração o número de objetos e a distância entre eles, abordando, portanto, características do primeiro plano e também do plano de fundo, ao mesmo tempo. Devido à sua natureza holística, a descrição da fragmentação é bastante complexa. No caso de paisagens, é normalmente definida com base em determinada espécie de interesse e, como tal, pode ser muito específica.

As definições de fragmentação existentes são apenas descritivas e por esta razão não permitem quantificar o grau ou mudanças na fragmentação para uma dada imagem. Tipicamente, a fragmentação é tratada como um descritor sumário que aborda uma variedade de atributos espaciais em um mapa com a cobertura florestal, tais como: a área total de floresta, tamanho médio de fragmentos, número de fragmentos, agregação espacial e/ou dispersão dos fragmentos, compacidade, quantidade de bordas de floresta, quantidade de clareiras dentro das florestas, conectividade entre os fragmentos, entre outras (Vogt, 2018a).

1.6.1 Fragmentação hipsométrica

Para quantificar a fragmentação serão aqui aplicados conceitos diferentes daqueles tradicionais. O índice de fragmentação adotado tem o seu valor normalizado no intervalo [0% a 100%]. Além de quantificar o estado de fragmentação em uma determinada área, este índice permite a comparação do grau de fragmentação de diferentes locais, a quantificação das alterações na fragmentação e seu monitoramento ao longo do tempo, bem como a avaliação do progresso em programas de planejamento e na implementação de diretrizes políticas.

Ao utilizar a opção *Hypsometry*, localizada no menu “*Image Analysis > Fragmentation > Index > Hypsometry*” (Figura 43), adotando como arquivo de entrada o mesmo arquivo utilizado na geração da análise MSPA, pode-se calcular o histograma da distância euclidiana da fragmentação da imagem. Como resultados são obtidas uma curva hipsométrica simples e uma curva hipsométrica normalizada, bem como a imagem com a representação espacial dos valores obtidos (Figura 45). A legenda contendo a amplitude das classes, a escala de cores adotadas e seus respectivos valores no modelo de cores RGB podem ser observados na Tabela 13. A barra de título do *GuidosToolbox* apresenta valores de fragmentação para a imagem inteira, para o primeiro plano (*foreground*) e também os valores mínimo e máximo da amplitude de variação da imagem como um todo (Figura 45, item 1). Abaixo da janela de exibição da imagem, há um painel que apresenta a opção de divisão da amplitude de valores em classes de distância pequena, média e grande, disponível clicando-se em “*Divide*”. (Figura 45, item 2).

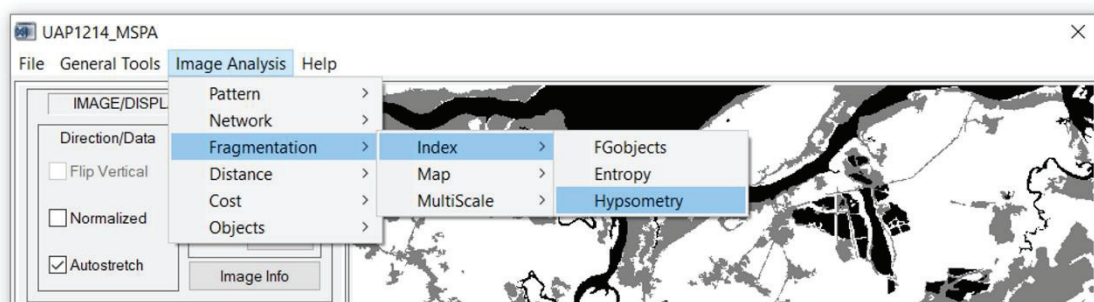


Figura 43. Posicionamento do botão de ativação da análise de fragmentação por meio da distância euclidiana (*Hypsometry*) no *GuidosToolbox*.

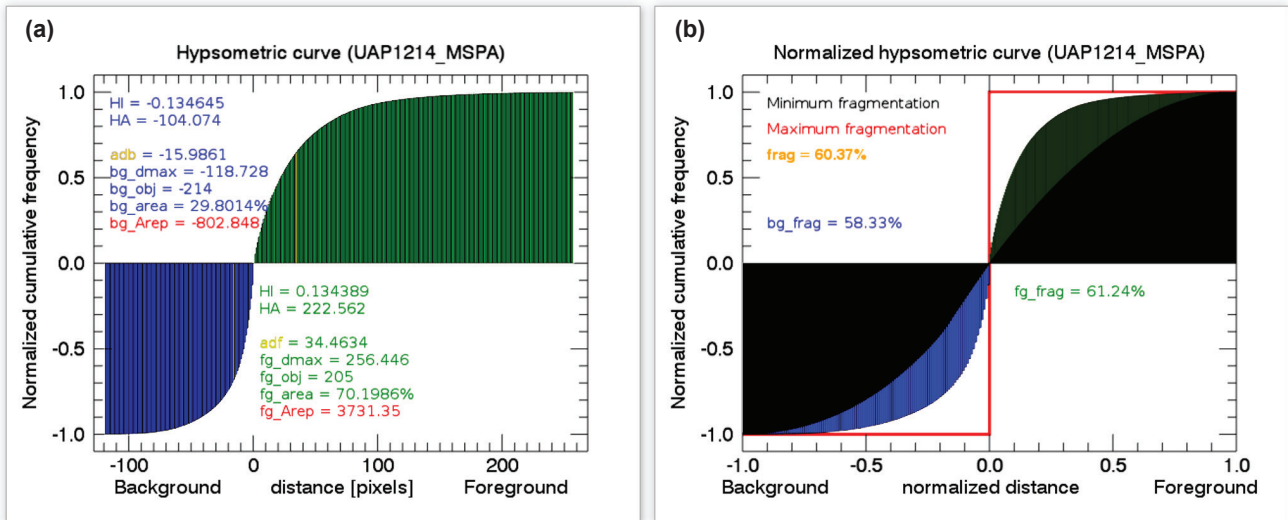


Figura 44. Curva hipsométrica da distribuição das distâncias euclidianas no primeiro plano e no segundo plano(a), e curva hipsométrica normalizada para o mínimo (preto), máximo (vermelho), e o estado atual da fragmentação para o primeiro plano (verde) e o segundo plano (azul) em (b).

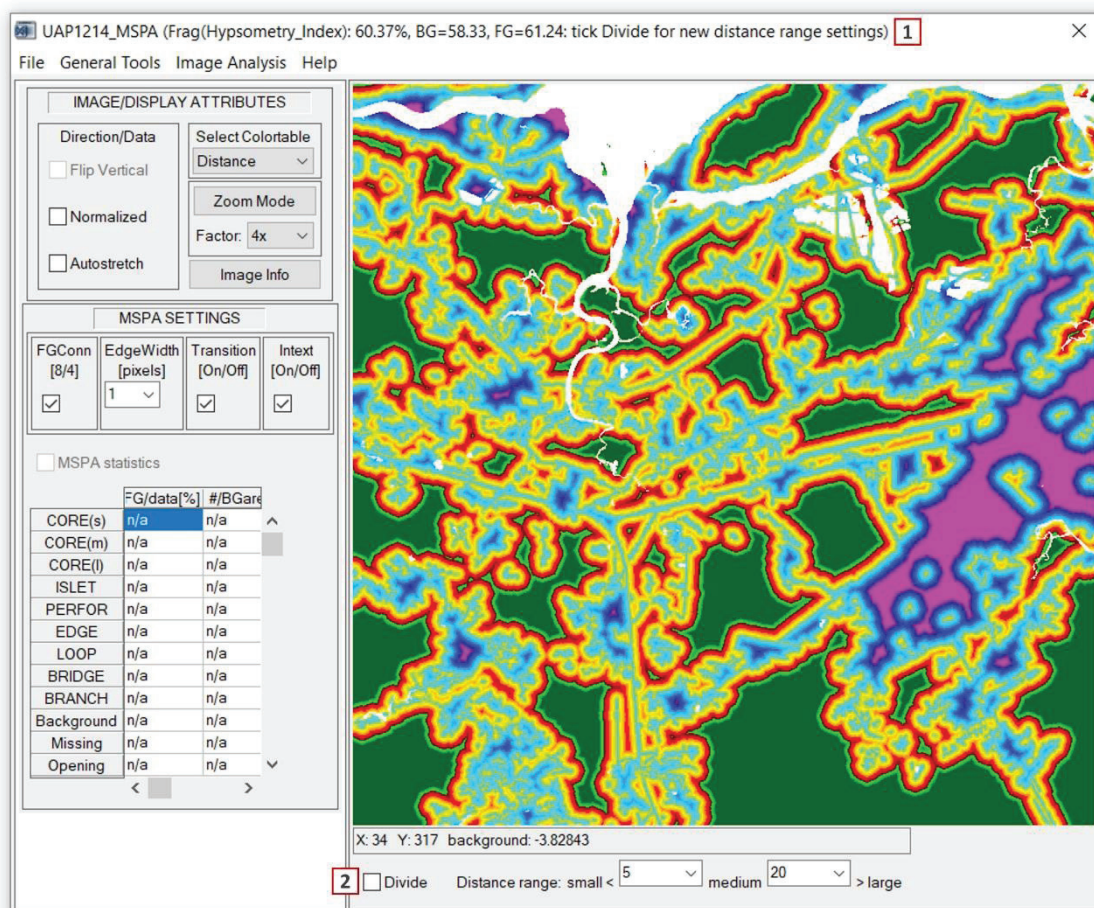






















Figura 45. Imagem gerada pelo cálculo da distância euclidiana resultando no Índice de Fragmentação Hipsométrico. Na barra de título do programa (1) são apresentados o Índice de Fragmentação Hipsométrico calculado para a imagem toda e também o índice calculado quando considerado somente o segundo plano (*background*, BG) e somente o primeiro plano (*foreground*, FG). No painel *Divide*, abaixo da janela, os valores de fragmentação podem ser agrupados em classes de distância, pequena, média e grande, de acordo com limiares estabelecidos pelo usuário (2).

Tabela 13. Amplitude das classes, tonalidades das cores e valores no modelo de cores RGB das classes de fragmentação hipsométrica da paisagem.

Amplitude de classe	R	G	B	Cor	Amplitude de classe	R	G	B	Cor
< -45	255	0	255		00 a 05	180	255	75	
-45 a -40	189	0	255		05 a 10	243	255	11	
-40 a -35	130	0	130		10 a 15	255	203	0	
-35 a -30	0	0	175		15 a 20	255	139	0	
-30 a -25	0	0	255		20 a 25	255	0	0	
-25 a -20	0	80	255		25 a 30	200	0	0	
-20 a -15	0	150	255		30 a 35	130	0	0	
-15 a -10	0	180	255		35 a 40	0	255	0	
-10 a -05	0	220	255		40 a 45	0	180	0	
-05 a 00	0	255	255		> 45	0	101	0	

A curva hipsométrica é uma descrição sumária do histograma de distâncias euclidianas. Ao visualizar a imagem da distribuição de distâncias como um mapa de pseudoelevação, a curva hipsométrica resume o relevo ou curvas de nível no primeiro plano (*foreground*). O mesmo processo é conhecido como batimetria quando realizado para o plano de fundo (*background*). A Figura 44 (a) mostra as frequências acumuladas das distâncias euclidianas, bem como as seguintes estatísticas relacionadas com o *background* e o *foreground*:

- Índice Hipsométrico (*Hypsometric Index (HI)*): adb/bg_{max} ou adf/fg_{max} .
- Área Hipsométrica (*Hypsometric Area (HA)*): área integral abaixo da curva.
- Distância média (*Average distance*): adb/adf .
- Distância máxima (*Maximum distance*): bg_{max}/fg_{max} .
- Número de objetos (*Number of objects*): bg_{obj}/fg_{obj} .
- Área total dos objetos (*Total area of objects*): bg_{area}/fg_{area} .
- Área Representativa (*Representative area*): bg_{Arep}/fg_{Arep} .

Onde:

adb : distância média no segundo plano.

bg_{max} : distância máxima no segundo plano.

adf : distância média no primeiro plano.

fg_{max} : distância máxima no primeiro plano.

bg_{obj} : número de objetos no segundo plano.

fg_{obj} : número de objetos no primeiro plano.

bg_{area} : área no segundo plano.

fg_{area} : área no primeiro plano.

bg_{Arep} : área representativa no segundo plano.

fg_{Arep} : área representativa no primeiro plano.

A Área Representativa (*Arep*) é calculada para um objeto similar, de forma circular, com um raio igual à razão entre a área representativa do primeiro plano (*adf*) e a área representativa do segundo plano (*adb*). Da mesma forma, um objeto quadrado representativo pode ser definido com o comprimento de aresta igual à raiz quadrada da Área Representativa (*Arep*). Tal como acontece com a distância média (*adf/adb*), as mudanças na Área Representativa são indicativos dos processos de fragmentação. Para uma dada imagem, o grau de fragmentação corresponde à área coberta entre a fragmentação mínima (preto) e fragmentação máxima (vermelho). Na Figura 44 (b) esta área é destacada em azul para o segundo plano e em verde para o primeiro plano. Considerando a natureza dual da fragmentação (o primeiro plano é fragmentado pelo segundo plano e vice-versa), o grau de fragmentação para uma determinada imagem (Equação 3) é definido pela soma ponderada da fragmentação no primeiro plano e no segundo plano:

$$Frag(hypso) = \left(\frac{bg_{area}}{100 \times bg_{frag}} \right) + \left(\frac{fg_{area}}{100 \times bg_{frag}} \right) \quad \text{Equação (3)}$$

Onde:

bg_{frag} : fragmentação no segundo plano.

fg_{frag} : fragmentação no primeiro plano.

A Curva Hipsométrica Normalizada (*Normalized Hypsometric Curve - NHMC*) é a Curva Hipsométrica escalada pela distância máxima do primeiro e do segundo planos. Ilustrada na Figura 44 (b), essa curva mostra o *NHMC* para três imagens com a mesma dimensão que a imagem real e as três seguintes condições:

1. Fragmentação mínima (preto): *NHMC* de uma imagem do primeiro plano com a agregação máxima: todos os pixels do primeiro plano acumulados para um círculo no centro da imagem. Se a cobertura do primeiro plano é muito grande para caber um círculo na imagem, um retângulo é utilizado.
2. Imagem real (azul / verde): *NHMC* da imagem sendo analisada.
3. Fragmentação máxima (vermelho): *NHMC* de uma imagem tipo tabuleiro de damas com cobertura de 50%. Esta condição máxima teórica para a fragmentação é caracterizada por todos

os pixels do primeiro plano e do segundo plano com distância igual a 1, resultando, assim, na função escalonada delineada em vermelho na Figura 44 (b).

1.6.1.1 Índices de fragmentação hipsométricos

A análise da fragmentação acima exposta considera aspectos como dualidade, perfurações, quantidade, divisão e dispersão dos objetos na imagem, originando três índices principais, com seus valores normalizados no intervalo [0 – 100%]:

- **Fragmentação da cobertura arbórea/arbustiva natural:** corresponde à fragmentação no primeiro plano da imagem ($f_{g_{frag}}$).
- **Fragmentação dos demais tipos de cobertura:** corresponde à fragmentação no segundo plano da imagem (bg_{frag}).
- **Fragmentação de acordo com a hipsometria:** corresponde à soma ponderada da fragmentação do primeiro plano com a fragmentação do segundo plano da imagem ($frag$).

No caso da UAP1214, foram obtidos índices com valores iguais a 61,24%, 58,33% e 60,37% para a fragmentação da cobertura arbórea/arbustiva natural, do segundo plano e a média ponderada, respectivamente. Quanto mais próximo de 100%, mais fragmentada será a paisagem.

1.6.2 Densidade de área florestal

A fragmentação florestal é um tópico bastante complexo, dependente da escala e do observador (Vogt, 2018a). Para este autor não existe uma única escala ou observador que não sejam arbitrários, de forma que a solução é relatar a fragmentação em múltiplas escalas, permitindo que diferentes observadores possam fazer suas próprias escolhas referentes à escala e aos limites de decisão, dependendo do objetivo da análise.

No submenu “*MultiScale*” do *GuidosToolbox* são fornecidas metodologias para análise da fragmentação em diferentes escalas de observação. É o caso da análise denominada Densidade de Área Florestal (*Forest Area Density - FAD*), construída por meio da medida da Proporção de Pixels de Floresta em uma janela móvel (métrica denominada P2 por Vogt, 2018a), considerando que, no estudo-piloto apresentado como exemplo, o primeiro plano da MSPA inclui, além da cobertura florestal, também a cobertura arbustiva. A ferramenta utiliza, como padrão, cinco escalas de observação, com janelas móveis de diferentes tamanhos e áreas de vizinhança, contendo 7, 13, 27, 81, e 243 pixels. Estas janelas móveis percorrem a imagem contendo a máscara do primeiro plano (Vogt, 2018b), a exemplo do realizado anteriormente na análise do mosaico da paisagem e tal como realizado por Riitters et al. (2002, 2012a, 2012b). As diferentes áreas de vizinhança foram selecionadas visando abranger uma ampla gama de escalas, de modo que exista uma progressão geométrica aproximada das áreas das janelas juntamente com a escala (Vogt, 2018a).

O arquivo de entrada para a análise FAD deve ser um arquivo *raster* composto por valores de 1 *byte* para o segundo plano e 2 *bytes* para o primeiro plano. A imagem preparada para a análise MSPA, conforme descrito no item “1.2.1 Preparação dos dados para a MSPA”, pode ser utilizada também na análise FAD. A análise FAD considera que todos os pixels do segundo plano irão atuar como agentes fragmentadores do primeiro plano. Opcionalmente, o arquivo de entrada pode ter os valores de 0 *byte* para dados ausentes, 3 para segundo plano específico, como água, por exemplo, 4 para segundo plano não fragmentador, pertencente a algumas classes de uso e cobertura da terra que não tenham ação fragmentadora no primeiro plano, como campos nativos e formações naturais.

Para gerar o resultado da FAD basta abrir a imagem codificada e acessar a opção FAD, a partir do *menu Image Analysis* (“*Image Analysis > Fragmentation > MultiScale > FAD*”) (Figura 46). O resultado dessa análise é composto por um conjunto de cinco mapas (um para cada escala de observação), mostrando os valores da Densidade da Área Florestal de cada pixel do primeiro plano, para as diferentes áreas de vizinhança (Figura 47). Cada um dos cinco mapas do FAD é, então, classificado nas seis classes de fragmentação da floresta, exibidas na Tabela 14.

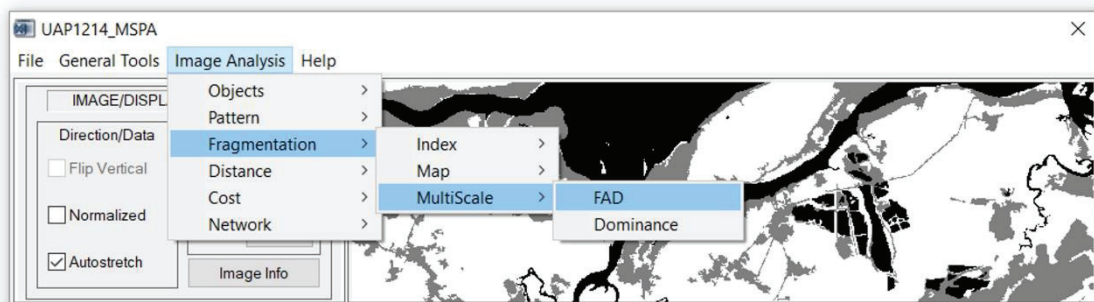


Figura 46. Posicionamento do botão de ativação da análise de fragmentação baseada na FAD.

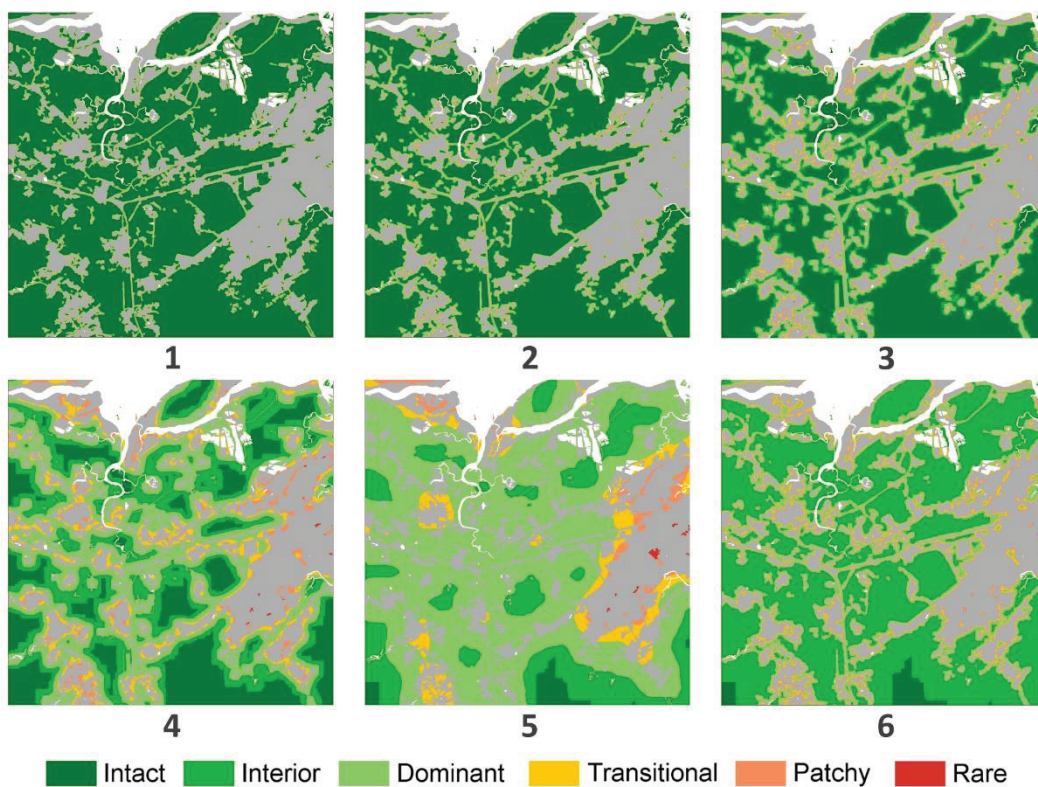








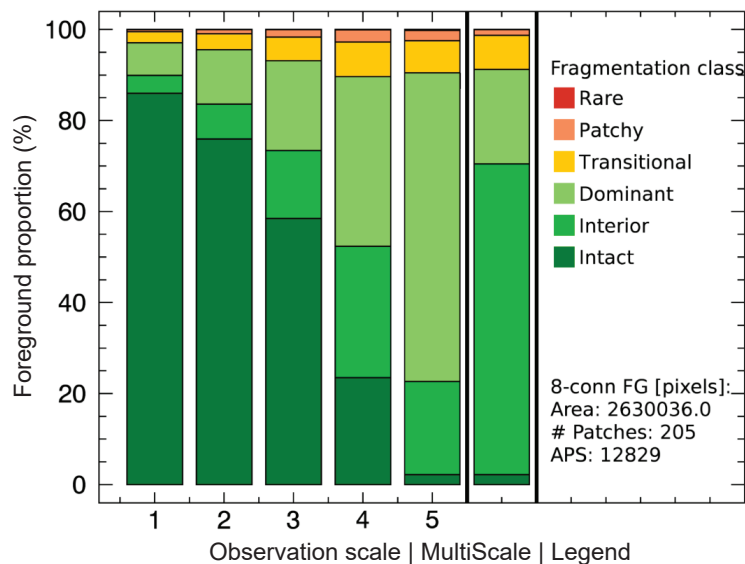
Figura 47. Mapas de fragmentação nas cinco escalas de observação (1 – 5) e o mapa agregado (multiescala) (6), para a UAP1214.

Tabela 14. Definição das seis classes de fragmentação, de acordo com a amplitude da Densidade de Área Florestal (FAD) e as respectivas tonalidades de cores adotadas na legenda.

FAD	Cor	Amplitude	FAD	Cor	Amplitude
1 <i>Rare Forest</i>		FAD < 10%	4 <i>Dominant Forest</i>		60% ≤ FAD < 90%
2 <i>Patchy Forest</i>		10% ≤ FAD < 40%	5 <i>Interior Forest</i>		90% ≤ FAD < 100%
3 <i>Transitional Forest</i>		40% ≤ FAD < 60%	6 <i>Intact Forest</i>		FAD = 100%

Fonte: Vogt (2018ab).

Em seguida é calculada, para cada uma das cinco escalas, a proporção de pixels do primeiro plano em cada classe de fragmentação e, então, um gráfico de barras é elaborado, mostrando a fragmentação da floresta (primeiro plano) em cada escala de observação (Figura 48). No gráfico, as diferentes escalas de observação são rotuladas como 1, 2, 3, 4, e 5, correspondendo às janelas de 7, 13, 27, 81, e 243 pixels, respectivamente. Na Figura 48, o gráfico ilustra a proporção das classes de fragmentação para as cinco escalas de observação na UAP1214. Considerando a área de pixel de 25 m² da imagem utilizada, as janelas 1, 2, 3, 4, e 5 correspondem às áreas de aproximadamente 0.12, 0.42, 1.82, 16.42, e 147.62 hectares, respectivamente, para a UAP1214, utilizada como exemplo. O agrupamento em seis classes de fragmentação permite a localização de áreas florestais altamente fragmentadas (classe de Floresta Rara, na cor vermelha), por exemplo, ou quaisquer outras classes de fragmentação (Vogt, 2018a). O gráfico de barras (Figura 48) e as estatísticas (Figura 49) resumem a análise de fragmentação da floresta em formato tabular.

**Figura 48.** Gráfico de barras cumulativo, para as cinco escalas de observação, incluindo a análise multiescala e a quantidade total de área florestal (*foreground*), número e tamanho médio dos fragmentos, para a UAP1214.


```
FAD: Foreground Area Density summary analysis for image:
C:\SIG_UAPs\Raster\Guidos_Inputs\MSPA\UAP1214_MSPA.tif
=====
8-conn FG: area, # patches, aps [pixels]: 2630036.0, 205, 12829
Fragmentation class: foreground proportion at observation scale/area:
Observation scale:      1          2          3          4          5          mscale
Neighborhood area:    7x7        13x13       27x27       81x81       243x243
=====
Rare:      0.0009    0.0032    0.0162    0.0836    0.1963    0.0177
Patchy:    0.4651    0.9259    1.6556    2.6315    2.2558    1.2508
Transitional: 2.4336    3.5093    5.1748    7.6608    7.0781    7.4999
Dominant:  7.1558    11.9208   19.7301   37.2414   67.8389   20.7720
Interior:  3.9773    7.6891    14.9824   28.9022   20.4609   68.2895
Intact:    85.9674   75.9517   58.4408   23.4805   2.1700    2.1700
=====
```

Figura 49. Tabela resumo dos resultados da análise FAD, contendo o percentual de classes de fragmentação nas cinco escalas de observação e também para a análise multiescala.

Ao final, os cinco mapas de fragmentação em diferentes escalas são agregados em um mapa sumário multiescala, exibido ao final da análise (Figura 50). Ao mover o cursor do mouse sobre a imagem, o painel de informação na parte inferior da janela apresenta as coordenadas (Figura 50, item 1), seguido do valor da soma das classes (Figura 50, item 2), bem como a sequência das classes de fragmentação (Figura 50, item 3). As classes de fragmentação estão rotuladas com a letra inicial do nome da classe (do termo em inglês, “rare”, “patchy”, “transitional”, “dominant”, “interior”), e com a letra I maiúscula para a classe “Intact” (Figura 50, item 4). A classe de fragmentação multiescala

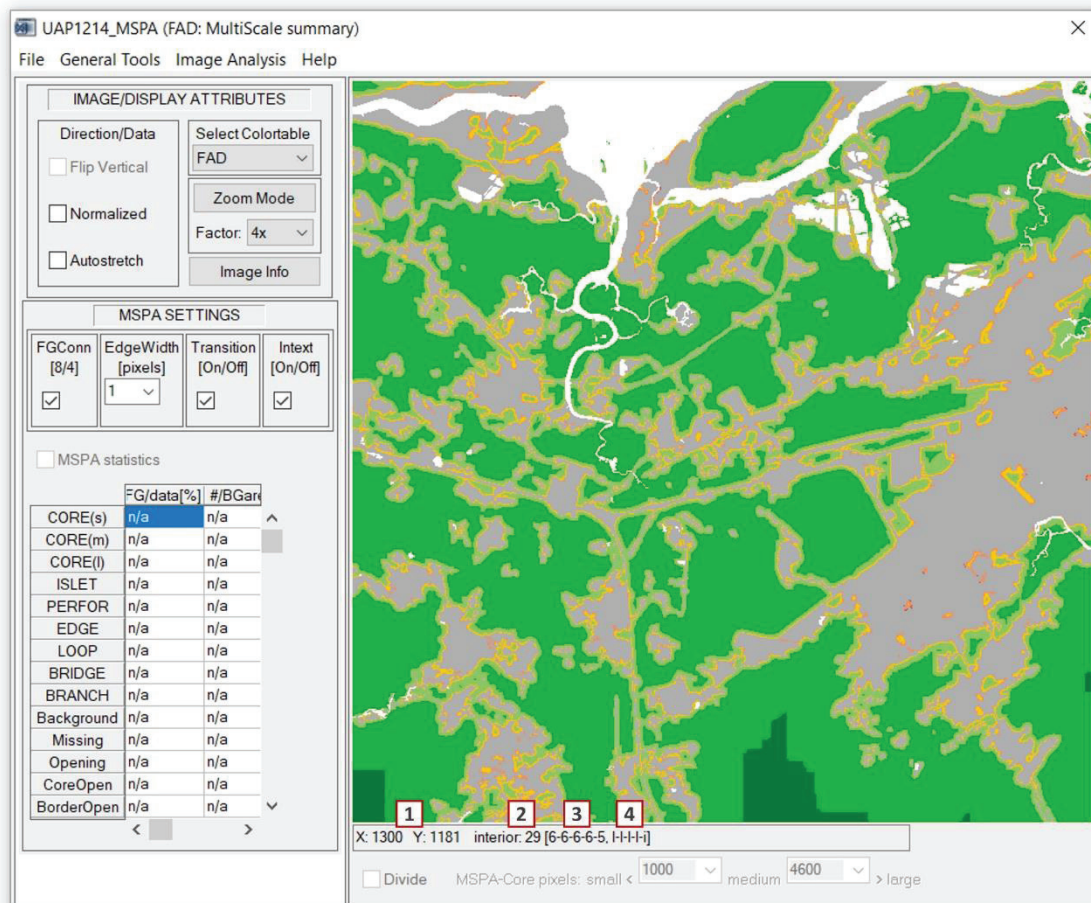








Figura 50. Resultado da análise FAD para a UAP1214, exibindo o mapa de fragmentação multiescala.

é derivada da comparação da soma observada para as classes de fragmentação nas diferentes escalas de observação com a soma de um valor estabelecido como linha de base, conforme apresentado na Tabela 15. Devido ao aumento das áreas de vizinhança à medida em que se aumenta a escala de observação, a sequência de classes de fragmentação sobre as escalas de observação mostrará valores decrescentes, por exemplo 6-6-5-5-4 significando uma variação de Floresta Intacta, em uma escala pequena de observação, para Floresta Interior ou Floresta Dominante em escalas de observação maiores. A sequência em um determinado local depende do padrão multiescala do primeiro plano nesse local.

Tabela 15. Classes cumulativas de fragmentação para cinco escalas de observação, com os respectivos valores de linha de base para cada classe sumária e a tonalidade de cor adotada na legenda.

Fragmentation class	Linha de base	Classe sumária	Cor
1 – 1 – 1 – 1 – 1	5 – 9	<i>Rare</i>	
2 – 2 – 2 – 2 – 2	10 – 14	<i>Patchy</i>	
3 – 3 – 3 – 3 – 3	15 – 19	<i>Transitional</i>	
4 – 4 – 4 – 4 – 4	20 – 24	<i>Dominant</i>	
5 – 5 – 5 – 5 – 5	25 – 29	<i>Interior</i>	
6 – 6 – 6 – 6 – 6	30	<i>Intact</i>	

Fonte: Vogt (2018ab).

As informações resultantes da análise FAD podem ser armazenadas em uma única imagem contendo os resultados do padrão multiescala, utilizando as opções “*Display Snapshot*” ou “*KML*”, no menu “*File > Save Image*”. Ao utilizar a opção “*GeoTiff*” ou “*Generic*” um conjunto completo de informações será armazenado na pasta especificada pelo usuário, contendo os seguintes arquivos:

- <name>_FAD_1/5.tif: cinco imagens contendo as classes FAD, para as cinco diferentes escalas de observação (Figura 47).
- <name>_FAD_balplot.png: gráfico de barras cumulativo para as classes FAD (Figura 48).
- <name>_FAD_mscale.txt: resultados sumarizados para FAD (Figura 49).
- <name>_FAD_mscale.csv: resultados sumarizados para FAD, em formato CSV (*comma-separated values*), para importação em planilhas eletrônicas.
- <name>_FAD_mscale.tif: imagem multiescala contendo as classes FAD sumarizadas (Figura 50).
- <name>_FAD_sum_classes.tif: imagem contendo os valores da soma de classes de FAD em multiescalas.

As imagens resultantes têm as seguintes atribuições de valores de *bytes* dos pixels:

- 101: cor cinza, referente aos pixels do segundo plano.

- 102: cor branca, referente aos pixels dos dados ausentes.
- 105: cor azul escuro, referente aos pixels do segundo plano específico.
- 106: cor azul claro, referente aos pixels do segundo plano não-fragmentador.

1.7 Análises baseadas em distância

O menu “Distance” do *GuidosToolbox* fornece diversas opções para a análise da distância (Figura 51): Distância Euclidiana (“*Euclidean Distance*”), Zonas de Influência (“*Influence Zones*”); e Proximidade (“*Proximity*”). Para imagens em formato GeoTiff, é importante saber que os valores de distância dos pixels somente serão significativos quando estas imagens estiverem em uma projeção de áreas equivalentes, como a Projeção Albers, adotada pelo componente geoespacial do IFN-BR.

O arquivo de entrada para as análises de distância deve ser um arquivo *raster* composto por valores de 1 *byte* para o segundo plano e 2 *bytes* para o primeiro plano. A imagem preparada para a MSPA, conforme descrito no item “1.2.1 Preparação dos dados para a MSPA”, pode ser utilizada também nas análises de distância. Na Figura 51 é apresentado o posicionamento dos botões que permitem dar início às análises de distância. No caso do componente geoespacial do IFN-BR, serão utilizadas as análises de proximidade e das zonas de influência, descritas a seguir.



Figura 51. Posicionamento do botão de ativação das análises baseadas em distância.

1.7.1 Zonas de influência

Uma zona de influência é definida como a linha externa de delimitação de igual distância que separa determinados objetos do primeiro plano. O limite de uma zona de influência é derivado da aplicação do operador morfológico de divisor de águas (*watershed*) ao mapa da distância euclidiana da área de segundo plano na imagem. Considerando-se a imagem em tons de cinza da distância euclidiana como uma imagem de uma superfície, cada mínimo local pode ser visto como o ponto de drenagem a partir do qual a água que cair sobre a superfície ao redor será drenada. Os limites dos divisores de água encontram-se sobre as cumeeiras. Pequenos objetos na imagem original podem produzir mínimos espúrios ao longo dos gradientes, o que leva à segmentação excessiva. Por esta razão, o tamanho mínimo do objeto padrão definido é igual a 5.000 pixels.

Objetos omitidos menores que o tamanho mínimo são exibidos na cor azul claro. Os objetos para os quais as zonas de influência são calculadas são exibidos em cores alternadas. Dados faltantes são exibidos em branco e, os limites das zonas de influência (linhas dos divisores de água), em cor preta. Zonas de influência são calculadas para objetos do primeiro plano maiores ou iguais à área mínima especificada em pixels, que pode ser definida por meio do parâmetro “*MSPA Edge Width*”.

Na Figura 52 pode-se observar o resultado da análise para as zonas de influência, no caso da UAP1214.

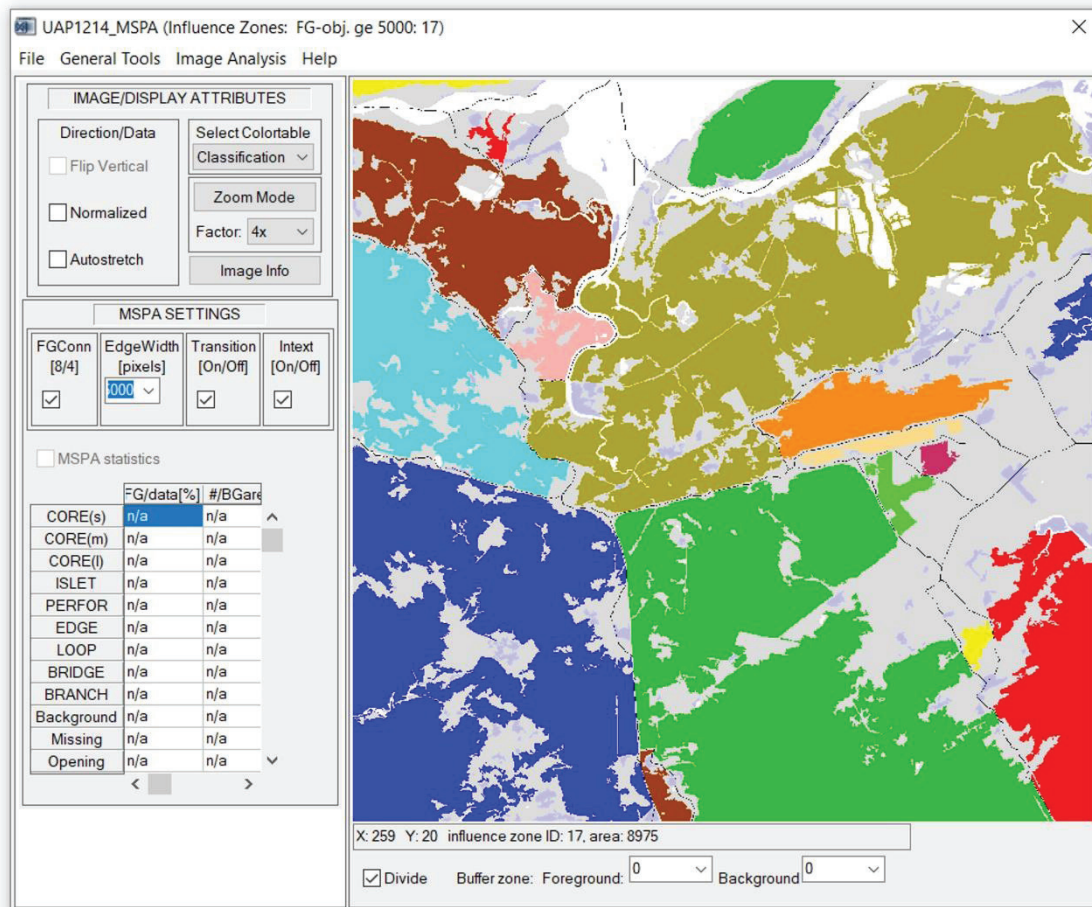


Figura 52. Resultado da análise das Zonas de Influência, baseada em distância, para a UAP1214.

Adicionalmente, o painel abaixo da janela de visualização permite a definição de zonas-tampão para ambos, primeiro e segundo planos. Neste caso, um valor diferente de zero para a zona-tampão do primeiro plano corresponde à largura do perímetro dos objetos do primeiro plano a serem excluídos do cálculo. Por conseguinte, este parâmetro pode ser utilizado para definir objetos de habitat interior do primeiro plano. Neste caso, os cálculos serão realizados para objetos de habitat interior do primeiro plano com área mínima especificada pelo parâmetro *MSPA EdgeWidth*. Um valor diferente de zero para a zona-tampão do segundo plano irá adicionar uma zona de cor cinza escuro da largura especificada ao redor e, se buracos suficientemente grandes estiverem presentes, dentro do núcleo dos objetos do primeiro plano. Os limites da zona-tampão do segundo plano são representados em rosa escuro. Zonas tampão do segundo plano encerram-se nos limites das zonas de influência. Ao clicar no botão *Divide* abaixo da imagem, serão reiniciadas tanto as configurações do primeiro plano e do segundo plano ao seu valor padrão igual a zero, omitindo zonas-tampão e mostrando apenas as zonas de influência. Em resumo, as zonas de influência fornecem uma classificação dos objetos especificados pelo usuário e as zonas-tampão podem ser adicionadas para definir áreas de habitat interior, tanto quanto zonas “fora de alcance” de qualquer tamanho².

² O limiar de pequenos objetos a serem excluídos do cálculo pode ser definido para qualquer valor por meio do menu parâmetro *MSPA “Edge Width”*. Podem ser selecionados valores pré-definidos ou especificados valores personalizados. Um novo valor personalizado só será atribuído após pressionada a tecla Enter. Ao inserir um novo valor de limite para a exclusão de pequenos objetos, as zonas de influência serão recalculadas automaticamente. Um valor igual a 1 (um) irá calcular zonas de influência para todos os objetos do primeiro plano. Como as zonas de influência foram desenvolvidas para descrever

Ao armazenar uma imagem das zonas de influência, serão produzidos os seguintes arquivos com o prefixo *<nome>_influence_<Y>_<b1>_<b2>_<zoom>*, em que *Y* representa o tamanho mínimo do objeto em pixels, *b1* e *b2* representam a largura selecionada para a zona-tampão do primeiro e do segundo plano, respectivamente, e o sufixo *zoom* será adicionado se uma sub-região da imagem for salva:

- a. *prefix.tif*: imagens conforme exibidas no aplicativo *GuidosToolbox*.
- b. *prefix_ids.tif*: imagens mostrando os rótulos exclusivos dos objetos, zonas-tampão, divisores de águas, e etc. usando valores negativos para dados específicos e valores positivos para os objetos individuais, com a seguinte notação:

- 6: zona-tampão.
- 5: limite da zona-tampão.
- 4: dados faltantes.
- 3: divisores de águas.
- 2: pixel do primeiro plano omitido.
- 1: perfuração no primeiro plano.
- 0: segundo plano.
- 1-x: identificador único dos objetos (*ID*).

1.7.2 Proximidade

A análise de proximidade mede a vizinhança de objetos adjacentes. Assim como no caso das Zonas de Influência, os objetos de interesse são definidos considerando-se uma janela móvel com conectividade com parâmetro igual a 8 e uma área mínima, que pode ser definida por meio do parâmetro *Edge Width* do MSPA. Objetos com área menor que o tamanho mínimo definido são exibidos na cor azul claro, enquanto a linha do divisor de águas (“*watershed*”) é representada em preto. Ao navegar com o ponteiro do *mouse* pela imagem, será exibido na barra de títulos do programa o identificador do componente e sua área associada em número de pixels, ou se corresponde a uma área de segundo plano ou a algum objeto omitido da imagem. Na Figura 53 apresenta-se o resultado obtido para a UAP1214, por meio dessa ferramenta.

a região externa dos objetos, elas são calculadas para objetos “cheios” do primeiro plano. Por esta razão, os buracos no interior de objetos circundantes terão o mesmo ID do objeto externo e, por conseguinte, o número total de objetos quando calculadas as zonas de influência pode ser menor em comparação com o número total de identificadores de objetos (IDs).

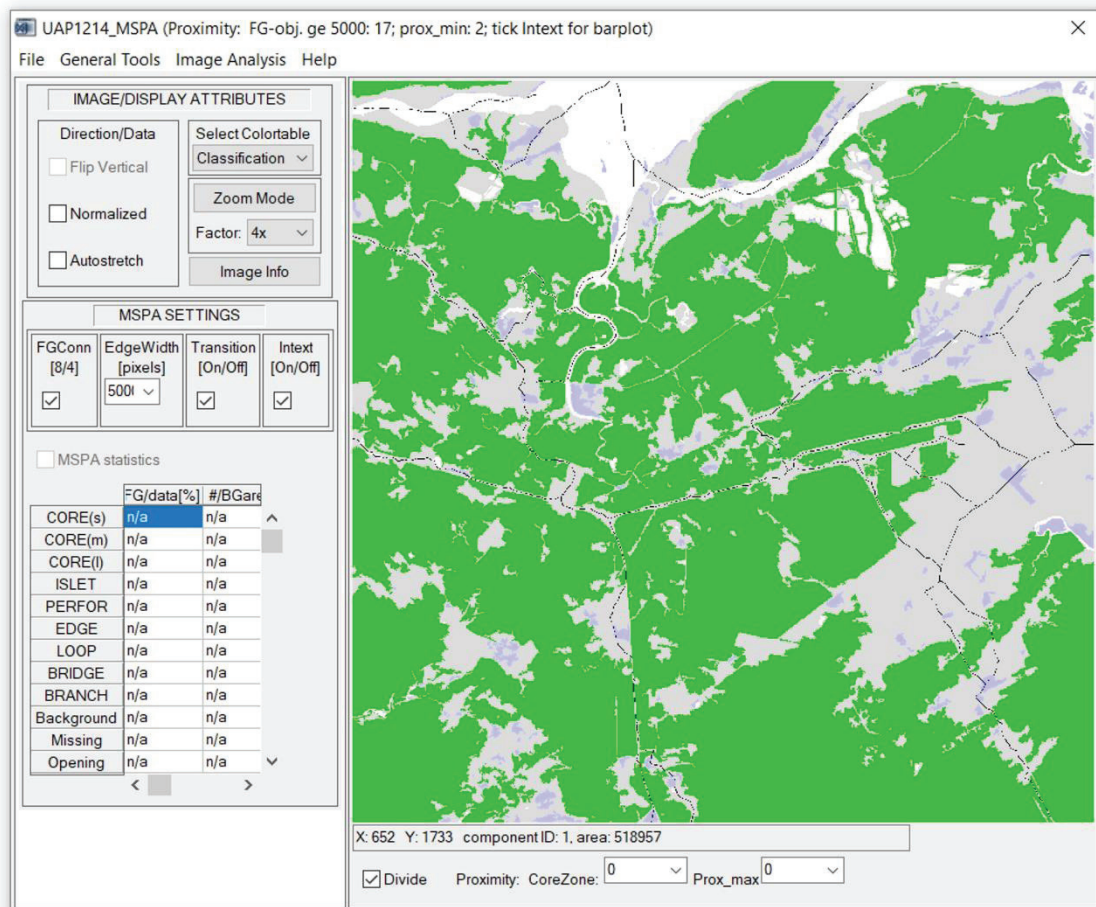


Figura 53. Resultado da análise de Proximidade, baseada em distância, para a UAP1214.

Posicionando-se o *mouse* na linha do divisor de águas serão apresentadas, na barra de títulos do software, as coordenadas x/y da sua localização bem como as seguintes medidas (ilustradas na Figura 54):

- Proximidade (*Proximity*): o valor de proximidade equivale à distância mais curta, medida em pixels, necessária para a conexão de dois objetos vizinhos. Assim, ao longo da linha que representa o divisor de águas, o valor de proximidade corresponde à distância mais curta para conectar todos os objetos vizinhos. O ponto de menor distância entre dois fragmentos diferentes é representado na cor vermelha, como se pode observar no item 1 da Figura 54, onde apenas dois pixels são necessários para conectar os dois objetos vizinhos.
- Ganho de área conectada – *Connected Area Gain (CAG)*: o ganho de área conectada é uma medida que corresponde à quantidade de área obtida quando uma conexão é estabelecida entre dois componentes disjuntos em uma determinada localização. De maneira geral, quando dois objetos com áreas a e b são combinados, a área atingida se torna $\sqrt{(a + b)} = \sqrt{a^2 + 2ab + b^2}$. Nesse caso, o ganho de área obtido por meio do estabelecimento de uma nova conexão é igual a $\sqrt{2ab}$ quando dois componentes são conectados, $\sqrt{ab + 2ac + abc}$ quando três componentes são conectados, e assim por diante. Por exemplo, na Figura 49, item 2, a proximidade entre os componentes com ID 6 e ID 9 é de 2 pixels. O ganho de área conectada nesse local será igual a: $CAG = \sqrt{2ab} = \sqrt{2 \times 13.546 \times 6.431} = 13.200$.
- Ganho relativo de área conectada - *Relative Connected Area Gain (CAG_{rel}) (%)*: o CAG relativo é definido como o raio do CAG para a área total de todos os componentes da imagem.

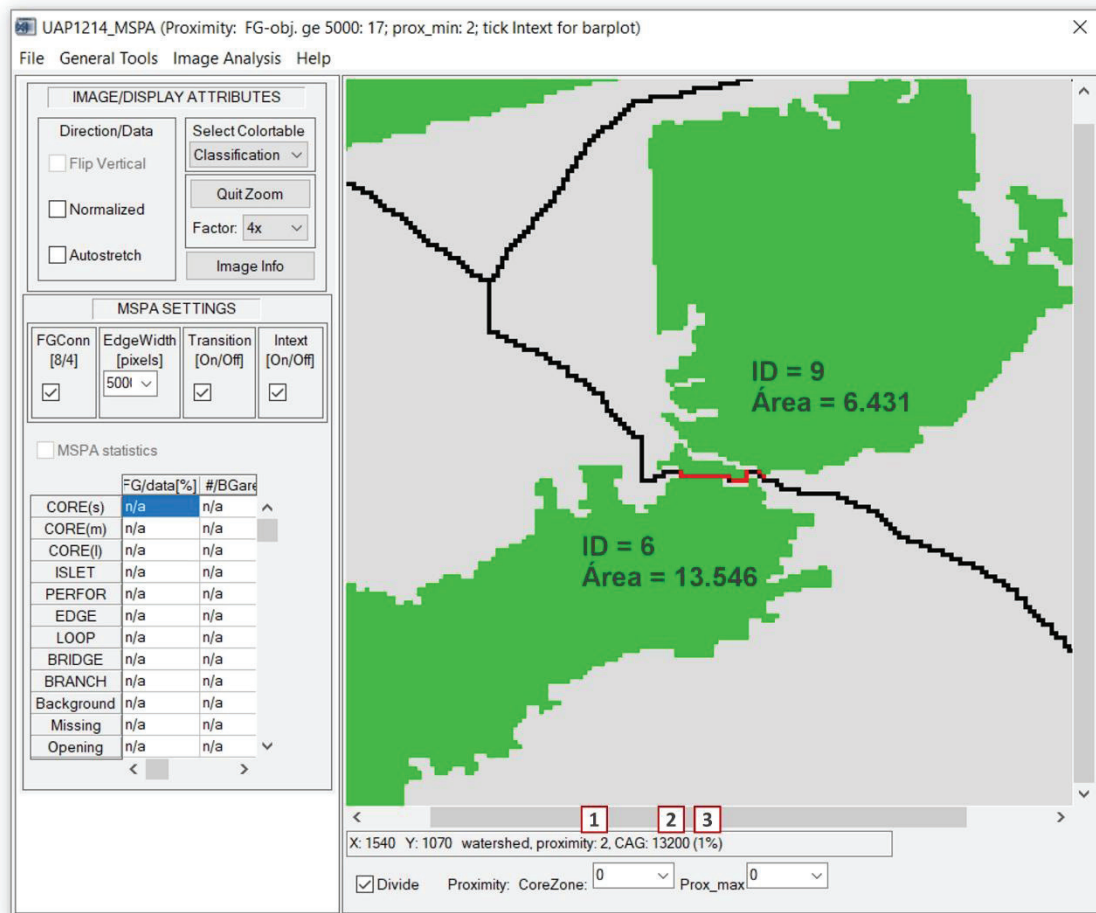


Figura 54. Resultado da análise de Proximidade, baseada em distância, para a UAP1214, exibindo uma aproximação de um dos divisores de água, onde encontram-se destacados em vermelho os pixels de menor distância entre dois fragmentos diferentes para toda a imagem e onde apenas dois pixels são necessários para conectar os dois objetos vizinhos; conforme se pode verificar nas informações disponibilizadas abaixo da imagem, quando o cursor do *mouse* é posicionado sobre a área em vermelho são exibidos: a proximidade (item 1), o Ganho de Área Conectada (CAG) (item 2) e o Ganho Relativo de Área Conectada (CAGrel) (item 3), entre duas componentes da paisagem.

Percentuais maiores implicam que uma área maior será reconectada e, conseqüentemente, indica uma maior eficiência na conexão estabelecida em uma determinada localidade. No caso da UAP1214, a conexão ilustrada na Figura 54 (item 3) resultaria em um ganho relativo de 1%.

Assim, de maneira geral, o módulo “Proximidade” pode ser usado para examinar o entorno de objetos vizinhos, enquanto o “CAG” mede a importância (relativa) de qualquer valor de proximidade. As estatísticas de proximidade para toda a imagem podem ser obtidas ao ativar a opção “*Intext*” no menu “*MSPA Settings*”, fornecendo as três ações apresentadas na sequência (Figura 55):

- a. Histograma do CAG: em uma nova janela um gráfico será gerado, exibindo a série de valores CAG obtidos (mínimo, médio, máximo) para cada valor de proximidade encontrado, ao longo da linha do divisor de águas. A faixa de proximidade padrão varia de [0, prox_max]. Ao clicar no botão azul destacado no item 1 da Figura 55 (a), o gráfico irá exibir os dados para a faixa de proximidade total (Figura 55 (b)). Além disso, o CAG máximo encontrado na imagem, bem como a sua localização (coordenadas x/y), serão apresentados em cor vermelha na área do gráfico.
- b. Histograma de Frequências: em uma nova janela um gráfico será gerado exibindo a frequência que um dado valor de proximidade é encontrado ao longo da linha do divisor de águas.

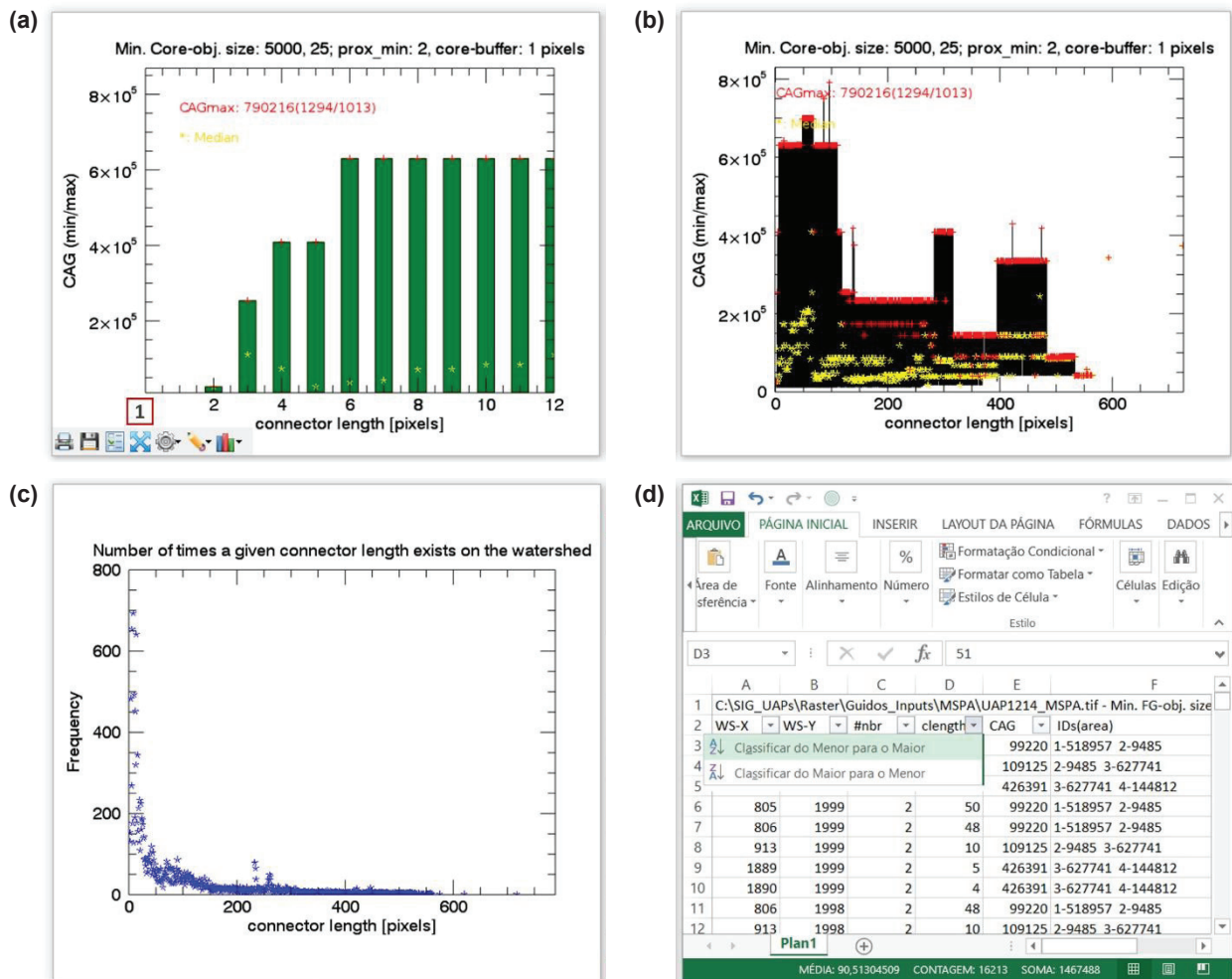


Figura 55. Exemplo ilustrando o resumo dos resultados de “Proximidade” e “Ganho de Área Conectada - CAG” para toda a imagem: (a) valor de CAG para conectores com diferentes comprimentos de Proximidade, podendo-se clicar no ícone de expansão da janela (item 1) para visualizar a faixa de proximidade completa, ilustrada em (b); (c) frequência de proximidade ao longo do divisor de águas; (d) planilha com o resumo das estatísticas.

A faixa de proximidade padrão varia de $[0, \text{prox_max}]$. O gráfico apresentando o histograma para a faixa de proximidade total é exibido na Figura 55 (c).

- c. Planilha com o resumo das estatísticas: essa planilha é gravada no disco em formato CSV (*comma separated values*) contendo: informações a respeito da localização, proximidade, CAG, número, ID e área dos objetos para cada local do divisor de águas (Figura 55 (d)). Esse arquivo pode ser importado e seus dados podem ser classificados de acordo com a propriedade de interesse; por exemplo, para encontrar a localização x/y que fornece os valores mais elevados de CAG ou para listar todos os valores de CAG e a localização espacial de um dado comprimento de conector (proximidade).

Ao salvar a análise de proximidade serão gerados os seguintes cinco arquivos com o prefixo $\langle \text{name} \rangle_{\text{proximity}}_{\langle Y \rangle}_{\langle b1 \rangle}_{\langle b2 \rangle}_{\langle \text{zoom} \rangle}$, onde Y representa o tamanho mínimo selecionado para o objeto em pixels, b1 e b2 correspondem aos valores selecionados para os campos “CoreZone” e “Prox_max”, respectivamente, e o sufixo *zoom* será adicionado se uma sub-região da imagem for salva:

- a. prefix_CAG.tif: imagem ilustrando os valores de CAG ao longo da linha do divisor de águas.

- b. *prefix_viewport.tif*: gráficos iguais aos exibidos na interface do aplicativo *GuidosToolbox*.
- c. *prefix.csv*: estatísticas para os valores de Proximidade/CAG.
- d. *prefix_ws.tif*: imagem ilustrando os valores de proximidade na linha do divisor de águas.
- e. *prefix_ids.tif*: imagem contendo valores positivos para os identificadores únicos dos objetos e valores negativos para dados especiais, com a seguinte notação:
 - -4: dados omitidos ou ausentes.
 - -3: divisor de águas.
 - -2: pixels omitidos do primeiro plano.
 - -1: perfuração no primeiro plano.
 - 0: segundo plano.
 - 1-x: identificador único do objeto.

1.8 Reconexão

O menu “*Cost*” do *GuidosToolbox* fornece diversos módulos projetados para realizar análises de custo (Figura 56): “*Cost Map A*”, “*Cost Map AB*”; e “*Reconnect*”. Ao utilizar dados em formato GeoTiff, os valores de distância dos pixels somente serão significativos para imagens quando estas estiverem em uma projeção de áreas equivalentes (Vogt, 2018). Para análise dos dados da componente de paisagem do IFN-BR foi escolhida a ferramenta “*Reconnect*”, apresentada na sequência.

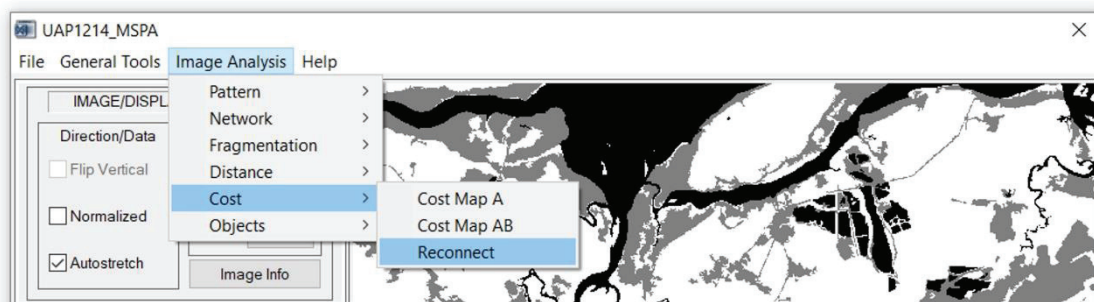


Figura 56. Posicionamento do botão de ativação das análises baseadas em custo.

Essa opção de análise fornece uma interface para examinar possíveis vias de reconexão e/ou detectar pontos de ligação, conhecidos como *stepping-stones* na área de ecologia de paisagens, entre componentes existentes, e funciona em três etapas (Vogt, 2018):

- a. **Definição dos componentes de interesse:** os componentes de interesse devem ter sua área mínima definida (a opção *default* do software é de 5.000 pixels). De forma similar à análise das Zonas de Influência, os componentes de interesse podem ser definidos por sua área (via o parâmetro do *MSPA SETTINGS* “*Edge Width*” (Figura 57, item 1)) ou pela remoção de pixels de borda para a definição de um componente de habitat interior (*Core*) (por meio do painel “*Division*” em “*CoreZone*” (Figura 57, item 2)).

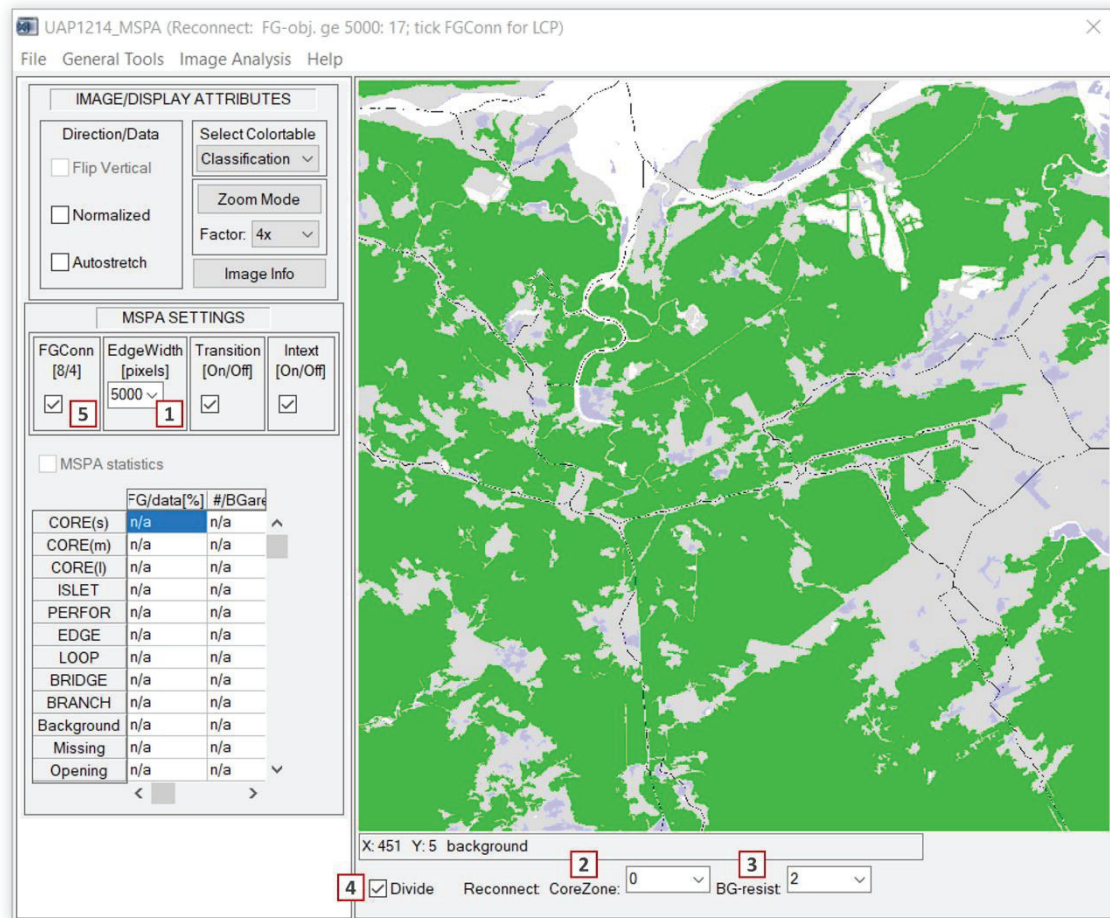


Figura 57. Janela principal do *GidosToolbox* indicando as opções que permitem a configuração dos parâmetros de ajuste para a análise “Reconnect”.

- b. **Resistência:** o cálculo do custo é baseado nos valores de resistência relativa presentes nos pixels da imagem: todos os pixels do primeiro plano (componentes de interesse são apresentados em verde, enquanto os componentes omitidos do primeiro plano são apresentados em azul claro) têm resistência igual a 1%; pixels classificados como Dados Ausentes, com valor igual a 0 (apresentados em branco), apresentam resistência infinita; todos os pixels do segundo plano (apresentados em cinza) têm o mesmo valor de resistência, que pode ser definido no campo “BGresist” abaixo da janela de visualização (Figura 57, item 3). O valor de resistência padrão do software é igual a 2%. Para aplicar qualquer novo parâmetro definido deve-se clicar em “Divide” (Figura 57, item 4).
- c. **Definição do componente inicial/alvo:** clicando no parâmetro *MSPA SETTINGS* “FGConn” (Figura 57, item 5) uma nova janela se abre com informações indicando o procedimento para configurar a imagem para a geração do caminho de menor custo (*Least Cost Path - LCP*). As informações apresentadas indicam que é necessária a realização de dois passos para a identificação dos marcadores para a ferramenta de reconexão (*Reconnect Marker Image*): a identificação do componente “A” inicial e a identificação do componente “B” final. Informa, ainda, que instruções serão fornecidas na barra de exibição abaixo da janela de visualização e que o usuário pode utilizar a aproximação (ferramenta *zoom*), caso necessário. Em seguida, requer que, ao final da leitura, o usuário selecione a opção “Sim” para configurar o “Reconnect Marker Image” (Figura 58 (a)). Para a seleção do componente inicial “A” deve-se clicar sobre o componente de interesse e, em seguida, pressionar a tecla *Enter* e em seguida *Accept* na

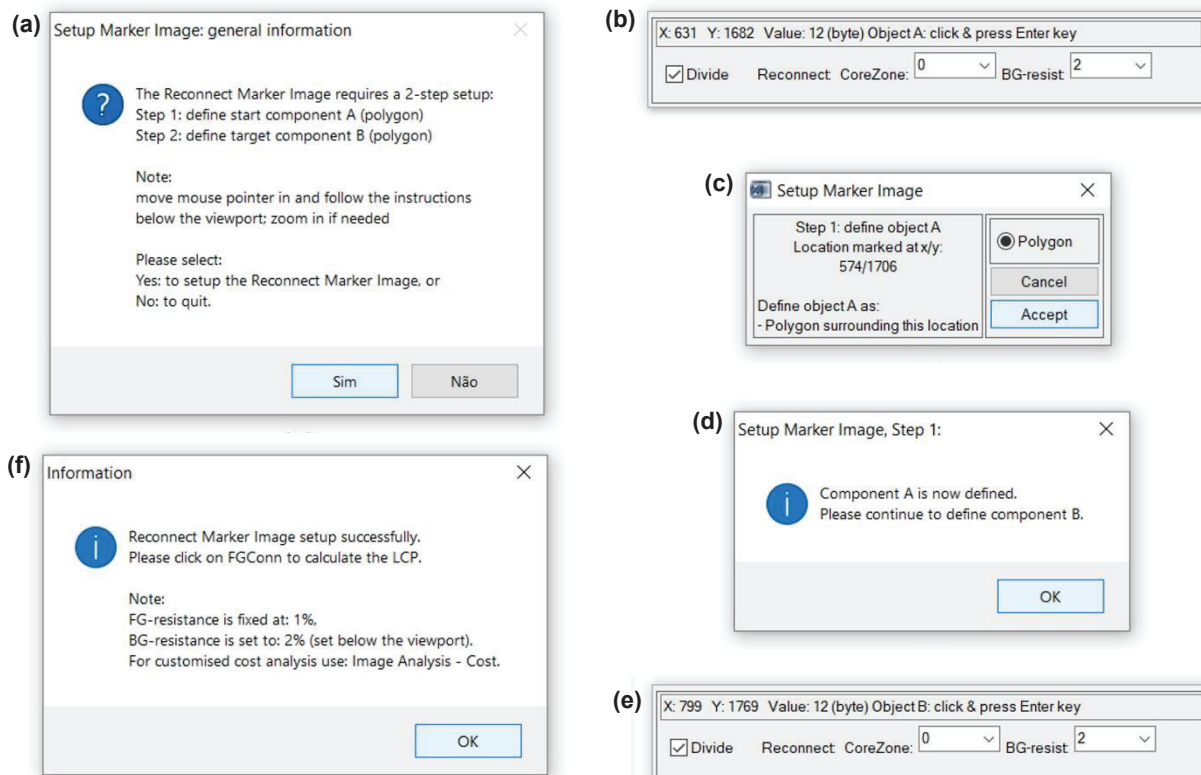


Figura 58. Janelas auxiliares do *GuidosToolbox* guiando o procedimento para configuração do caminho de menor custo (*Least Cost Path - LCP*) entre dois fragmentos.

janela que se abre, confirmando a seleção (conforme descrito na barra inferior de informações do software, apresentada na Figura 58 (b)). Definido o “*Component A*”, seguindo-se as instruções na barra de exibição abaixo da janela de visualização (Figura 58 (b), (c) e (d)), definir o “*Component B*” que representa o destino final do caminho de menor custo (Figura 58 (e)). Após selecionados os componentes de interesse, uma janela de informações será aberta, apresentando os valores de resistência utilizados para o segundo plano e o primeiro plano (Figura 58 (f)).

- d. **Cálculo da reconexão:** após a definição dos componentes inicial e final, clicando no *MSPA SETTINGS “FGConn”* (Figura 57, item 5), novamente será calculado o caminho de menor custo (*Least Cost Path – LCP*) e exibido na cor magenta na imagem apresentada na janela principal do software. Na Figura 59 ilustra-se esse resultado para a UAP1214, conectando os componentes 2 e 4 (item 4), cujo Ganho de Área Conectada relativo (*CAG*) seria de 28% (itens 2 e 3), a partir da restauração de 3 pixels do segundo plano (item 1).

O critério utilizado para a definição dos Fragmentos A e B a serem conectados em cada UAP é o de Ganho de Área Conectada, selecionando-se os dois componentes com maiores valores de *CAG* na paisagem. As informações estão disponíveis na tabela resultante da Análise de Proximidade (<NAME>_proximity_500_0_0.csv), que apresenta os valores de *CAG* para todas as possíveis conexões na paisagem. Ordenando-se os valores de *CAG* do maior para o menor, conforme descrito no item (c) do tópico “1.7.2 Proximidade”, é possível conhecer a conexão indicada entre os dois fragmentos que irão gerar o maior valor de *CAG*.

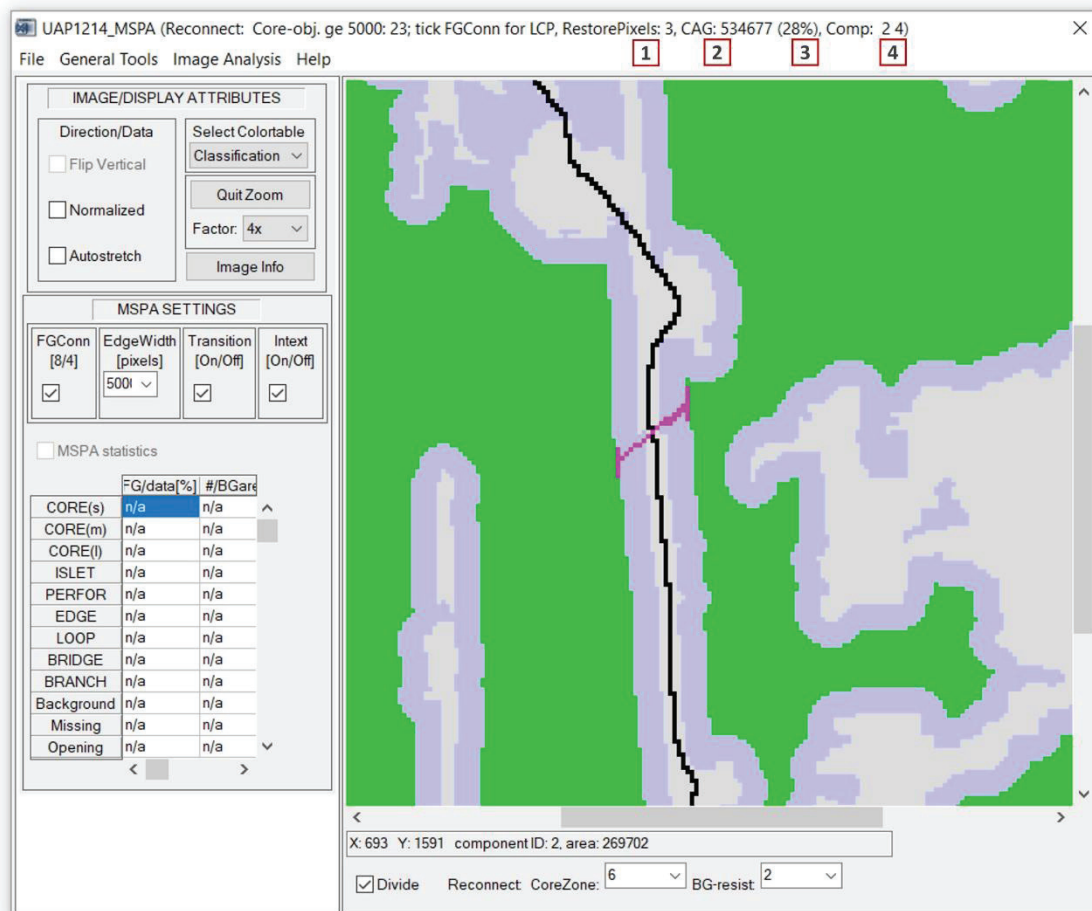


Figura 59. Resultado da Análise de Reconexão para a UAP1214, onde a linha tracejada na cor magenta ilustra o caminho de menor custo para a conexão dos dois componentes da paisagem de maior valor CAG. Os itens 1, 2, 3 e 4 correspondem à quantidade de pixels a serem restaurados, ganho de área conectada absoluto e relativo e os componentes considerados na análise, respectivamente.

1.9 Análise das zonas ripárias

A metodologia adotada para avaliação das zonas ripárias, no âmbito das análises realizadas em escala de paisagem no IFN-BR, baseia-se na conectividade estrutural destes ambientes como corredores de vegetação, no grau de pressão antrópica atuando sobre eles e na simulação de cenários para zonas de proteção ripária. São calculados índices integrados - depois transformados em *scores* - para efetuar um ranqueamento que permite a identificação de áreas prioritárias para a restauração da paisagem, a exemplo do que foi realizado na Europa por Clerici et al. (2011).

A metodologia desenvolvida por Clerici et al. (2011) foi adaptada para análise das UAPs do IFN-BR, já que não se dispõe de um mapa compreensivo das Zonas de Influência Ripária para o território nacional. Assim, estabeleceu-se um valor fixo para delimitá-las - a exemplo do proposto por Ivits et al. (2009) - considerando a faixa máxima exigível pelo Código Florestal, que é de 500 m ao longo de cada margem, para rios com 600 m de largura ou mais, em áreas de preservação permanente não consolidadas.

A análise de conectividade estrutural se inicia com a aplicação da MSPA descrita na Seção 1.2. Em seguida é gerado um grid poligonal de espaçamento 100 m x 100 m (células de 1 hectare) sobre toda a área da UAP e construída uma máscara correspondente à zona ripária (500 m de largura ao longo das margens dos rios). Todas as análises subsequentes serão realizadas apenas dentro dessa máscara e os índices serão calculados para cada célula de 1 hectare.

Primeiramente são selecionados os polígonos das classes “Ponte” (*Bridge*) e “Habitat Interior” (*Core*) resultantes da análise MSPA dentro da máscara da zona ripária, selecionando-se em seguida as células do grid onde ocorrem estes polígonos nas zonas ripárias (Figura 60). O Índice de Corredores Estruturais (ICE_c) revela a proporção da superfície ocupada pelas classes “Ponte” e “Habitat Interior” em cada célula c de 1 ha (100 m x 100 m). Regiões com densas redes de drenagem e extensas áreas naturais apresentam alto ICE_c .

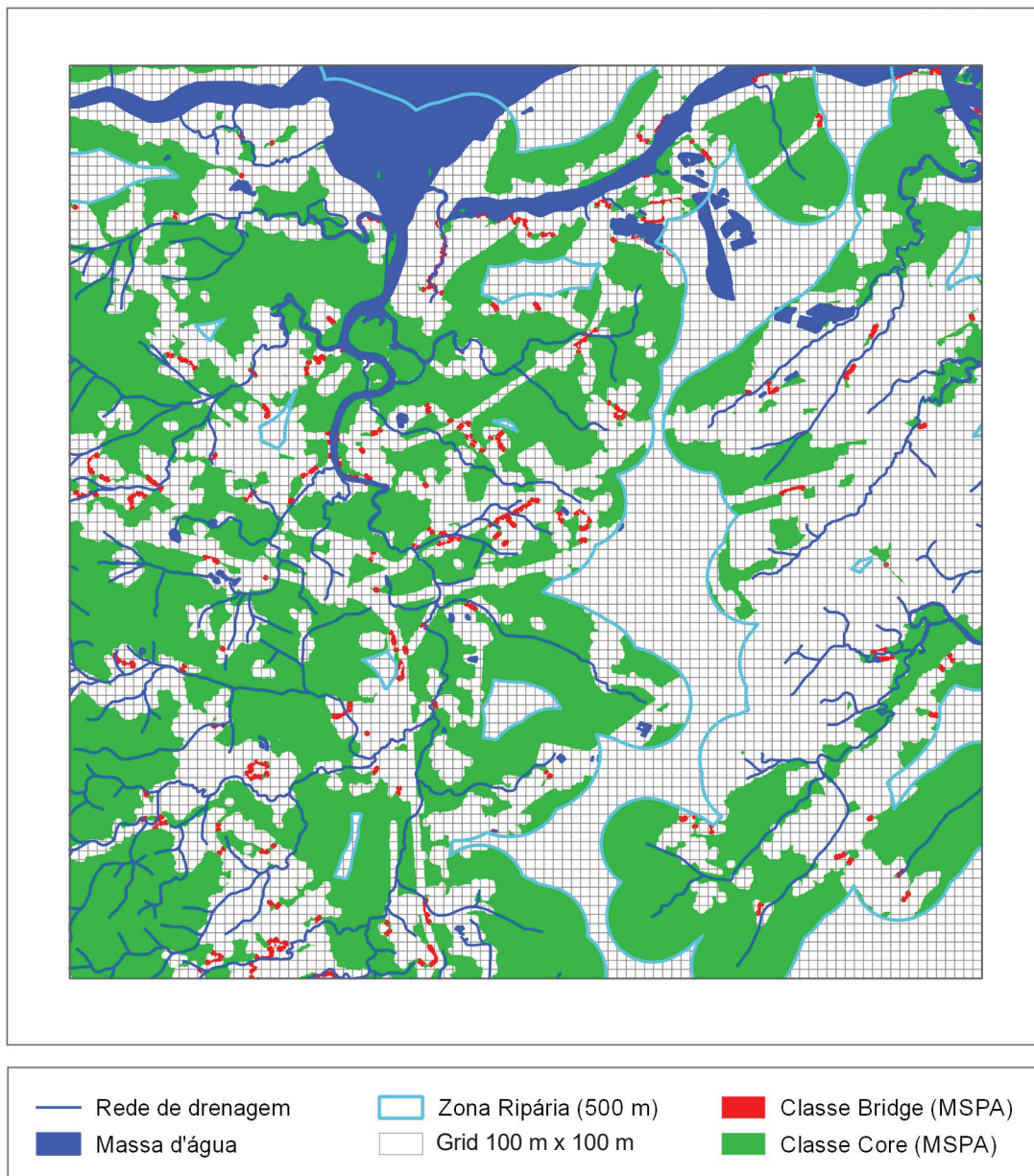


Figura 60. Zonas ripárias estabelecidas com base em *buffers* de 500 m de largura ao longo dos rios da UAP1214 e polígonos correspondentes às classes Ponte e Habitat Interior na análise MSPA, com respectiva legenda.

O índice pode ser calculado aplicando-se a Equação 4:

$$ICE_c = \frac{B_c}{S}$$

Equação (4)

Onde:

B_c = superfície ocupada pelas classes Ponte e Habitat Interior (em ha) na célula c .

S = área da célula c (= 1 ha).

O Índice de Corredores Estruturais sob Pressão Antrópica (ICE_{A_c} , Equação 5) representa uma integração entre o ICE_c e informações sobre a proporção de áreas não-naturais (urbanizadas e agrícolas) nas células c de 100 m x 100 m, que contém polígonos pertencentes às classes “Ponte” ou “Habitat Interior”. Sua aplicação permite identificar onde há presença significativa de corredores ripários estruturais e, ao mesmo tempo, de paisagens antrópicas. Primeiramente calcula-se a proporção da superfície ocupada por classes de uso antrópico em cada célula de 1 ha (A_c), que pode ser obtida a partir da sobreposição do mapa de uso e cobertura da terra sobre as células do grid de 100 m x 100 m em que ocorrem as classes Ponte e Habitat Interior. Em seguida aplica-se a fórmula do índice (Equação 5):

$$ICE_{A_c} = ICE_c \times A_c \quad \text{Equação (5)}$$

Onde:

ICE_c = Índice de Corredores Estruturais na célula c .

A_c = proporção da superfície ocupada por classes de uso antrópico em cada célula c .

Já o Índice de Proteção em Corredores Estruturais sob Pressão Antrópica (ICE_{AP_c} , Equação 6) representa uma integração entre o ICE_{A_c} e informações sobre a proporção de áreas com alguma proteção legal. Para as UAPs, as zonas de proteção ripária são representadas por diferentes larguras de *buffer* ao longo de rios, que correspondem aos limites das Áreas de Preservação Permanente (APPs) estabelecidas no Código Florestal, delimitadas seguindo a metodologia proposta por Jesus e Souza (2016). Leva-se, ainda, em consideração a existência de Unidades de Conservação com regime de Proteção Integral nas áreas abrangidas pelas UAPs, considerando que a proteção legal fornecida pela dimensão da APP nesses ambientes substancialmente excede o disposto na lei, englobando toda a zona ripária (500 m). Assim, calcula-se a proporção da superfície ocupada pela zona de proteção em cada célula de 1 ha (P_c), que pode ser obtida a partir da sobreposição do *buffer* de APP respectivo sobre as células do grid onde ocorrem as classes “Ponte” e “Habitat Interior”. Em seguida aplica-se a fórmula do índice (Equação 6):

$$ICE_{AP_c} = \frac{ICE_{A_c}}{P_c} \quad \text{Equação (6)}$$

Onde:

ICE_{A_c} = Índice de Corredores Estruturais sob Pressão Antrópica.

P_c = proporção de áreas com alguma proteção legal na célula c .

Tal índice permite identificar quais as áreas que abrigam corredores, mas não possuem grau ou extensão de proteção adequados. Se houver poucas áreas protegidas (no denominador), o valor do índice vai aumentar. Altos valores do Índice de Proteção em Corredores Estruturais sob Pressão Antrópica (ICE_{APc}) correspondem a um alto ranking atribuído à célula, indicando significativa presença de corredores ripários estruturais em condições de pressão antrópica e com pouco ou nenhum grau de proteção. Células com altos scores do ICE_{APc} representam regiões prioritárias potenciais para a restauração e manejo de corredores ripários.

Para facilitar comparações entre diferentes cenários na mesma UAP ou em UAPs distintas, recomenda-se padronizar os índices, gerando escores que variam de 0 a 1. Os índices podem ser espacializados e analisados separadamente (Figura 61, Figura 62 e Figura 63). Se o objetivo for analisar um conjunto de UAPs (por região, estado, bioma, etc), recomenda-se efetuar a padronização considerando os resultados de todas as UAPs do conjunto.

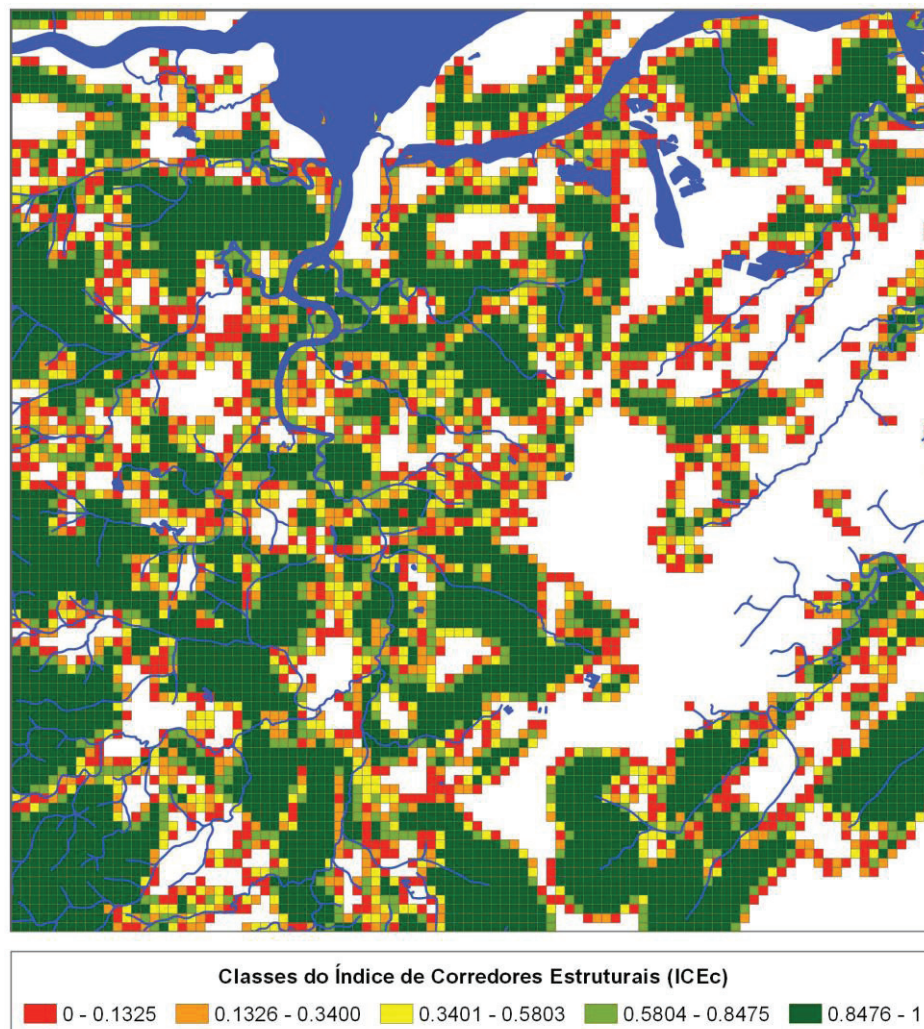


Figura 61. Distribuição espacial do Índice de Corredores Estruturais (ICE_c) para a UAP1214.

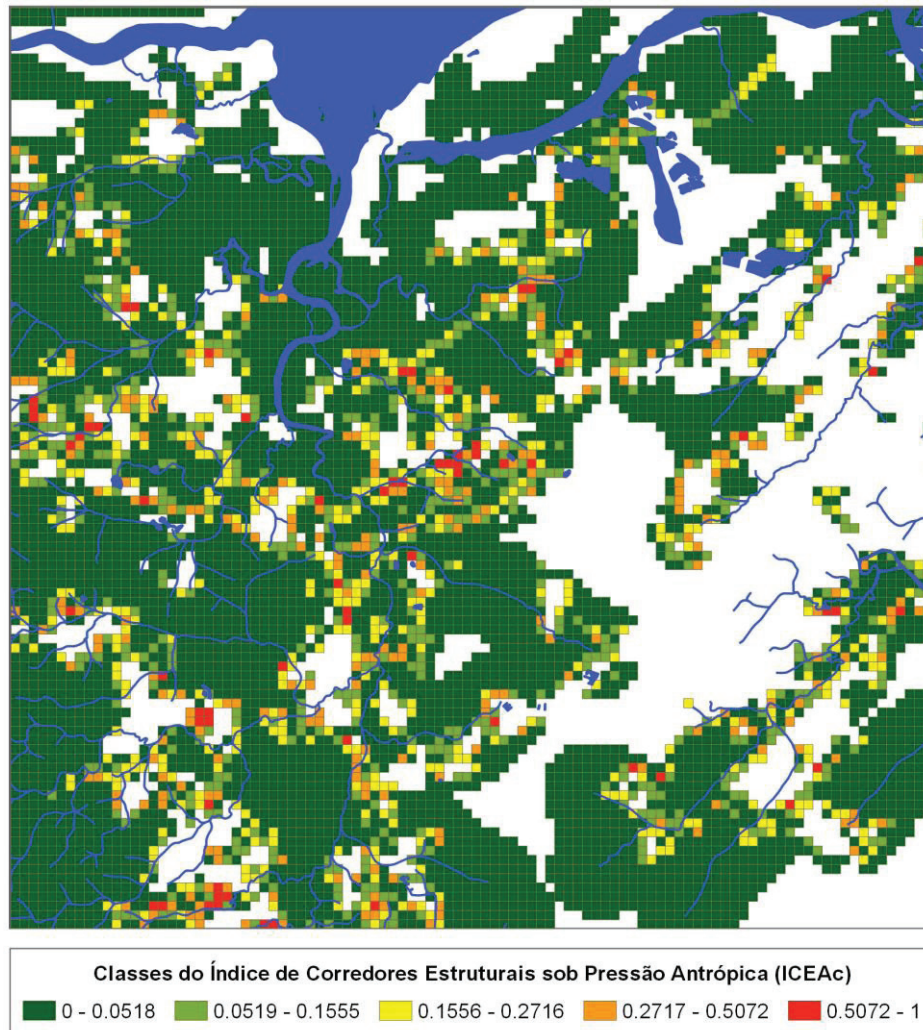


Figura 62. Distribuição espacial do Índice de Corredores Estruturais sob Pressão Antrópica (ICE_{Ac}) para a UAP1214.

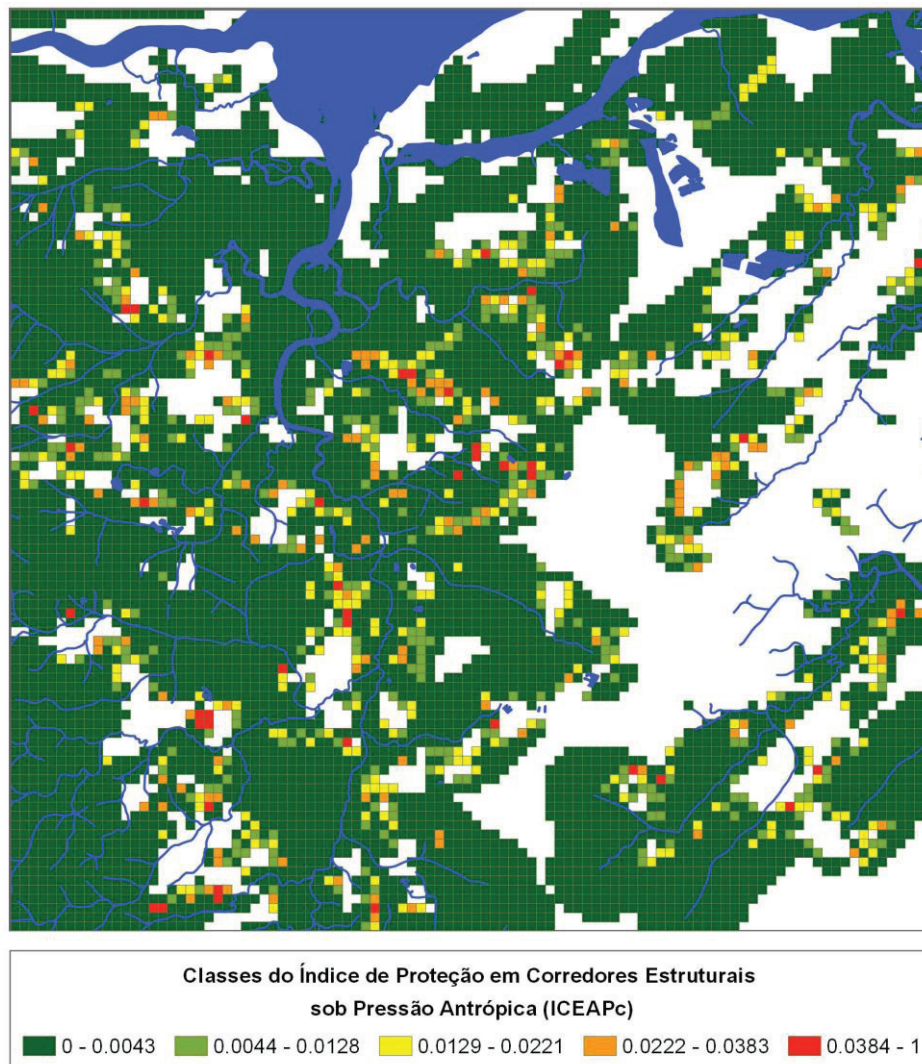


Figura 63. Distribuição espacial do Índice de Proteção em Corredores Estruturais sob Pressão Antrópica (ICE_{A_c}) para a UAP1214.

Para a aplicação da metodologia proposta serão necessárias as camadas de informação que contém a rede hidrográfica, o mapa de uso e cobertura da terra e os resultados da segmentação resultante da MSPA.

Para a realização da análise das zonas ripárias deve-se proceder da seguinte forma:

- a. Gerar o *buffer* de 500 m ao longo dos cursos e massas d'água constantes da camada de informação da rede hidrográfica, denominado "*buffer_500m*" utilizando a ferramenta "*Buffer*" do *ArcMap* disponível a partir do menu principal, sob o item "*Geoprocessing*".
- b. Gerar o arquivo vetorial (*shapefile*) correspondente às Áreas de Preservação Permanente (APP), de acordo com a largura dos rios da UAP, seguindo a metodologia proposta por Jesus e Souza (2016). Para rios inseridos em Unidades de Conservação (UCs) de Proteção Integral deve-se manter o *buffer* de 500 m ao longo dos rios.
- c. Gerar um grid de 100 m x 100 m na forma de polígono para toda a UAP, denominando-a "*grid_100x100m*", utilizando a ferramenta "*Fishnet*" do *ArcMap*, disponível na *ArcToolbox* sob "*DataManagement Tools>Sampling>CreateFishnet*". Acrescentar à tabela um campo tipo texto ("COD_CEL") e copiar os IDs dessa tabela para a nova coluna.

- d. Recortar o mapa de uso e cobertura da terra usando o arquivo “*buffer_500m*”, nomeando-o como “*zonas_uso_ripario_500m*”.
- e. Selecionar na camada de informação “*zonas_uso_ripario_500m*” apenas os registros correspondentes às classes de uso antrópico (solo exposto, influência urbana, agricultura, pastagem e floresta plantada), de forma que apenas as classes floresta natural, outras terras com vegetação lenhosa, outras terras com árvores, gramíneas e herbáceas, superfície com água e dunas e afloramentos rochosos sejam excluídas da seleção. Armazenar o resultado da seleção em novo arquivo, com nome “*uso_antropico_zona_uso_ripario*”.
- f. Recortar o mapa de uso e cobertura da terra usando o arquivo vetorial correspondente às APPs, gerando o arquivo nomeado como “*zonas_riparias_protegidas_APP*”.
- g. Codificar e converter para o formato matricial o mapa de uso e cobertura da terra com tamanho de célula igual a 5 metros e executar a segmentação da MSPA (conforme exposto na Seção 1.2. Análise Morfológica de Padrões Espaciais para a UAP toda, usando largura de borda igual a 30 m (6 pixels), nomeando o arquivo como “*UAP_MSPA.tif*”.
- h. Converter os resultados da segmentação MSPA para o formato vetorial, nomeando o resultado como MSPA.
- i. Gerar nova camada de informação selecionando somente as classes Ponte e Habitat Interior, nomeando o arquivo como “*MSPA_bridge_core*”.
- j. Fazer um recorte do arquivo “*MSPA_bridge_core*” usando a camada de informação “*buffer_500m*”, nomeando o arquivo resultante como “*MSPA_bridge_core_zona_riparia*”. Criar um campo de texto na tabela de atributos e preencher todos os registros com a expressão “*Bridge/Core*”.
- k. Selecionar os elementos de “*grid_100x100m*” que fazem intersecção com “*MSPA_bridge_core_zona_riparia*” e salvá-los em novo arquivo, nominado “*grid__uso_ripario_com_bridge_core*”.
- l. Utilizar a ferramenta “*Union*” disponível a partir do menu principal, sob o item “*Geoprocessing*”, realizando a união espacial dos arquivos “*MSPA_bridge_core_zona_riparia*” e “*grid__uso_ripario_com_bridge_core*”, nomeando o arquivo resultante como “*union_bridge_core_grid*”. Calcular a área em hectares para todas as feições, a partir da tabela de atributos, criando um novo campo e utilizando a ferramenta “*Calculate Geometry*” disponível, clicando-se com o botão direito do mouse sobre o nome do atributo na tabela de atributos.
- m. Selecionar apenas os registros que contenham o marcador “*Bridge/Core*” a partir da seleção por atributos. Calcular a proporção de área ocupada pelas classes “Ponte” e “Habitat Interior” na célula de 100 m x 100 m (*area_ha*).
- n. Utilizar a ferramenta “*Summarize*” para calcular a somatória de proporção por célula a partir da coluna “*COD_CEL*”. O valor resultante corresponde ao Índice de Corredores Estruturais (*ICE*) dentro da zona ripária.
- o. Recortar a camada de informação “*uso_antropico_zona_uso_ripario*” utilizando o arquivo “*grid__uso_ripario_com_bridge_core*”, gerando o arquivo “*uso_antropico_grid_bridge_core*”. Criar um novo campo texto (“*CLASSE*”) e preencher todos os registros com “Antrópico”.

- p. Utilizando a extensão “*Union*”, cruzar a camada de informação “*uso_antropico_grid_bridge_core*” com o arquivo “*grid_100x100m_em_uso_ripario_com_bridge_core*”, gerando o arquivo “*union_antropico_grid*”. Calcular área em hectares para todas as feições.
- q. Selecionar apenas os registros que forem correspondentes a uso antrópico. Calcular a proporção de área ocupada pela classe de uso antrópico em cada célula (area_ha). Calcular a somatória de proporção por célula utilizando a coluna “COD_CEL” com a ferramenta “*Summarize*” do *ArcMap*. Unir esta tabela àquela contendo o ICE_c por meio da função “*Join*”.
- r. Multiplicar o percentual resultante pelo índice ICE_c , gerando o Índice de Corredores Estruturais sob Pressão Antrópica (ICE_{Ac}). Será obtido um valor para cada célula do *grid* dentro da zona ripária equivalente a 500 m de *buffer*.
- s. Recortar a camada de informação “*zonas_riparias_protegidas_APP*” utilizando o arquivo “*grid_uso_ripario_com_bridge_core*”, nomeando o arquivo resultante como “*APP_em_grid_com_bridge_core*”.
- t. Utilizar a ferramenta “*Union*” para a união espacial dos arquivos “*APP_em_grid_com_bridge_core*” e “*grid_uso_ripario_com_bridge_core*”, nomeando o arquivo resultante como “*union_APP_grid*”. Calcular a área em hectares para todas as feições.
- u. Selecionar apenas os registros em que os códigos das classes sejam diferentes de zero, correspondendo às APPs. Fazer o cálculo da proporção da área ocupada pela APP em relação à área total da célula do *grid* (area_ha).
- v. Calcular a somatória de proporção por célula utilizando a coluna “COD_CEL” com a ferramenta “*Summarize*” para todos os registros. Unir esta tabela às demais através do comando “*Join*”.
- w. Dividir o índice ICE_{Ac} pelo percentual resultante, gerando o Índice de Proteção em Corredores Estruturais sob Pressão Antrópica (ICE_{APc}). Será obtido um valor para cada célula do *grid* dentro da zona ripária equivalente a 500 m de *buffer*. Haverá divisões por zero, que correspondem a áreas dentro da zona ripária de 500 m onde não há proteção legal. Nesse caso, inserir valor de proporção = 0,000001 apenas como artifício para evitar a divisão por zero. Os valores do índice para essas células serão bastante altos, o que é coerente com a interpretação de que existe escassez de áreas protegidas onde ocorrem corredores estruturais ripários representados por “Pontes” e áreas de “Habitat Interior”, existindo alguma pressão antrópica.
- x. O somatório dentro de cada célula do *grid* representa o valor resultante do índice ICE_{AP} .
- y. Para cada UAP, aplicar uma padronização do tipo mínimo-máximo para cada um dos índices, exceto o ICE_c , usando a Equação 7.

$$I_{res\ c} = \frac{I_c - I_{min}}{I_{max} - I_{min}} \quad \text{Equação (7)}$$

Em que:

$I_{res\ c}$ = valor reescalonado (padronizado) para o índice I_c (ICE_{Ac} e ICE_{APc} , separadamente) na célula c .

I_c = índice I_c (ICE_{Ac} e ICE_{APc} , separadamente) na célula c .

I_{max} = valor máximo para o índice I_c em questão, para o conjunto de dados utilizado.

I_{min} = valor mínimo para o índice I_c em questão, para o conjunto de dados utilizado.

1.9.1 Índices de corredores e conectores estruturais presentes nas zonas ripárias

As etapas descritas anteriormente para a obtenção dos índices ICE_c , ICE_{Ac} , ICE_{APc} fornecem esses valores para as células de 1 hectare utilizadas no grid de 100 m x 100 m. Assim, uma UAP terá tantos valores para os índices quantas células existirem da interseção desse grid com as áreas de “Habitat Interior” e “Ponte” dentro da zona ripária (itens “k” e “l”, resultando no arquivo “*union_bridge_core_grid*”). De tal maneira, para a obtenção de um valor único, de cada índice, para a UAP, deve-se calcular a média dentro dessa amplitude de valores, para cada um dos índices, após a padronização dos dados. Dessa forma, ao final do processamento resultarão três índices de corredores e conectores estruturais ripários presentes na paisagem (Rosot et al., 2018), com um valor único por UAP, variando de 0 a 1.

- **Índice de corredores estruturais (ICE_c):** representa a proporção total da superfície ocupada pela presença de corredores estruturais em cada célula c de 1 hectare. A quantidade de corredores ripários representada por esse índice é diretamente proporcional à extensão das zonas ripárias presentes na célula c . Isto significa que valores elevados para ICE_c ocorrerão em áreas com condições que permitam a presença de zonas ripárias, isto é, em áreas com altas proporções cobertura natural e seminatural e uma densa rede fluvial.
- **Índice de corredores estruturais sob pressão antrópica (ICE_{Ac}):** deriva da integração do ICE_c com informações a respeito da proporção de cobertura não natural (áreas artificiais e agrícolas) presentes na célula. O valor desse índice é elevado quando há uma grande proporção da área da célula ocupada por terras urbanizadas ou agrícolas; conseqüentemente, células com valores mais altos indicam situações mais críticas sob uma perspectiva de conservação e de gestão das zonas ripárias.
- **Índice de proteção em corredores estruturais sob pressão antrópica (ICE_{APc}):** este índice considera a proporção de corredores estruturais sob pressão antrópica, bem como informações sobre a proporção de áreas com algum esquema de proteção (P_c). Para as UAPs, as zonas de proteção ripária são representadas pelos limites de APP estabelecidos no Código Florestal de acordo com a largura dos rios, definidas seguindo a metodologia descrita por Jesus e Souza (2016). Tal índice permite identificar quais as áreas abrigam corredores, mas não possuem grau ou extensão de proteção adequada. Se houver poucas áreas protegidas, o valor global do índice irá aumentar. Altos valores para esse índice correspondem a um alto ranqueamento atribuído à célula, indicando significativa presença de corredores ripários estruturais em condições de pressão antrópica e com pouco ou nenhum grau de proteção. Células com altos valores de ICE_{APc} representam regiões prioritárias potenciais para a restauração e manejo de corredores ripários.

Para a UAP1214, utilizada como exemplo nesse manual, os valores de índices obtidos são apresentados na Tabela 16, a seguir.

Tabela 16. Índices de corredores e conectores estruturais ripários na paisagem da UAP1214.

Índices	Valor
Índice de corredores estruturais (ICE_c)	0,6451
Índice de corredores estruturais sob pressão antrópica (ICE_{Ac})	0,0503
Índice de proteção em corredores estruturais sob pressão antrópica (ICE_{APc})	0,0023

1.10 Diagnóstico final - qualidade da paisagem florestal

A qualidade da paisagem florestal das UAPs em termos de sua estrutura, composição e configuração espacial é avaliada por meio de indicadores e representada por sete grupos de índices. A combinação linear dos índices selecionados, atribuindo-lhes diferentes pesos, gera um valor único por UAP, o que permite estabelecer comparações entre elas e priorizar aquelas onde ações de recuperação, manutenção ou melhorias relativas a determinados aspectos da paisagem são mais necessárias. Os índices mais representativos selecionados dentro de cada grupo foram:

- Composição da paisagem:** soma das proporções de cobertura arbórea e/ou arbustiva (“Floresta Natural”; “Outras Terras com Vegetação Lenhosa”; “Outras Terras com Árvores”) e outras áreas naturais/seminaturais (“Gramíneas e Herbáceas” e “Floresta Plantada”) para cada UAP.
- Modelo de padrão morfológico:** proporção de áreas de habitat interior (*core*) no primeiro plano da UAP; ou seja, áreas pertencentes a classes naturais com cobertura arbórea e/ou arbustiva, localizadas além da distância de 30 metros de borda de outras classes (segundo plano).
- Modelo de mosaico da paisagem:** proporção de classes de mosaico de padrão natural (classe NN + N); ou seja, áreas de cobertura arbórea/arbustiva com, no mínimo, 80% de vizinhança natural/seminatural, e menos de 10% de áreas artificiais ou com agricultura e pastagem, em seu entorno imediato (dentro de um raio de aproximadamente 50 m).
- Modelo de interface de bordas:** proporção de bordas dos fragmentos de cobertura arbórea/arbustiva com interface natural (BO_{NN}).
- Modelo de conectividade da paisagem:** índice de probabilidade de conectividade (*PC*); probabilidade de que dois pontos, colocados aleatoriamente dentro da paisagem, se localizem em áreas que são acessíveis entre si.
- Fragmentação na paisagem:** índice de fragmentação do primeiro plano da paisagem.
- Análise dos corredores e conectores estruturais em zonas ripárias na paisagem:** índice de corredores estruturais sob pressão antrópica sob algum esquema de proteção (ICE_{APc}) em zonas de influência ripária.

Cada índice individualmente foi submetido a uma padronização “mínimo-máximo”, por meio da Equação 8:

$$x_{pad} = \frac{(x_i - x_{min})}{(x_{max} - x_{min})} \quad \text{Equação (8)}$$

Em que:

x_{pad} : novo valor, padronizado, para a variável x .

x_{max} : máximo valor da variável x para o conjunto de dados.

x_{min} : mínimo valor da variável x para o conjunto de dados.

x_i : valor original da variável x .

Assim, para cada UAP devem ser somados os valores normalizados das sete variáveis (índices), por meio da Equação 9. O valor final deve ser calculado reescalando essas somatórias em uma escala de 0 a 10.

$$S = (a \times 1,5) + b + c + (d \times 1,5) + e + (1 - f) + (1 - g) \quad \text{Equação (9)}$$

Em que:

a : índice de composição da paisagem.

b : índice do modelo de padrão morfológico do habitat.

c : índice do modelo de mosaico da paisagem.

d : índice do modelo de interface de bordas.

e : índice do modelo de conectividade da paisagem.

f : índice de fragmentação.

g : índice de corredores e conectores estruturais nas zonas ripárias.

Para os índices mais importantes na identificação da qualidade do componente florestal na paisagem foram atribuídos pesos mais altos no cálculo da nota final, sendo 1,5 para a proporção de áreas naturais e seminaturais na UAP e também 1,5 para a proporção de bordas com interface natural (BO_{NN}). Para os demais índices o peso foi considerado igual a 1, exceto no caso do índice de fragmentação do primeiro plano e do índice de proteção em corredores estruturais sob pressão antrópica (ICE_{APc}), cujos valores influenciam os cálculos de forma inversamente proporcional quando comparados aos demais – ou seja, quanto mais alto o valor, pior a qualidade da paisagem florestal para o índice avaliado, não podendo ser adicionados diretamente à nota final. Estes valores entraram com o sinal invertido na conta da nota final.

Agradecimentos

Os autores agradecem aos especialistas do *Joint Research Centre* (JRC) da União Europeia, René Beuchle, Dario Simonetti e Peter Vogt por seu constante suporte técnico, sem o qual este trabalho não seria o mesmo.

Referências

- CLERICI, N.; WEISSTEINER, C. J.; PARACCHINI, M. L.; STROBL, P. **Riparian zones: where green and blue networks meet: Pan-European zonation modelling based on remote sensing and GIS.** Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2011. 62 p. (Report EUR 24774 EN).
- ESTREGUIL, C.; MOUTON, C. **Measuring and reporting on forest landscape pattern, fragmentation and connectivity in Europe: methods and indicators.** Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2009. 69 p. (Report EUR 23841 EN).
- ESTREGUIL, C.; RIGO, D. de; CAUDULLO, G. A proposal for an integrated modelling framework to characterise habitat pattern. **Environmental Modelling and Software**, v. 52, n. 1, p. 176-191, 2014. DOI: 10.1016/j.envsoft.2013.10.011.
- FAO. **FRA 2015: terms and definitions.** Rome, 2012. 36 p. (FAO. Forest Resources Assessment Working Paper, 180). Disponível em: <<http://www.fao.org/3/a-ap862e.pdf>>. Acesso em: 5 mar. 2018.
- IBGE. **Área territorial brasileira: informações sobre a metodologia para cálculo de áreas.** Rio de Janeiro, 2016. Disponível em: <https://ww2.ibge.gov.br/home/geociencias/cartografia/default_territ_area.shtm>. Acesso em: 3 nov. 2017.
- IBGE. **Manual técnico de uso da terra.** 3. ed. Rio de Janeiro, 2013. 171 p.
- IVITS, E.; CHERLET, M.; MEHL, W.; SOMMER, S. Estimating the ecological status and change of riparian zones in Andalusia assessed by multi-temporal AVHRR datasets. **Ecological Indicators**, v. 9, n. 3, p. 422-431, 2009. DOI: 10.1016/j.ecolind.2008.05.013.
- JAEGER, J. A. G.; SOUKUP, T.; MADRIÑÁN, L. F.; SCHWICK, C.; KIENAST, F. **Landscape fragmentation in Europe.** Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2011. 87 p. (EEA Report, 2/2011).
- JESUS, J. B.; SOUZA, B. B. Methodology for automatically delimiting Permanent Preservation Areas along water courses: the use of GIS in the hydrological basin of the Sergipe River, Brazil. **Revista Árvore**, v. 40, n. 2, p. 229-234, 2016. DOI: 10.1590/0100-67622016000200005.
- LINDENMAYER, D.; HOBBS, R. J.; MONTAGUE-DRAKE, R. et al. (2008) A checklist for ecological management of landscapes for conservation. **Ecology Letters**, v. 11, n. 1, p. 78-91, 2008. DOI: 10.1111/j.1461-0248.2007.01114.x.
- LUZ, N. B.; MARAN, J. C.; GARRASTAZÚ, M. C.; ROSOT, M. A. D.; FRANCISCON, L.; HOLLER, W. A.; GAIAD, N. P.; OLIVEIRA, Y. M. M.; FREITAS, J. V. **Manual de análise de paisagem: volume 1: procedimentos para a execução do mapeamento de uso e cobertura da terra.** Colombo: Embrapa Florestas, 2018a. 92 p. (Embrapa Florestas. Documentos, 316).
- LUZ, N. B.; MARAN, J. C.; ROSOT, M. A. D.; GARRASTAZU, M. C.; FRANCISCON, L.; OLIVEIRA, Y. M. M.; FREITAS, J. V. **Manual de análise de paisagem: volume 2: procedimentos para a execução do controle de qualidade do mapeamento do uso e cobertura da terra.** Colombo: Embrapa Florestas, 2018b. 37 p. (Embrapa Florestas. Documentos, 317).
- METZGER, J. P. O que é ecologia de paisagens? **Biota Neotropica**, v. 1, n. 1-2, p. 1-9, 2001.
- RIITTERS, K. H.; COULSTON, J. W.; WICKHAM, J. D. Fragmentation of forest communities in eastern United States. **Forest Ecology and Management**, v. 263, n. 1, p. 85-93, 2012a. DOI: 10.1016/j.foreco.2011.09.022.
- RIITTERS, K. H.; WICKHAM, J. D. Decline of forest interior conditions in the conterminous United States. **Scientific Reports**, v. 6, n. 2, p. 1-4, 2012b.
- RIITTERS, K. H.; WICKHAM, J. D.; O'NEILL, R. V.; JONES, K. B.; SMITH, E. R.; COULSTON, J. W.; WADE, T. G.; SMITH, J. H. Fragmentation of Continental United States Forests. **Ecosystems**, v. 5, n. 1, p. 815-822, 2002.
- RIITTERS, K. H.; WICKHAM, J. D.; WADE, T. Evaluating anthropogenic risk of grassland and forest habitat degradation using land-cover data. **Landscape Online**, v. 13, n. 1, p. 1-14, 2009.

ROSOT, M. A. D.; MARAN, J. C.; LUZ, N. B. da; GARRASTAZU, M. C.; OLIVEIRA, Y. M. M. de; FRANCISCON, L.; CLERICI, N.; VOGT, P.; FREITAS, J. V. de. Riparian forest corridors: a prioritization analysis to the Landscape Sample Units of the Brazilian National Forest Inventory. **Ecological Indicators**, v. 93, p. 501-511, 2018. DOI: 10.1016/j.ecolind.2018.03.071.

SAURA, S. Evaluating forest landscape connectivity through coneфор sensinode 2.2. In: LAFORTEZZA, R.; CHEN, J.; SANESI, G.; CROW, Th. R. (Ed.). **Patterns and processes in forest landscapes: multiple use and sustainable management**. [S.l.]: Springer, 2006. p. 403-422.

SAURA, S.; RUBIO, L. A common currency for the different ways in which patches and links can contribute to habitat availability and connectivity in the landscape. **Ecography**, v. 33, n. 3, p. 523-537, 2010.

SAURA, S.; TORNÉ, J. Coneфор Sensinode 2.2: a software package for quantifying the importance of habitat patches for landscape connectivity. **Environmental Modelling e Software**, v. 24, n. 1, p. 135-139, 2009.

SOILLE, P.; VOGT, P. Morphological segmentation of binary patterns. **Pattern Recognition Letters**, v. 30, n. 4, p. 456-459, 2009.

TEJERA, R.; HERNANDO, A.; PÉREZ-PALOMINO, A.; VELÁZQUEZ, J.; NÚÑEZ, M. V. **Biodiversity and conservation status of a beech (*Fagus sylvatica*) habitat at the southern edge of species distribution**. [S.l.]: INTECH Open Access Publisher, 2012.

VOGT, P. **Measuring forest area density to quantify forest fragmentation**. Ispra: European Commission, Joint Research Centre, 2018a. 12 p.

VOGT, P. **MSPA Guide**. Ispra: European Commission, Joint Research Centre, 2016a. 9 p.

VOGT, P. **User guide of GuidosToolbox**: release 2.5, revision 2. Ispra, European Commission, Joint Research Centre, Institute for Environment and Sustainability, Forest Resources and Climate Unit, 2016b. 42 p.

VOGT, P. **User guide of GuidosToolbox**: release 2.6, revision 8. Ispra: European Commission, Joint Research Centre, 2018b. 47 p.

WICKHAM, J. D.; RIITTERS, K. H.; WADE, T. G.; VOGT, P. A national assessment of green infrastructure and change for the conterminous United States using morphological image processing. **Landscape and Urban Planning**, v. 94, n. 3, p. 186-195, 2010.

Embrapa

Florestas