



UNIDADES BÁSICAS DE COMPARTIMENTAÇÃO DO MEIO FÍSICO (UBC)

1. Área do projeto

O projeto englobou toda a área do Estado de São Paulo.

2. Contratação

A empresa FUNCATE – FUNDAÇÃO DE CIÊNCIA, APLICAÇÕES E TECNOLOGIA ESPACIAIS foi contratada pela Coordenadoria de Planejamento Ambiental da Secretaria de Meio Ambiente do Estado de São Paulo (CPLA/SMA) para a realização dos trabalhos. A delimitação de Unidades Básicas de Compartimentação do Meio Físico (UBC) é um dos produtos do projeto intitulado “Delimitação de sub-bacias, estruturação de base de dados do meio físico e delimitação de unidades homogêneas do uso e ocupação do solo urbano”, que conta com financiamento do Fundo Estadual de Recursos Hídricos (FEHIDRO), sob o código 2010-CORHI-112, executado por essa Coordenadoria em parceria com o Instituto Geológico (IG).

3. Problema abordado e escopo

A cartografia do meio físico no Estado de São Paulo apresenta grande heterogeneidade em termos de escala, abrangência e métodos, própria de cada ramo do conhecimento e época de geração, o que dificulta a elaboração de produtos integrados.

A análise espacial do território por meio de unidades territoriais básicas – UTB e atributos associados favorece a integração entre os sistemas ambientais, culturais e socioeconômicos (FERREIRA et al., 2013). Essa abordagem permite identificar para uma determinada área as suas potencialidades de uso, além de limitações, vulnerabilidades e fragilidades naturais, bem como os riscos, informações fundamentais para a gestão dos recursos hídricos e do meio ambiente. Além disso, a estruturação de uma base temática de dados agregada em unidades territoriais apresenta vantagens em relação a métodos que utilizam o cruzamento de diversos planos de informação para a elaboração de mapas temáticos, pois adota limites fixos e facilmente reconhecíveis por usuários não-especialistas, permitindo a comparação entre avaliações ambientais e socioeconômicas diversas, simplificando a organização e o processamento de dados.

A definição dessas unidades segue a proposta do Ministério do Meio Ambiente - MMA (2006) que utiliza o termo Unidade Territorial Básica – UTB. As UTB são os polígonos resultantes da intersecção do mapa de unidades básicas de compartimentação fisiográfica (UBC), que refletem elementos do substrato geológico-geomorfológico-pedológico da paisagem, e do mapa de unidades homogêneas da cobertura e uso da terra (UHCT), reconhecidas por feições de imagens, da análise de seu arranjo espacial e de suas propriedades.



O presente produto constitui elemento intermediário que posteriormente será processado com a malha de UHCT para geração dos polígonos das UTB (Figura 1). Não obstante esta característica, o produto em si pode ser utilizado para análises temáticas que utilizem preferencialmente atributos do substrato geológico-geomorfológico do meio físico.

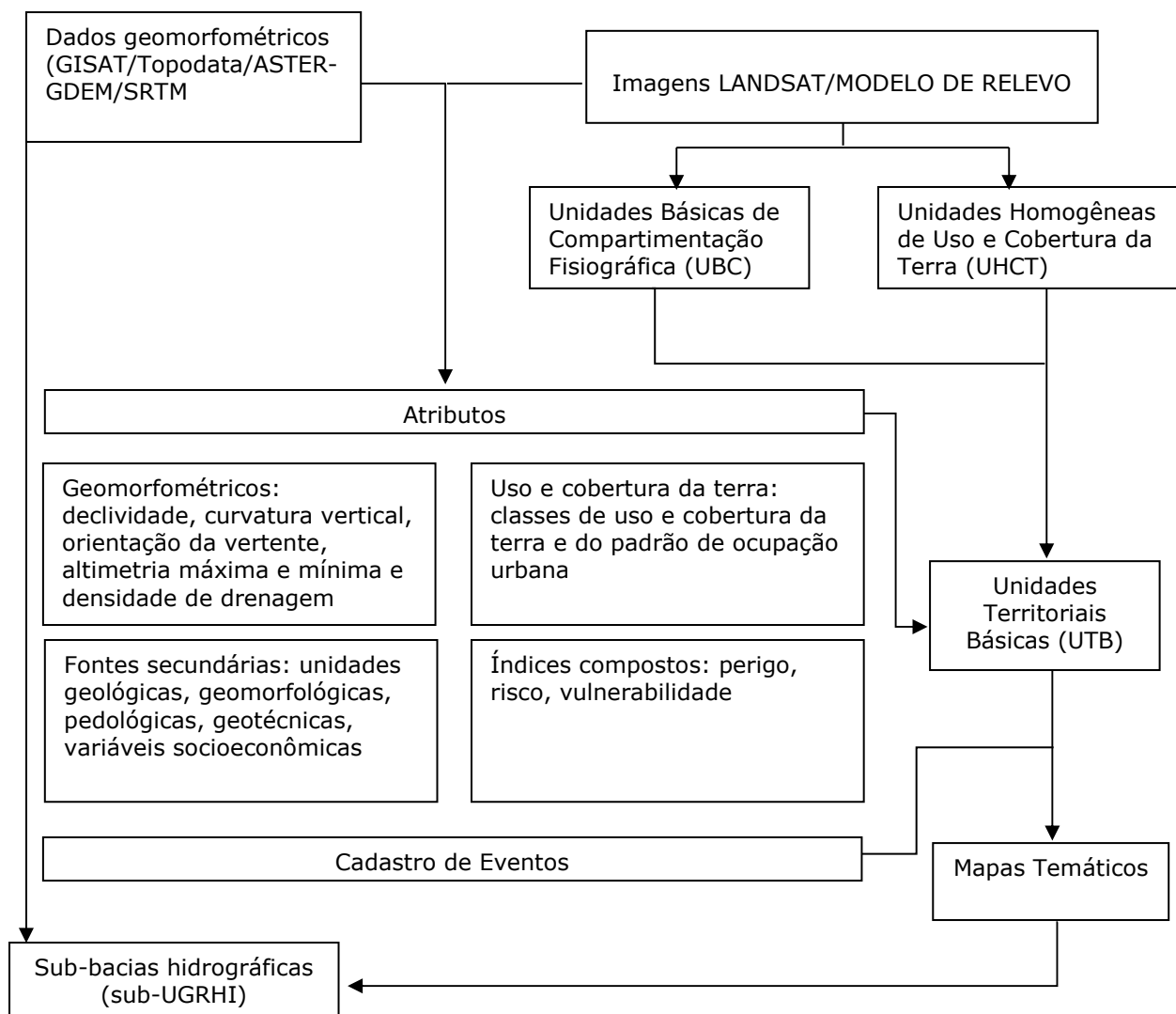


Figura 1 - Fluxograma de geração de mapas temáticos a partir das Unidades Territoriais Básicas (UTB).

4. Materiais e Métodos

4.1. Delimitação da UBC

O procedimento detalhado para a compartimentação fisiográfica é apresentado entre outros, por Vedovello (2000). Consiste em identificar em imagens de sensoriamento remoto divisões fisiográficas em diferentes níveis hierárquicos de classificação relacionados às condições morfoambientais e genéticas da região estudada. A identificação dos



GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO
SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE
COORDENADORIA DE PLANEJAMENTO AMBIENTAL

compartimentos fisiográficos, delimitando porções do terreno que se distinguem das áreas vizinhas, definem as Unidades Básicas de Compartimentação – UBC.

As UBC constituem as menores unidades de análise do terreno, obtidas a partir da fotointerpretação sistemática de elementos texturais e tonais em produtos de sensoriamento remoto. Esta análise sistemática é feita com base nas diferenças de homogeneidade, tropia e assimetria de elementos texturais e tonais das imagens de satélite. Considera, ainda, propriedades e características do terreno tais como tipo de elemento textural, densidade de textura, arranjo textural, grau de estruturação e ordem de estruturação dos elementos, segundo abordagem adaptada de Soares & Fiori (1976). O princípio considerado é o de que a textura na imagem reflete características e propriedades dos materiais que são imageados, ou seja, existem fatores relacionados ao alvo que controlam a textura. Existe, portanto, uma relação entre textura e alvo, sendo possível realizar inferências sobre o mesmo, a partir das propriedades e características texturais em imagens.

A delimitação das unidades de compartimentação é feita com base no princípio de que a identificação de zonas homogêneas na imagem corresponde à identificação de diferentes áreas do meio físico, onde ocorre uma associação determinada dos elementos componentes desse meio. Após esta delimitação é realizada a avaliação de homogeneidade e de similaridade, que implica na análise das propriedades dos elementos texturais utilizados na interpretação, objetivando identificar possíveis heterogeneidades internas nas unidades, que determinem sua subdivisão, ou unidades que devam ser classificadas sob a mesma denominação.

Os polígonos foram gerados a partir de visualização em tela com escala entre 1:50.000 e 1:75.000. Como base de classificação hierárquica adotou-se a classificação geomorfológica de Ross & Moroz (1997) como exibida na tabela 1.

Para elaboração do produto Unidades Básicas de Compartimentação (UBC), a priori, foram atribuídas palhetas de cores aos arquivos rasters de modelo digital de elevação (MDE) de diferentes fontes (GISAT, Topodata, ASTER GDEM) com o intuito de facilitar a interpretação. Ao mosaico de imagens LANDSAT, fornecido pela Coordenadoria de Planejamento Ambiental (CPLA), aplicou-se a composição colorida R(5) G(4) B(3). Em seguida, iniciou-se o processo de vetorização dos quatro níveis definidos entre a FUNCATE e a Secretaria do Meio Ambiente (SMA) por meio de interpretação visual em uma escala de 1:75.000. A vetorização teve como referência os mapas geomorfológico de Ross & Moroz (1997) e geológico do Estado de São Paulo de Perrota et al. (2005). Nessa identificação das UBC foram definidos quatro níveis hierárquicos que a seguir são detalhados:



GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO
SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE
COORDENADORIA DE PLANEJAMENTO AMBIENTAL

Tabela 1. Níveis hierárquicos para delimitação das UBC tendo como referências os mapas geomorfológico (Ross & Moroz, 1997) e geológico do Estado de São Paulo (Perrota et al., 2005).

Nível 1 – Unidades morfoestruturais	Nível 2 – Unidades morfoesculturais	Nível 3	Nível 4
Coberturas Sedimentares Inconsolidadas - Pleistoceno e Holoceno (Quaternário); Símbolo: Q (quaternário)	Planícies Fluviais. Depósitos aluvionares associados à drenagem atual; distribuem-se por todo o Estado cortando as unidades anteriores Símbolo: A (aluviação)	1 Paraná, 2 Paraíba do Sul, Ribeira, 3 Tietê, outros Símbolos: 1, 2, 3, ... , n (conforme o número arbitrado para o rio)	Ubc1, ubc2, etc Símbolo: U1, U2, Un
	Planícies Litorâneas. Depósitos marinhos, fluviais e mistos que formam as planícies costeiras do Litoral do Estado Símbolo: L (litorânea)	1 Iguape-Cananéia, 2 Praia Grande-Iperoíbe, 3 Santista, 4 Bertioga, 5 Litoral Norte, outros Símbolos: 1, 2, 3, ... , n (conforme o número arbitrado para a unidade)	Ubc1, ubc2, etc Símbolo: U1, U2, Un
	Depósitos coluvionares e de talus associados a encostas montanhosas e depósitos colúvio-eluvionares e coberturas detríticas indiferenciadas Símbolo: C (colúvio)	Planaltos, serras ou morros isolados aos quais os depósitos coluvionares se associam. Ex.: depósitos coluvionares associados à escarpa da Serra do Mar – Caraguatatuba Unidades Qce, Qdi, do mapa geológico; Símbolos: 1, 2, 3, ... , n (conforme o número arbitrado para a unidade)	Símbolo: U1, U2, Un
Bacias Sedimentares do Mioceno e Paleógeno (Terciário); Símbolo: T (terciário)	Sem divisão nesse nível. Símbolo: X (sem divisão)	1 Planalto de São Paulo, 2 Depressão Médio Paraíba, 3 Depressão do Baixo Ribeira, 4. Formação Rio Claro, outros Símbolos: 1, 2, 3, ... , n (conforme o número arbitrado para a unidade)	Ubc1, ubc2, etc Símbolo: U1, U2, Un
Bacia Vulcano-Sedimentar do Paraná - Depressão Periférica (Paleozóico-Triássico); Símbolo: D (depressão periférica)	Depressão indiferenciada (símbolo D), Planaltos, (símbolo P), serras/escarpas (E), morros isolados (M)	1 Depressão Moji-Guaçu, 2 Depressão Médio Tietê, 3 Depressão Paranapanema, Outros Símbolos: 1, 2, 3, ... , n (conforme o número arbitrado para a unidade)	Ubc1, ubc2, etc Símbolo: U1, U2, Un
Bacia Vulcano-Sedimentar do Paraná - Planalto Ocidental Paulista Símbolo: O (planalto ocidental); (Jurássico-Cretáceo)	Planalto Centro Ocidental indiferenciado (símbolo O), Planaltos (símbolo P), serras/escarpas (E), morros isolados (M)	1 Planalto Centro Ocidental, 2 Planalto em Patamares Estruturais de Ribeirão Preto, 3 Planaltos Residuais de Franca/Batatais, 4 Planalto Residual de São Carlos, 5 Planalto Residual de Botucatu, 6 Planalto Residual de Marília Símbolos: 1, 2, 3, ... , n (conforme o número arbitrado para a unidade)	Ubc1, ubc2, etc Símbolo: U1, U2, Un
Cinturão Orogênico do Atlântico; Símbolo: P (Proterozóico)	Planaltos (símbolo P), serras/escarpas (E), morros isolados (M)	1 Planalto da Mantiqueira, 2 Planalto da Bocaina, 3 Planalto de Paraitinga/Paraibuna, 4 Planalto de Ibiúna/São Roque, 5 Planalto de Jundiá, 6 Planalto de Serra Negra/Lindóia, 7 Planalto Paulistano/Alto Tietê, 8 Planalto do Alto Rio Grande, 9 Planalto do Ribeira/Turvo, 10 Planalto de Guapiara, 11 Planalto do Médio Vale do Paraíba, 12 Serra do Mar, 13 Serra da Mantiqueira, 14 Serra da Bocaina, 15 Morros Isolados, Símbolos: 1, 2, 3, ... , n (conforme o número arbitrado para a unidade)	Ubc1, ubc2, etc Símbolo: U1, U2, Un
Corpos D'Água	Corpos D'Água	1. Represa Paraibuna; 2. Represa Paranapanema; etc	A1, A2, etc



GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO
SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE
COORDENADORIA DE PLANEJAMENTO AMBIENTAL

- Nível 1 – Unidades morfoestruturais: São os três grandes grupos do mapa de Ross & Moroz adicionando as planícies e são as chamadas unidades morfoestruturais. Correspondem às grandes macroestruturas, como os escudos antigos, as faixas de dobramentos proterozóicos, as bacias paleomesozóicas e os dobramentos modernos e áreas de sedimentação cenozóicas. Estão representadas por determinadas características estruturais, litológicas e geotectônicas que evidentemente estão associadas às suas gênese;
- Nível 2 – Unidades morfoesculturais: Estas correspondem aos compartimentos gerados pela ação climática ao longo do tempo geológico, com intervenção dos processos tectogenéticos. Associa-se aos produtos morfológicos de influência climática atual e pretérita. As morfoesculturas estão representadas pelo modelado ou morfologias ou tipologias de formas geradas sobre diferentes morfoestruturas pelo desgaste erosivo promovido por ambientes climáticos diferenciados tanto no tempo quanto no espaço. A morfoescultura é marcada por padrões de fisionomias de relevo desenvolvidas ao longo de muito tempo através de atividades climáticas que se sucederam no tempo e no espaço que imprimiram e continuam a imprimir no relevo as suas marcas;
- Nível 3: Continuam sendo unidades morfoesculturais (nível 2), mas classificadas segundo a localização geográfica;
- Nível 4: É a unidade básica de compartimentação, inserida dentro de cada um dos níveis descritos.

As unidades dos mapas geológico e geomorfológico citados são apenas referências dos níveis hierárquicos. Elas foram divididas ou agrupadas conforme a interpretação dos modelos digitais de terreno e mosaico de imagens LANDSAT.

Para cada uma das unidades morfoestruturais adotou-se critérios de interpretação específicos discriminados a seguir.

- *Bacia Vulcano-Sedimentar do Paraná: Depressão Periférica (Paleozóico-Triássico)*

Para a delimitação da divisa entre a depressão periférica e o planalto ocidental paulista foi utilizada a declividade do Topodata, como apresentado na Figura 2. A diferença de altitude entre essas duas grandes unidades morfoestruturais também orientou suas identificações. Neste ponto destaca-se que na maior parte do estado foi utilizado o modelo digital de elevação (MDE) gerado a partir dos dados Topodata, porém em algumas regiões de relevo mais acidentado, utilizaram-se também os dados do GISAT para auxílio na interpretação.

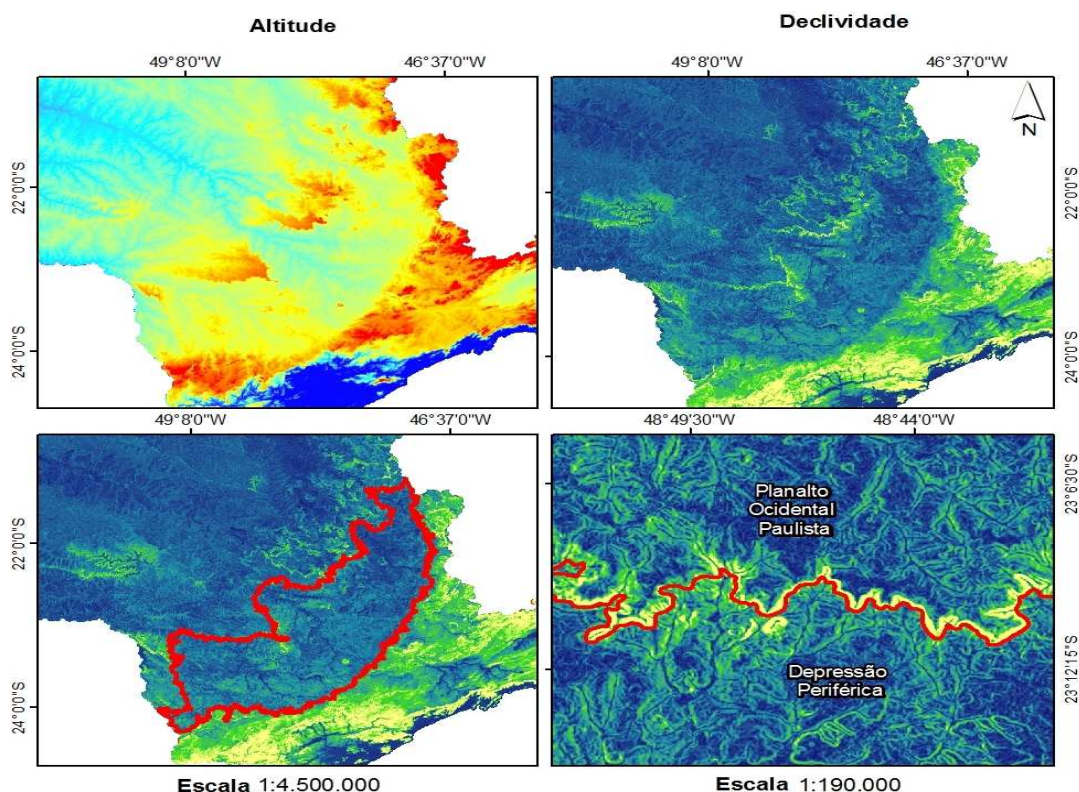


Figura 2. Dados utilizados para a delimitação da divisa entre a Depressão Periférica e o Planalto Ocidental Paulista.

As unidades morfoesculturais - depressões, planaltos, serras/escarpas e morros isolados - referentes ao nível 2 desta unidade foram vetorizadas com base na declividade e no relevo sombreado gerados a partir dos dados do Topodata. A divisão da depressão indiferenciada no terceiro nível foi estabelecida conforme Ross & Moroz (1997): Depressão Moji-Guaçu, Depressão Médio-Tietê e Depressão Paranapanema, como detalhado na Figura 3.

Na Figura 4 são apresentados exemplos das unidades morfoesculturais encontradas nessa região. Na Figura 5 é apresentada uma parte da compartimentação em UBC da Depressão do Paranapanema para exemplificação da metodologia utilizada no nível 4. Como há de se notar, foi levado em consideração o padrão textural do relevo sombreado.

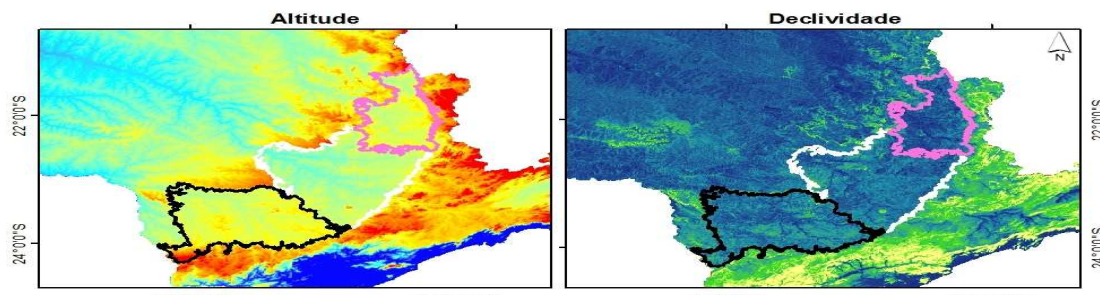


Figura 3. Divisão da depressão indiferenciada pertencente à unidade morfoestrutural da Depressão Periférica.

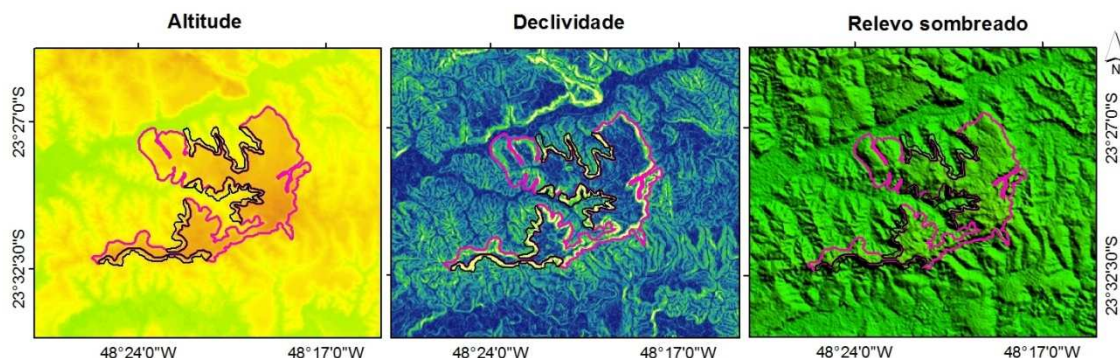


Figura 4. Morro isolado localizado na depressão indiferenciada.

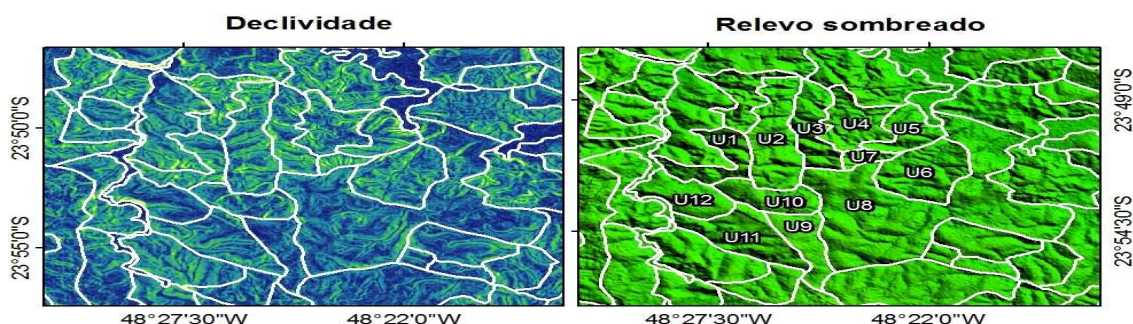


Figura 5. Área da Depressão do Paranapanema compartimentada em UBC.

- *Bacia Vulcano-Sedimentar do Paraná: Planalto Ocidental Paulista (Jurássico-Cretáceo)*

A identificação desta unidade foi resultado da sua diferenciação com relação à Depressão Periférica, previamente descrita.

Os planaltos, serras/escarpas e morros isolados referentes ao nível 2 desta unidade morfoestrutural foram identificados e vetorizados levando em consideração a altitude e a declividade. Ressalta-se que os planaltos foram classificados no nível 3 segundo Ross & Moroz (1997): Planalto em Patamares Estruturais de Ribeirão Preto, Planaltos Residuais de Batatais/Franca, Planalto Residual de São Carlos, Planalto Residual de Botucatu e Planalto Residual de Marília, como apresentado na Figura 6. Destaca-se que foi acrescentado o Planalto de Sarutaia, descrito de forma inédita neste projeto.

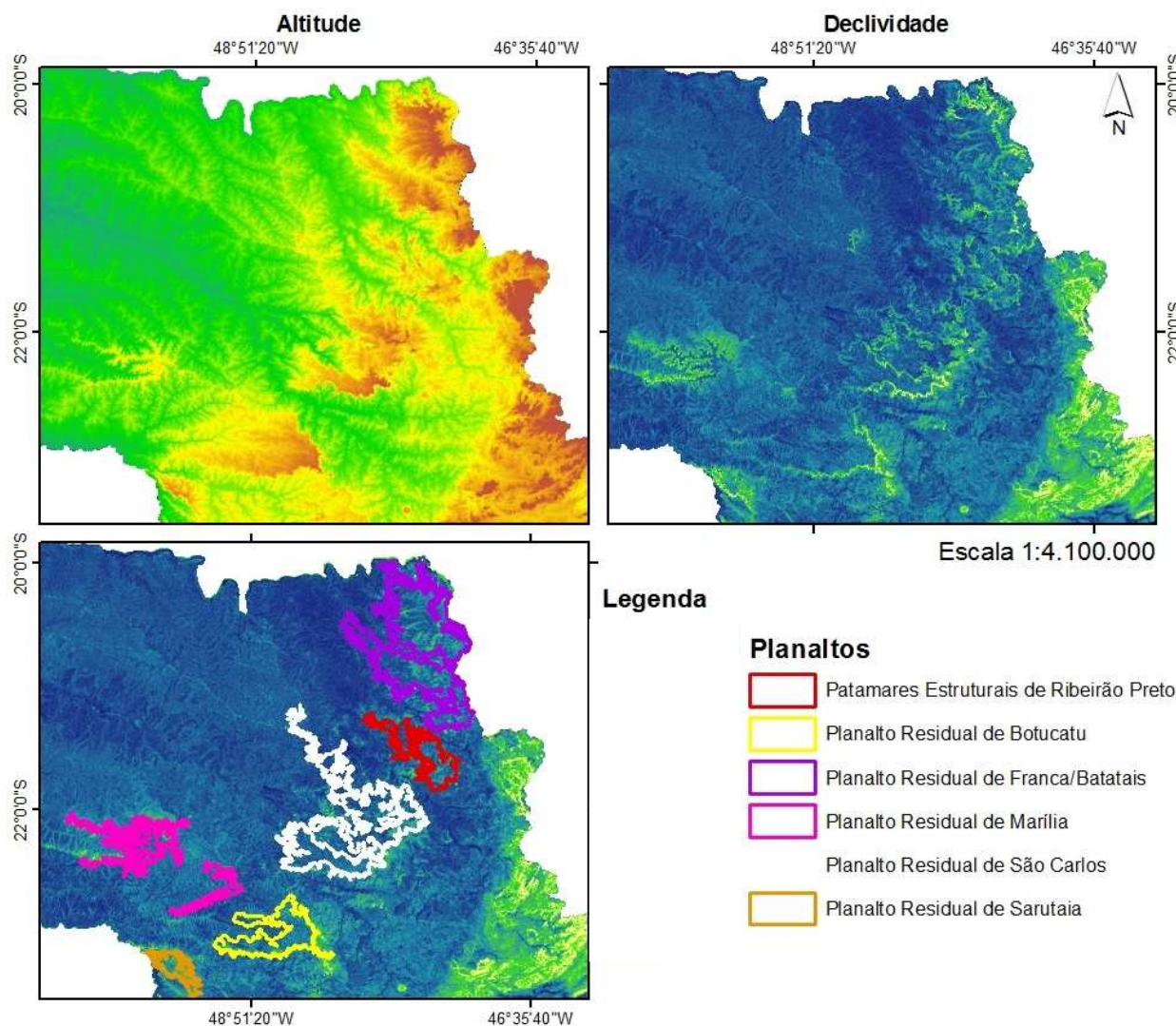


Figura 6. Planaltos localizados no Planalto Ocidental Paulista.

A compartimentação desses planaltos foi feita considerando principalmente o relevo sombreado, sendo que a vetorização teve como parâmetro também a declividade. A Figura 7 representa uma área compartimentada em UBC (nível 4) dentro do Planalto Residual de São Carlos. A representação dos morros isolados e das escarpas não é apresentada neste item, pois exemplos de ambos já foram abordados na Figura 4, que serve como exemplo da metodologia aplicada também nesta região.

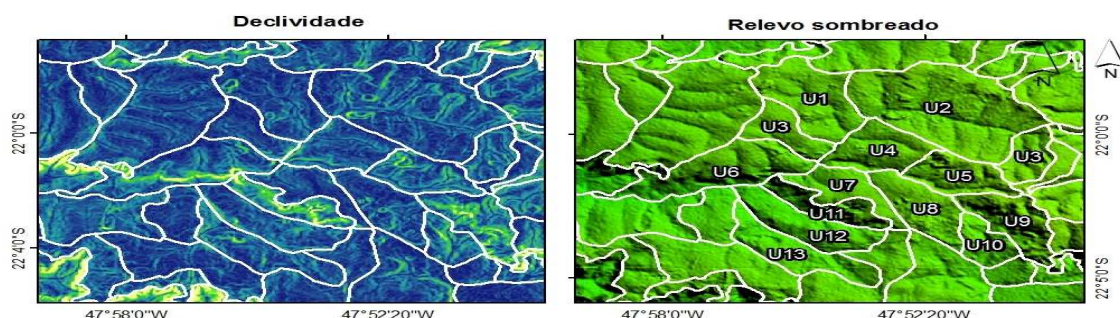


Figura 7. Área compartimentada em UBC no Planalto Residual de São Carlos.

Nas áreas mais aplainadas do Planalto Ocidental Paulista – que compreendem o Planalto Centro Ocidental –, a identificação dos grandes blocos foi feita primeiramente com base na declividade e na drenagem (densidade e padrão). Já a vetorização, realizada a uma escala mais aproximada – ao redor de 1:50.000 –, levou em consideração a drenagem, a declividade e as curvas de nível, conforme apresentado na Figura 8, que mostra também a compartimentação em UBC dessas áreas (nível 4).

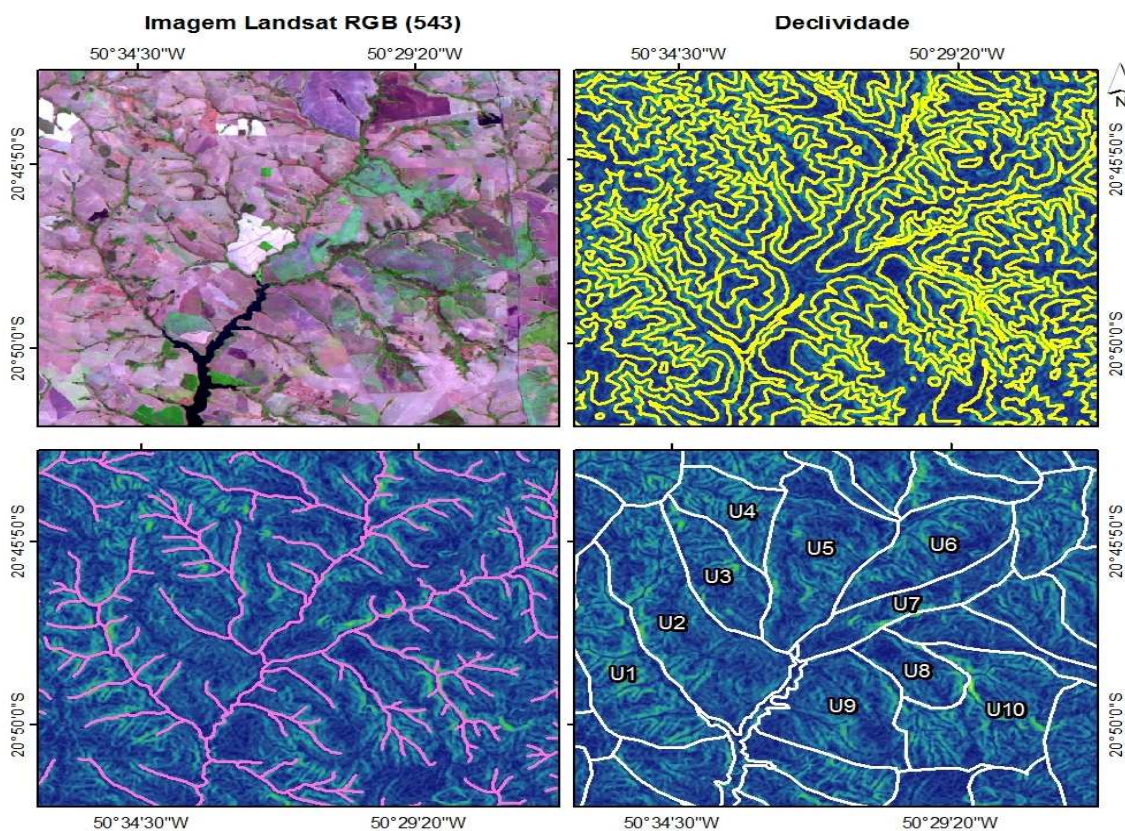


Figura 8. Área compartimentada em UBC no Planalto Ocidental Paulista.

- *Bacias Sedimentares do Mioceno e Paleógeno (Terciário)*

A vetorização das Bacias Sedimentares do Terciário no estado foi feita levando em consideração o arquivo raster de altitude do GISAT, o arquivo raster de declividade gerado a partir dos dados do Topodata e a composição colorida do mosaico de imagens LANDSAT disponibilizado pela CPLA.

Essa unidade morfoestrutural não se subdivide no nível 2, sendo que no nível 3 foi utilizada a classificação estabelecida por Ross & Moroz (1997): Planalto de São Paulo, Depressão do Médio Paraíba e Depressão do Baixo Ribeira, como apontado na Figura 9.

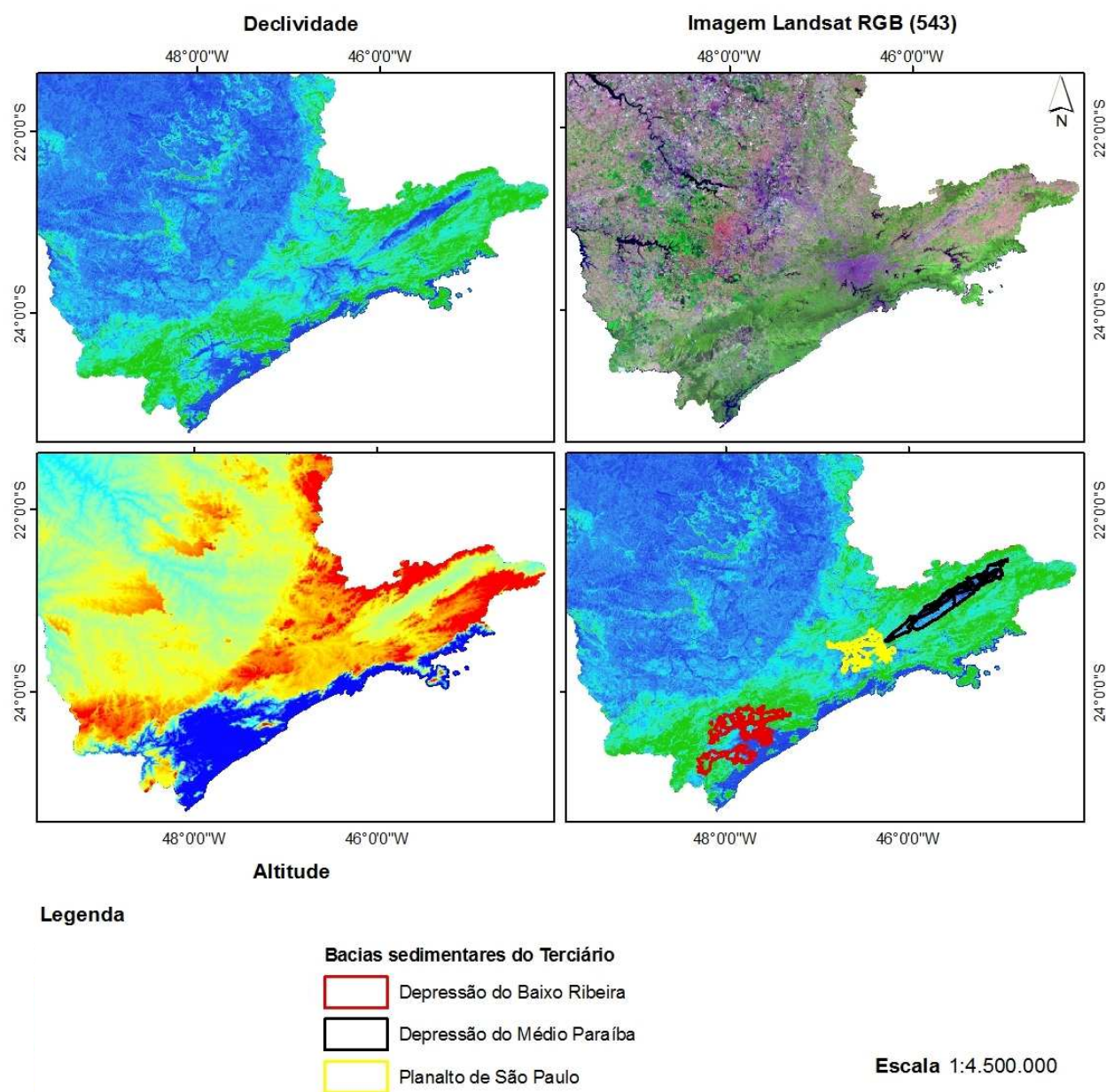


Figura 9. Representação dos principais dados utilizados para a vetorização das bacias sedimentares do Mioceno e Paleógeno (Terciário).

Na etapa de compartimentação das UBC, que compreende o nível 4 dessa unidade, foi considerado o comportamento do relevo sombreado gerado a partir dos dados Topodata. Áreas mais homogêneas com relação à textura foram agrupadas e os dados de declividade foram utilizados como auxílio para nortear a vetorização dos compartimentos. A Figura 10 apresenta com maior detalhe a vetorização do Planalto de São Paulo, mostrando mais uma vez que as encostas foram englobadas aos planaltos. Esse exemplo serve como parâmetro para as áreas de depressão, que se basearam nos mesmos padrões de compartimentação.

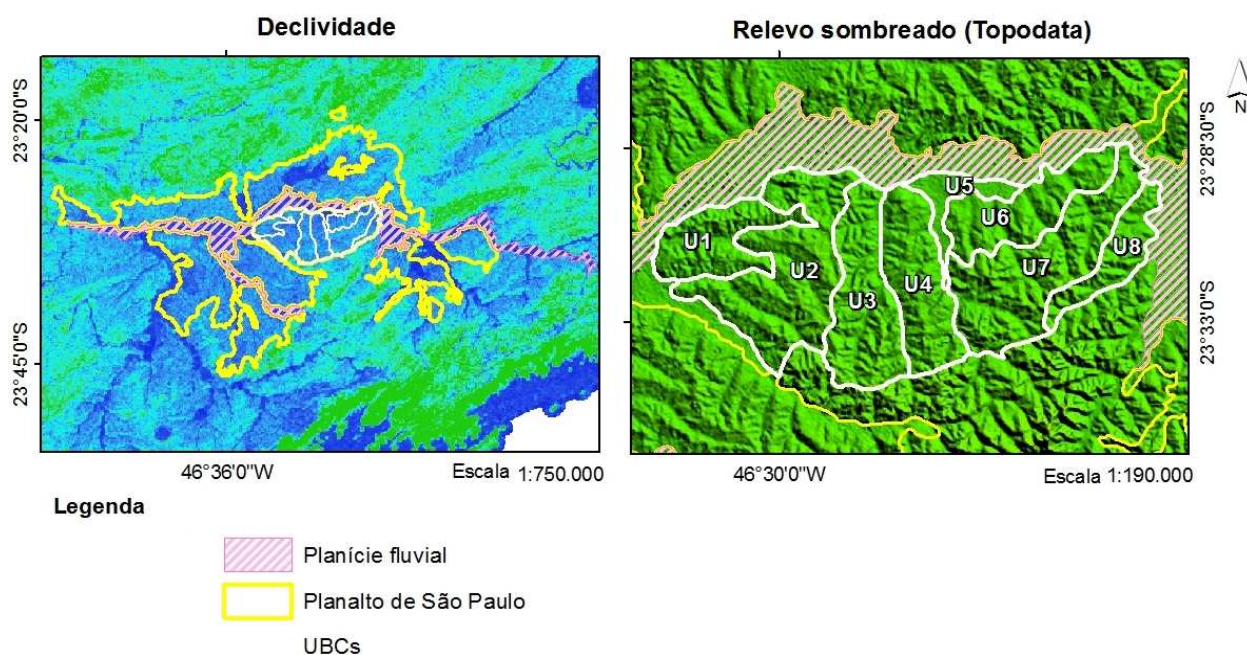


Figura 10. Detalhe de vetorização do Planalto de São Paulo.

- *Coberturas Sedimentares Inconsolidadas – Pleistoceno e Holoceno (Quaternário)*

A princípio, a vetorização das planícies no estado - tanto as fluviais como as litorâneas - foi realizada levando em consideração dados do arquivo raster de declividade oriundos do Topodata e da composição colorida do mosaico de imagens LANDSAT disponibilizado pela CPLA.

As classes da declividade foram determinadas de maneira a facilitar a detecção das planícies. No caso, a classe em preto representa as áreas mais planas, com declividade variando entre 0 e 2%. A imagem LANDSAT permitiu identificar as áreas alagáveis ao redor dos rios, como representado nas Figuras 11 e 12.

Em uma etapa de verificação das planícies vetorizadas, para auxiliar na delimitação das mesmas, foram utilizadas as curvas de nível do Projeto GISAT, como detalhado na Figura 12.

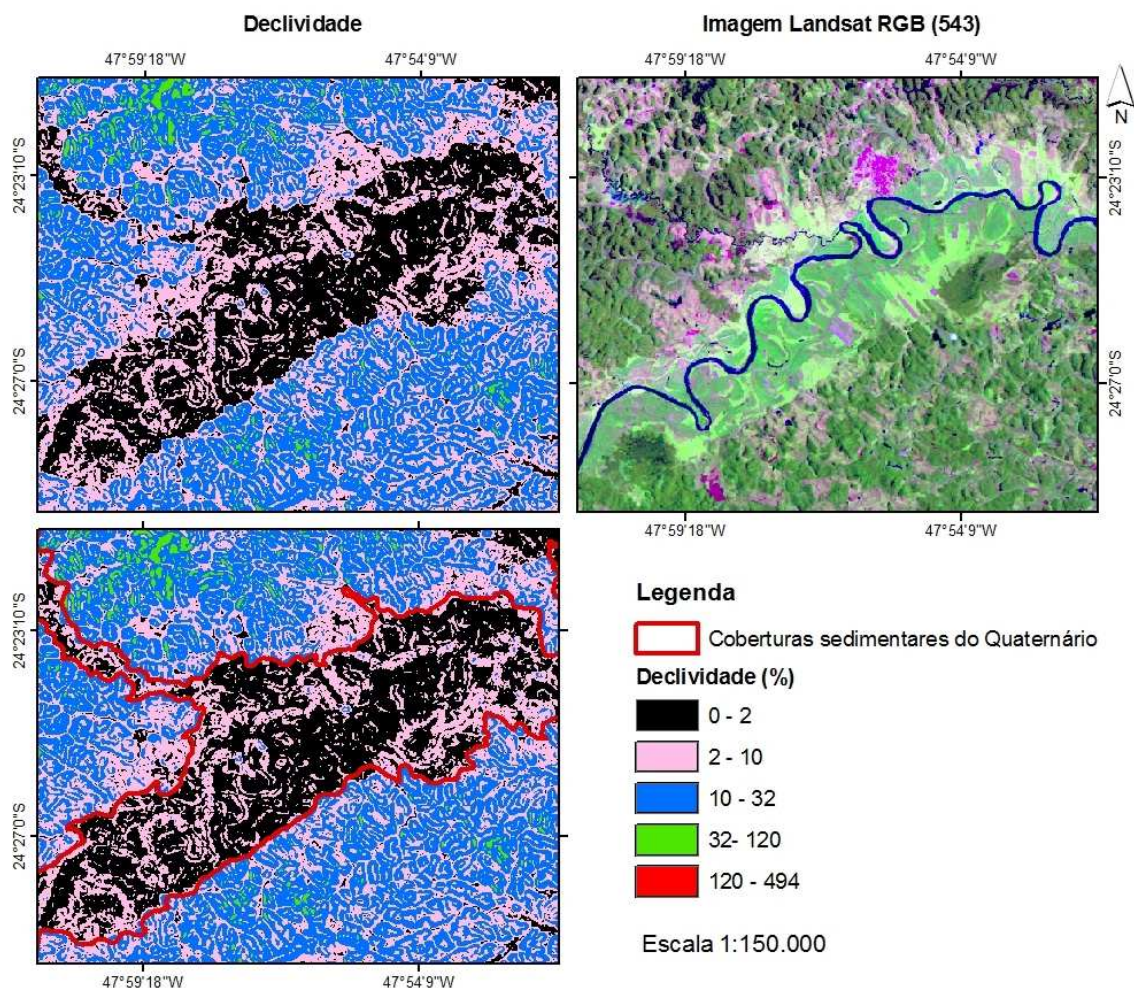


Figura 11. Principais dados utilizados para identificação e vetorização das planícies das coberturas sedimentares inconsolidadas do Quaternário.

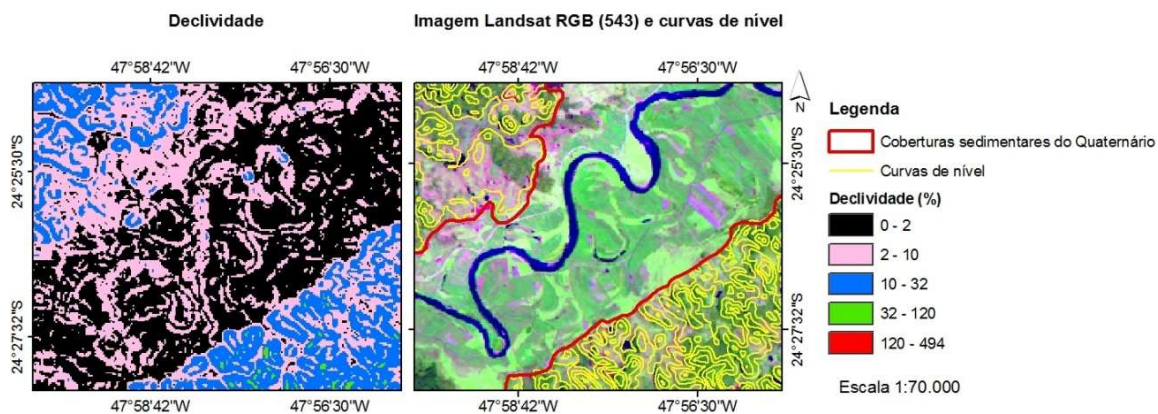


Figura 12. Dados auxiliares (curvas de nível) utilizados para melhor delimitar as planícies das coberturas sedimentares inconsolidadas do Quaternário.

Os depósitos aluvionares associados à drenagem, ou seja, as planícies fluviais, foram assim classificadas no nível 2 em função da proximidade dos rios. Já os depósitos marinhos fluviais e mistos que formam as planícies costeiras foram assim rotulados devido à proximidade do Litoral do Estado.

A identificação das planícies fluviais no nível 3 foi feita com base em informações de nomenclatura da drenagem fornecidas pela Agência Nacional de Águas (ANA) e do GISAT. Alguns exemplos de planícies fluviais nomeadas com base na drenagem são expostos na Figuras 13 e 14.

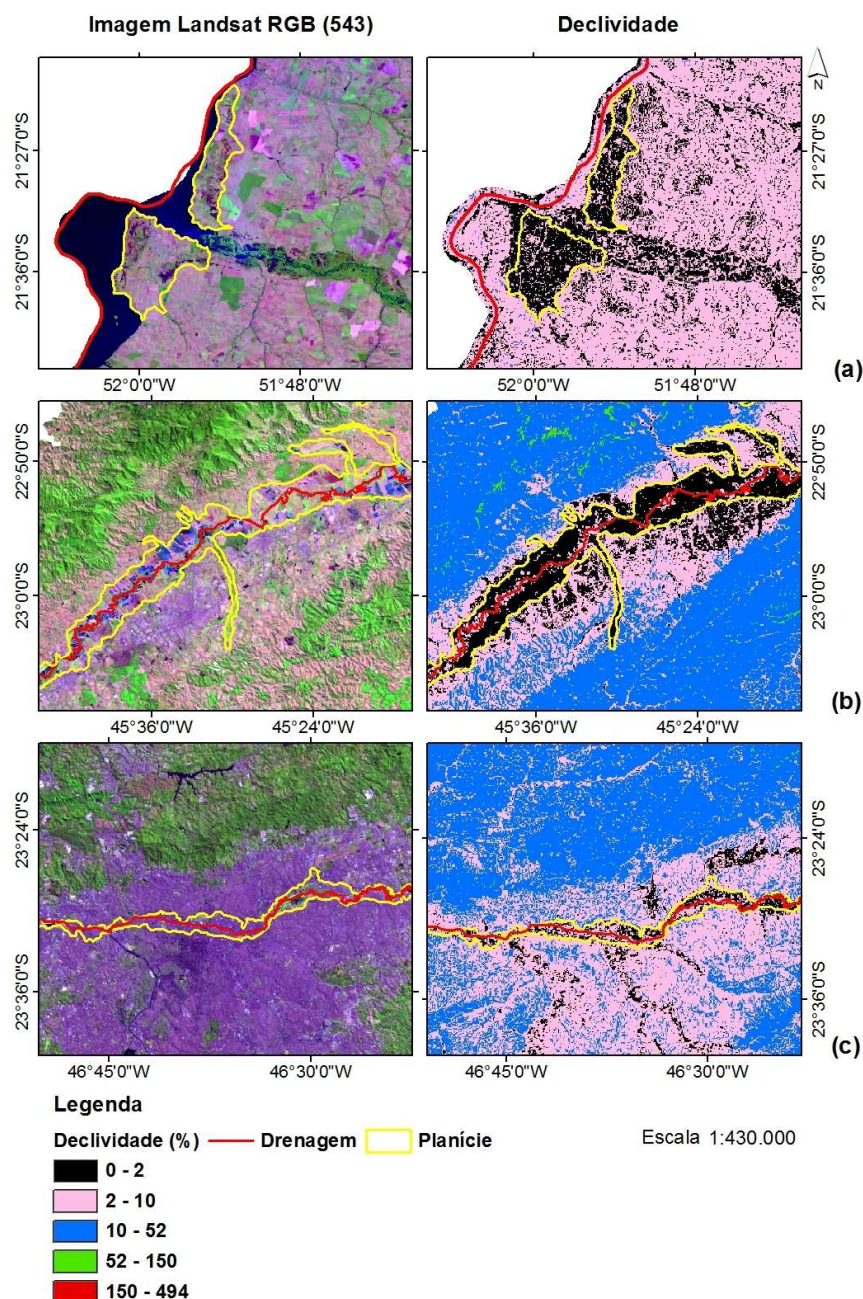


Figura 13. Representação da drenagem utilizada para a nomenclatura das planícies fluviais do (a) Rio Paraná, (b) Rio Paraíba do Sul e (c) Rio Tietê.

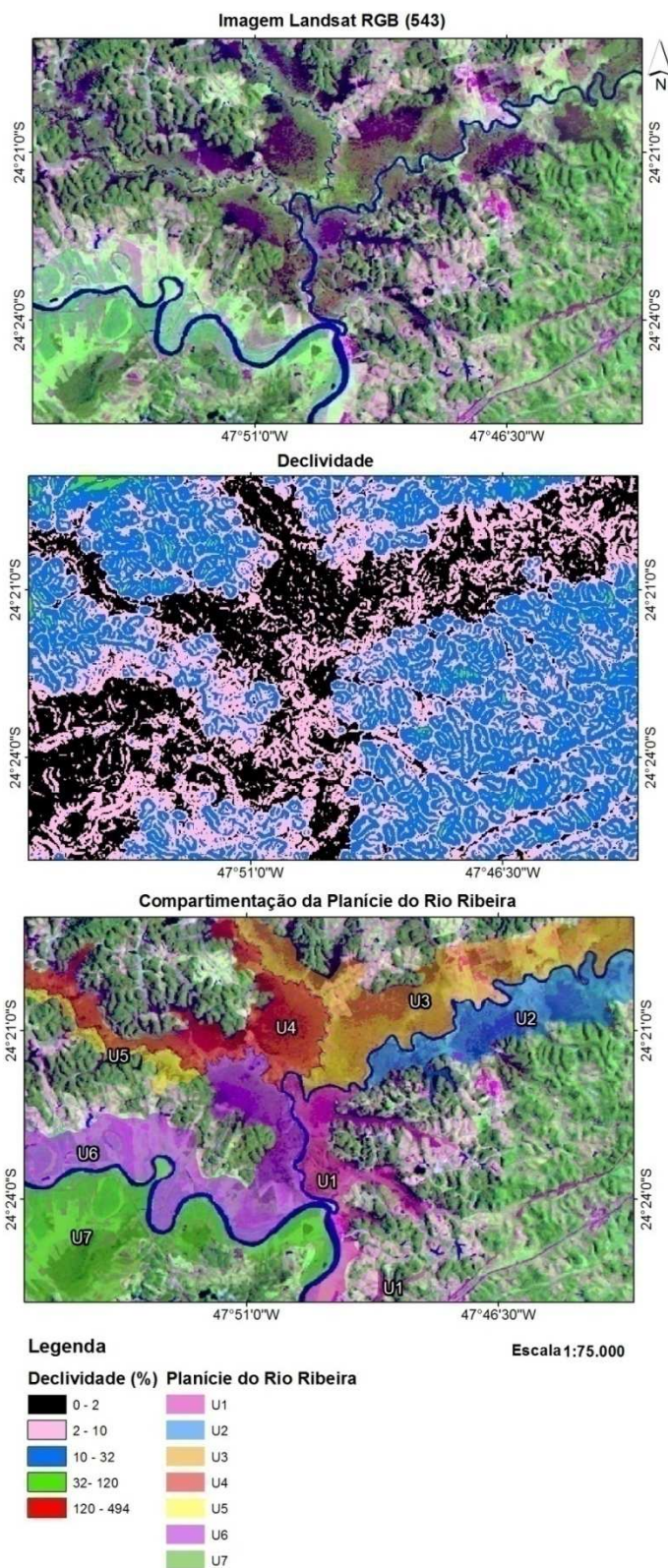


Figura 14. Exemplo de compartimentação da planície do rio Ribeira.

Já as planícies litorâneas foram nomeadas em função da sua localização no contexto de divisão territorial do Estado, sendo que foram utilizadas as 5 (cinco) referências definidas por Ross & Moroz (1997): Iguape-Cananéia, Praia Grande-Iperoíbe, Santista, Bertioga e Litoral Norte. Na Figura 15 são apresentadas as planícies litorâneas.

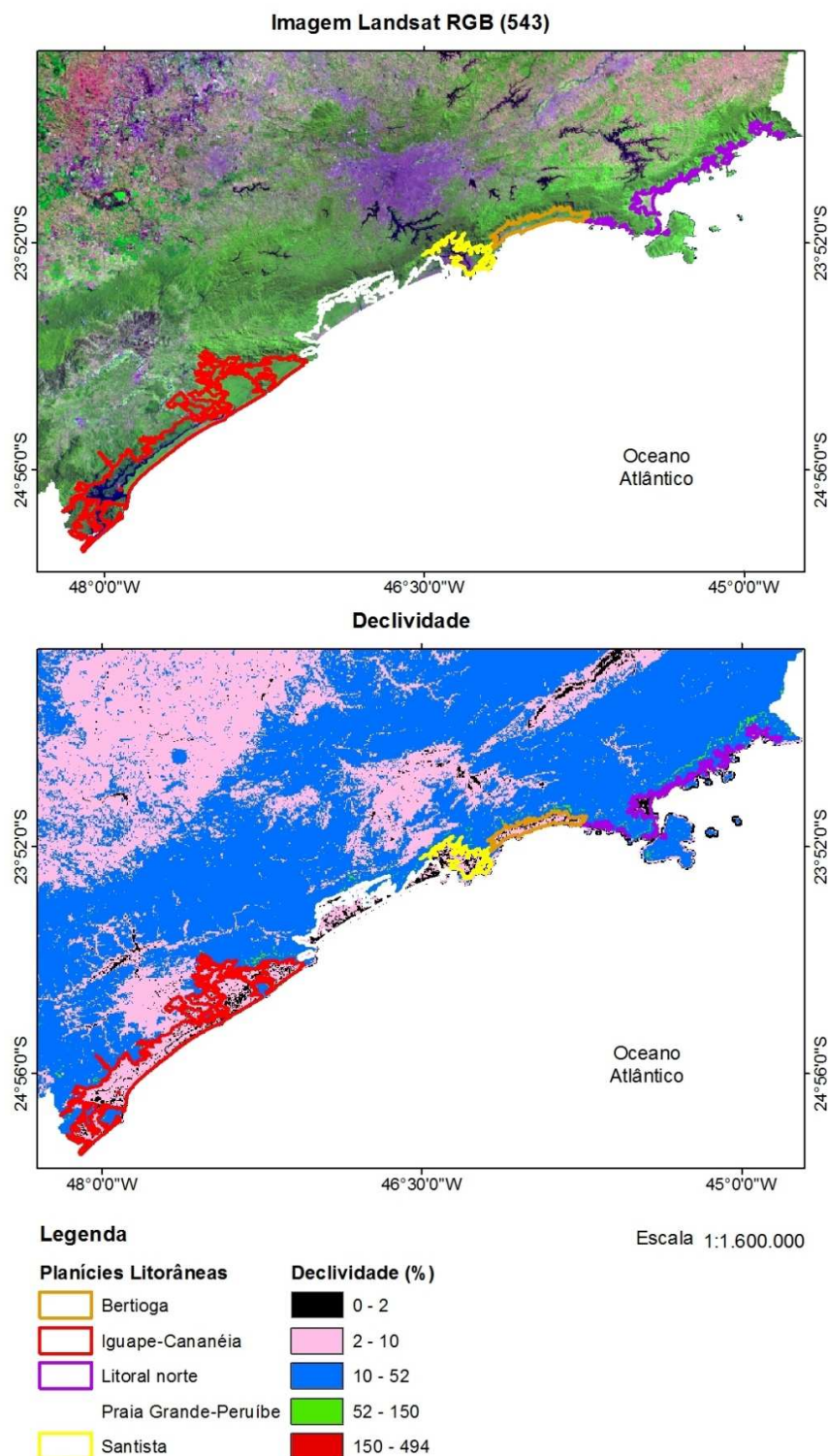


Figura 15. Distribuição das planícies litorâneas do Estado.

As áreas de planície são geralmente bastante homogêneas com relação à declividade, sendo assim, a compartimentação das mesmas no nível 4 foi realizada com base nos pequenos rios que as cortavam, como demonstrado na Figura 14. Neste ponto cabe ressaltar que somente os rios com largura acima de 100 metros tiveram seus limites vetorizados, os quais acabavam por representar também uma compartimentação das UBC.

Além das planícies, as coberturas sedimentares do Quaternário também incluem no nível 2 os depósitos coluvionares e de tálus. Os mesmos dados utilizados anteriormente foram utilizados para identificá-los, sendo que foram levadas em consideração, principalmente, pequenas alterações no comportamento da declividade e a localização próxima às encostas de montanhas. Um exemplo dessa situação é apresentado na Figura 16.

A nomenclatura desses depósitos no nível 3 foi feita com base nos planaltos, serras ou morros isolados aos quais se associavam. Por exemplo, na Figura a seguir, trata-se da Serra do Mar. Esses depósitos não se fragmentaram em subunidades, ou seja, eles por si só representaram uma UBC.

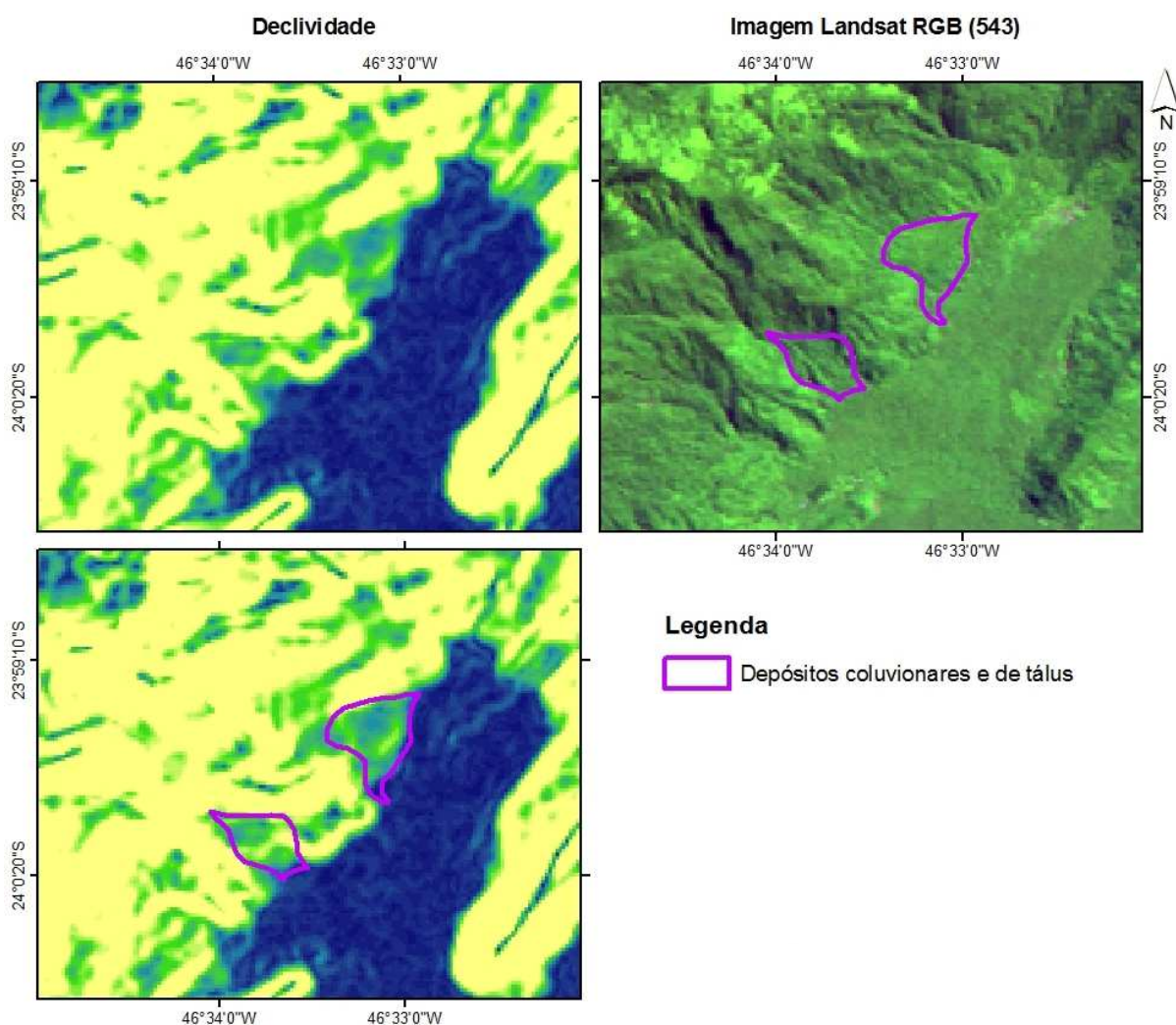


Figura 16. Representação da delimitação dos depósitos coluvionares e de tálus das coberturas sedimentares inconsolidadas do Quaternário.

- *Cinturão Orogênico do Atlântico*

A identificação desta unidade morfoestrutural foi resultante da vetorização da Depressão Periférica, já que existe uma grande diferença entre estes com relação à altitude e declividade, como é possível notar na Figura 17. É importante enfatizar que na região há planícies que pertencem às bacias sedimentares inconsolidadas do Quaternário, além das bacias sedimentares do Terciário.

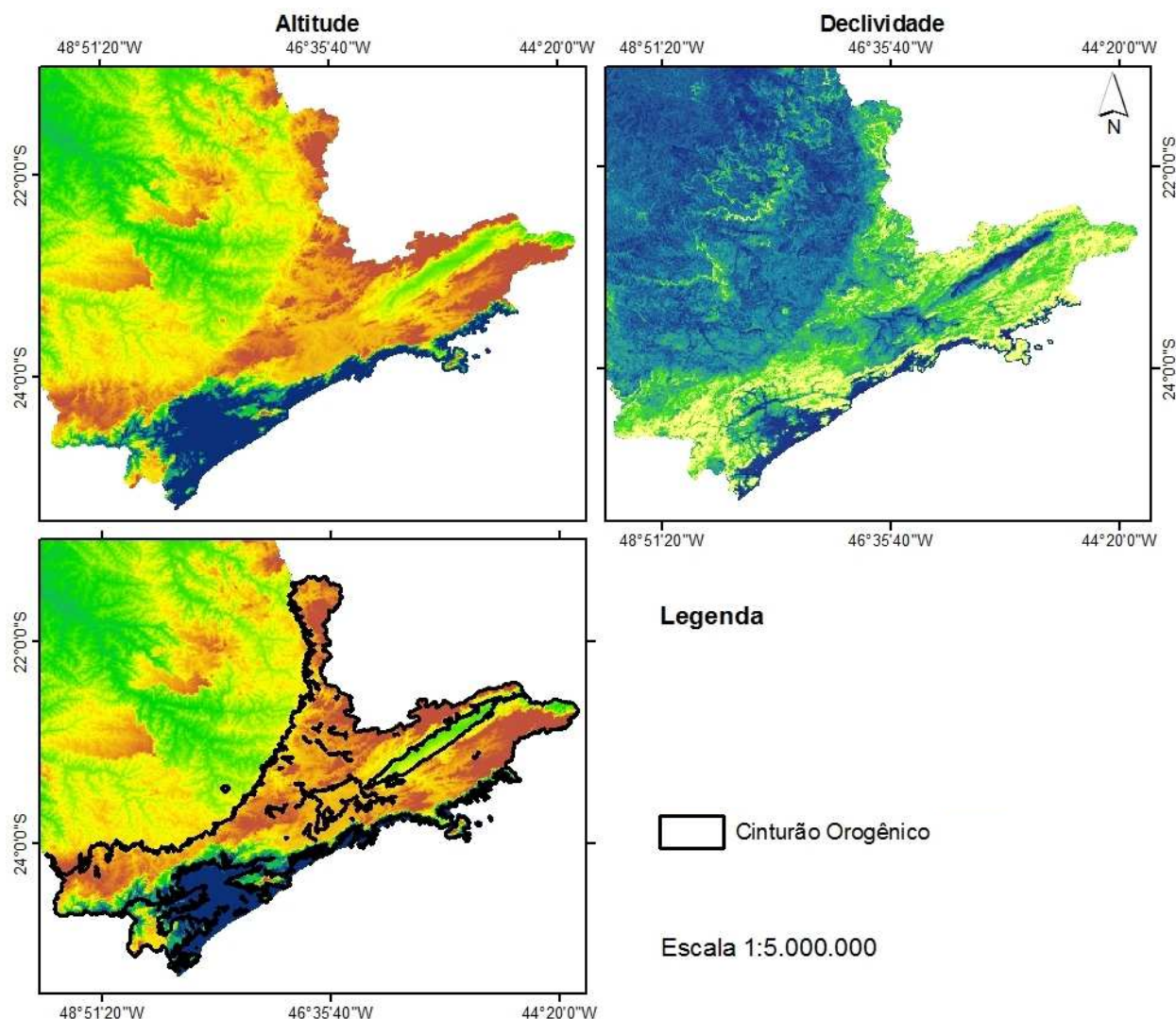


Figura 17. Diferença de declividade e altitude do Cinturão Orogênico.

Os planaltos, serras/escarpas e morros isolados do nível 2 foram identificados considerando a altitude, a composição colorida do mosaico de imagens LANDSAT e a declividade obtida a partir dos dados Topodata. Para a vetorização dessas áreas foi utilizada, sobretudo, a declividade. Segundo a classificação de Ross & Moroz (1997), as principais formações presentes no Cinturão Orogênico são: Planalto da Mantiqueira, Planalto da Bocaina, Planalto de Paraitinga/Paraibuna, Planalto de Ibiúna/São Roque, Planalto de Jundiaí, Planalto de



GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO
SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE
COORDENADORIA DE PLANEJAMENTO AMBIENTAL

Serra Negra/Lindóia, Planalto Paulistano/Alto Tietê, Planalto do Alto Rio Grande, Planalto do Ribeira/Turvo, Planalto de Guapiara, Planalto do Médio Vale do Paraíba, Serra do Mar, Serra da Mantiqueira e Serra da Bocaina. Ainda foi acrescentado o Planalto Rebaixado de Itaoca, o qual foi diagnosticado durante a execução do projeto. Essas formações estão representadas na Figura 18.

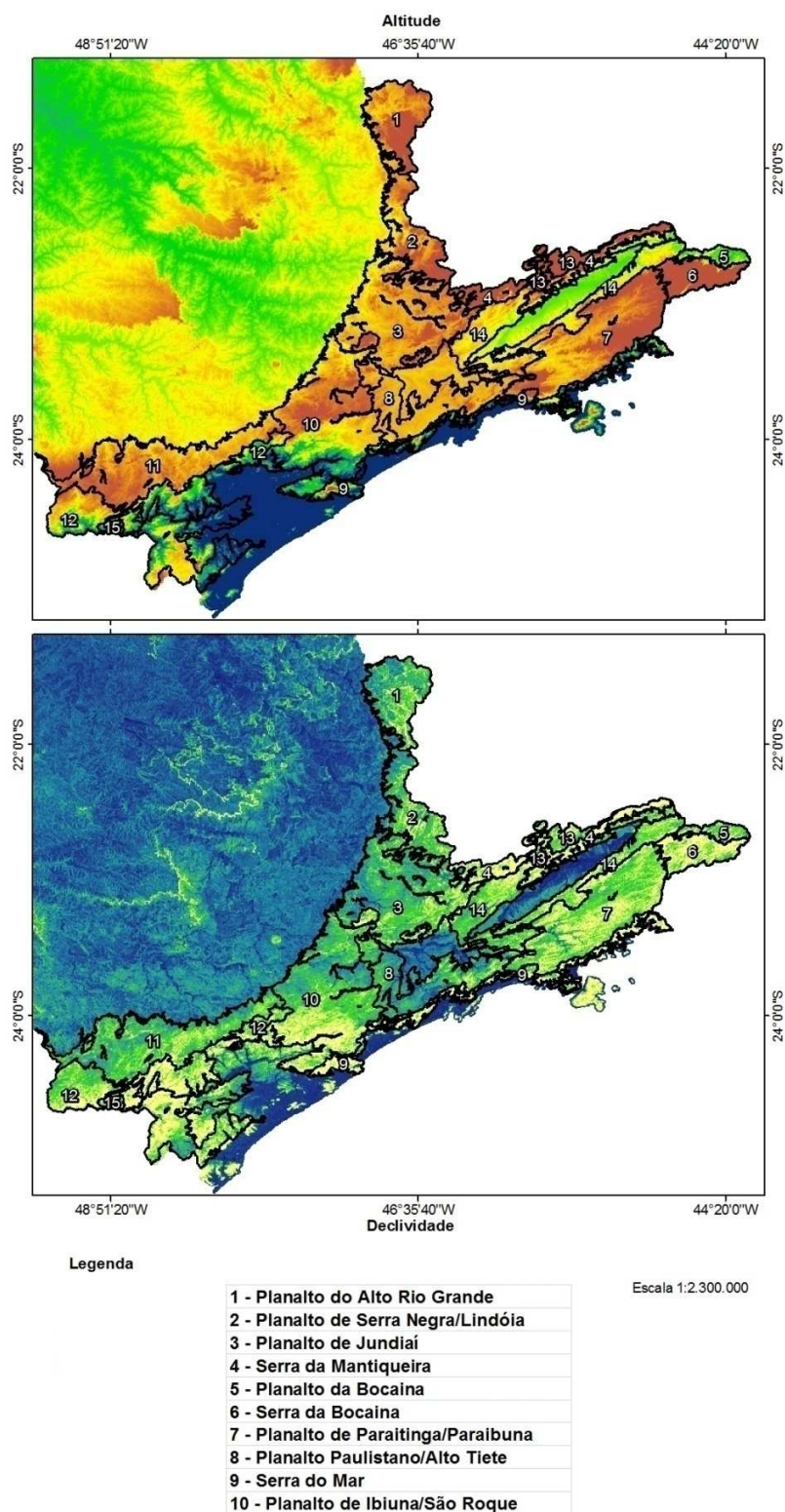


Figura 18. Principais compartimentos localizados no Cinturão Orogênico.

A compartimentação do cinturão orogênico em UBC foi realizada com base na semelhança quanto à textura do relevo sombreado e no padrão de declividade, ambos obtidos a partir dos dados do Topodata. Uma exemplificação dessa etapa para uma área do Planalto de Paraitinga/Paraibuna é apresentada na Figura 19.

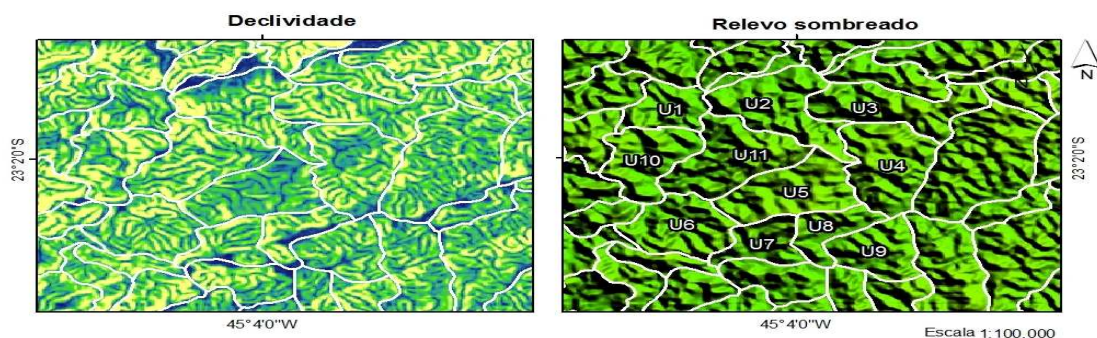


Figura 19. Área compartimentada em UBC do Planalto de Paraitinga/Paraibuna.

4.2. Atributos das UBC

A tabela de atributos associados a cada polígono de UBC é formada pelas classes dos níveis hierárquicos exibidos na Tabela 1 e os atributos: declividade, curvatura vertical, amplitude altimétrica, excedente hídrico, densidade de drenagem, unidade geológica (segundo Perrota et al., 2005), unidade geológica reclassificada para as planícies fluviais e litorâneas. A Tabela 2 mostra os atributos utilizados para o cálculo de índices de perigo de escorregamentos e de inundação, a título de exemplificação do uso das UBC.

Para cada atributo, exceto para as unidades geológicas, foi gerado um plano de informação matricial com resoluções espaciais indicadas na Tabela 2. A obtenção das unidades geológicas foi feita por procedimentos de seleção espacial diretamente nos arquivos vetoriais de UBC e da camada Unidades Litológicas do mapa geológico da CPRM (PERROTA et al., 2005).

Para os atributos declividade, curvatura vertical, excedente hídrico e densidade de drenagem foram obtidos os valores de média numérica para cada polígono das UBC por meio da ferramenta *Zonal Statistics as Table (Statistics type MEAN)* do software ArcMap 10.1. A amplitude altimétrica de cada polígono das UBC foi obtida utilizando a mesma ferramenta com o dado de altitude, sendo alterado apenas o tipo de estatística (*Statistics type RANGE*).

Para possibilitar a aplicação de uma fórmula de cálculo, os valores absolutos foram padronizados para o intervalo 0-1, considerando a amostragem para o Estado de São Paulo, pela equação:



GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO
SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE
COORDENADORIA DE PLANEJAMENTO AMBIENTAL

Atributo normalizado = $((V_n - V_{\min}) / (V_{\max} - V_{\min}))$

[1],

onde, V_n = valor a ser normalizado; $V_{\min}$ = valor mínimo da amostragem; $V_{\max}$ = valor máximo da amostragem;

Tabela 2. Descrição dos atributos das UBC utilizadas no cálculo do perigo de escorregamentos e inundações do Estado de São Paulo.

ATRIBUTO	DESCRIÇÃO	FORMA DE OBTENÇÃO
Amplitude	Representa o desnível entre o topo e a base da encosta, indicando a quantidade de solo na encosta. Quanto maior a amplitude maior a probabilidade de ocorrência do processo. Fonte: Topodata (VALERIANO, 2008). Unidade: metros.	Obtido a partir da interpolação de valores de cota de grades de 30x30m; obtenção da diferença entre cota máxima e cota mínima e cálculo de média zonal.
Declividade Média	Expressa a inclinação das vertentes. Quanto maior a declividade, maior a probabilidade de ocorrência do processo. Fonte: Topodata (VALERIANO, 2008). Unidade: graus.	Obtido a partir da interpolação de valores de cota do MDS em grades de 30x30m; e cálculo de média zonal.
Densidade de Drenagem	Expressa a permeabilidade e grau de fraturamento do terreno. Quanto maior a densidade de drenagem, maior a probabilidade de ocorrência do processo. Fonte: drenagem automática (CPLA, 2013). Unidade: metros/m ² .	Obtido a partir da interpolação de valores de Densidade de Drenagem (DD) em grades de 90x90m; e cálculo de média zonal.
Índice de estruturação da rocha (intensidade de foliação)	Expressa o grau de estruturação do terreno. Quanto maior a intensidade de foliação, maior a probabilidade de ocorrência do processo. Fonte: reclassificação das unidades geológicas. Unidade: adimensional.	Obtido a partir da reclassificação das unidades geológicas, considerando rochas sedimentares as menos foliadas e rochas xistosas as mais foliadas.
Excedente Hídrico	Expressa a quantidade de chuva. Quanto maior o excedente hídrico, maior a probabilidade de ocorrência do processo. Fator condicionante da variável perigo. Fonte: Armani (inédito). Unidade: milímetros.	Obtido a partir da interpolação de valores de Excedente Hídrico (EH) em grades de 200x200m; e cálculo de média zonal.

4.3. Cálculo dos Índices de Perigo de Escorregamentos e de Inundação

Adotou-se para a definição de perigo, a conceituação da ONU (2009) que considera perigo como fenômeno, substância, atividade humana ou condição que pode causar perda de vidas, ferimentos ou outros impactos na saúde, danos às propriedades, perda de bens e serviços, distúrbios sociais e econômicos e danos ao meio ambiente.

Para exprimir o grau de perigo estabeleceu-se seis classes de P0 a P5, onde P0 representa uma probabilidade nula a quase nula de ocorrência do processo e P5 a probabilidade máxima de ocorrência do processo perigoso (classe Muito Alta). As demais classes representam situações intermediárias entre estes extremos: P4 (Alta), P3 (Média), P2 (Baixa) e P1 (Muito Baixa). O critério de enquadramento da classe P0 foi geomorfológico. Para o perigo de escorregamento as UBC classificadas como planícies foram enquadradas na



GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO
SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE
COORDENADORIA DE PLANEJAMENTO AMBIENTAL

classe P0, enquanto para o perigo de inundação, as UBC de encosta foram enquadradas com P0. O critério de enquadramento para as demais classes seguiu as equações abaixo:

Para Perigo de Escorregamento:

Cenário 1- Declividade entre 0-6°, aplicação da fórmula:

$$P_ESC = 0,8*DE + 0,05*AM + 0,05*DD + 0,05*EH + 0,05*IF \quad [2];$$

Cenário 2- Declividade entre 6-12°, aplicação da fórmula:

$$P_ESC = 0,5*DE + 0,125*AM + 0,125*DD + 0,125*EH + 0,125*IF \quad [3];$$

Cenário 3- Declividade entre 12-18°, aplicação da fórmula:

$$P_ESC = 0,2*DE + 0,2*AM + 0,2*DD + 0,2*EH + 0,2*IF \quad [4];$$

Cenário 4- Declividade entre 18-24°, aplicação da fórmula:

$$P_ESC = 0,5*DE + 0,125*AM + 0,125*DD + 0,125*EH + 0,125*IF \quad [5];$$

Cenário 5- Declividade maior que 24°, aplicação da fórmula:

$$P_ESC = 0,8*DE + 0,05*AM + 0,05*DD + 0,05*EH + 0,05*IF \quad [6];$$

Para Perigo de Inundação:

$$P_INU = 0,2*DE + 0,2*AM + 0,2*DD + 0,2*EH \quad [7];$$

onde, DE= declividade; AM= amplitude altimétrica; DD= densidade de drenagem; EH= excedente hídrico; IF= intensidade de foliação.

Para definição dos limites das classes de P1 a P5 foi utilizado o método das Quebras Naturais de Jenks conforme procedimento disponível no *software* ArcMap 10.1.

5. Resultados

A figura 20 exhibe os polígonos das UBC para o Estado de São Paulo agrupados nas cinco categorias morfoestruturais adotadas e as figuras 21, 22, 23, 24 e 25 um detalhe de cada uma das categorias. As figuras 26 e 27 mostram os mapas de perigo de escorregamentos e inundação para o Estado de São Paulo.



GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO
SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE
COORDENADORIA DE PLANEJAMENTO AMBIENTAL

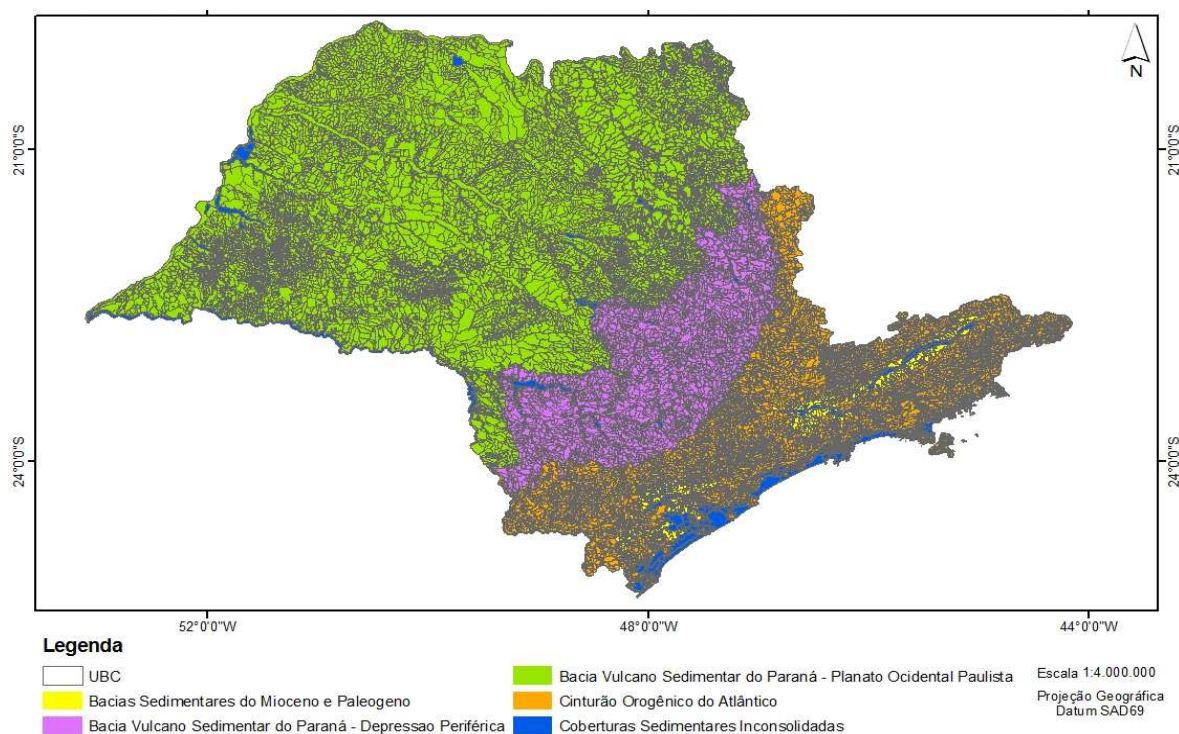


Figura 20 - UBC para o Estado de São Paulo agrupadas em cinco categorias morfoestruturais.

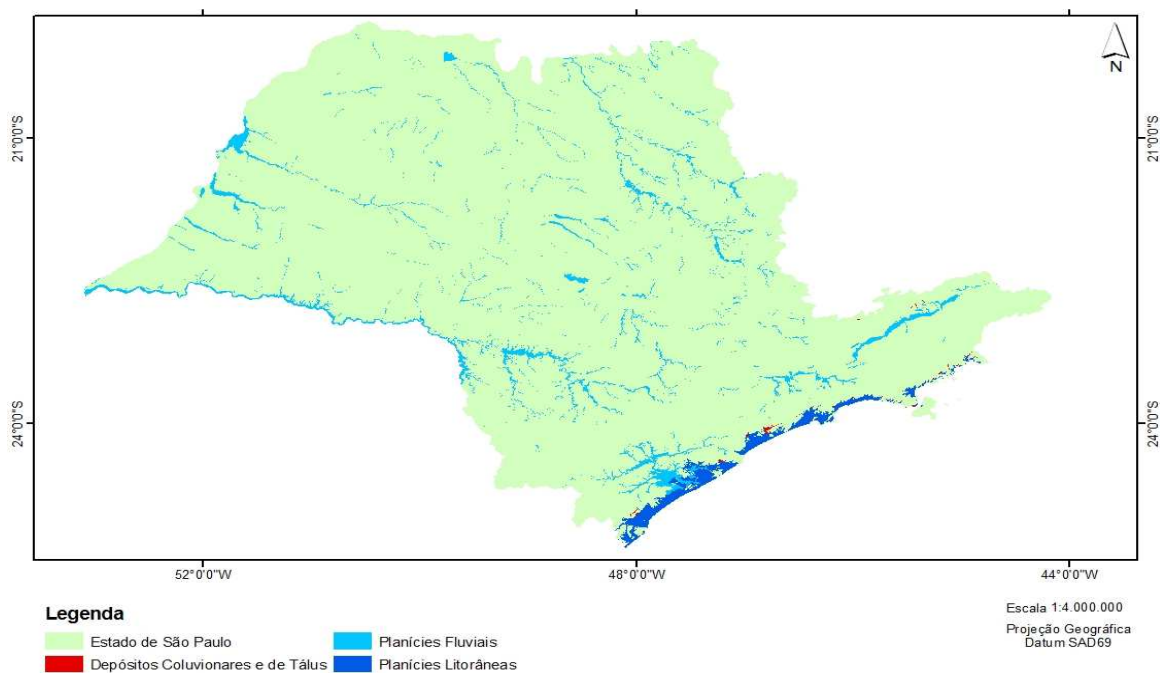


Figura 21 - Detalhamento dos níveis hierárquicos das Coberturas Sedimentares Inconsolidadas.



GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO
SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE
COORDENADORIA DE PLANEJAMENTO AMBIENTAL

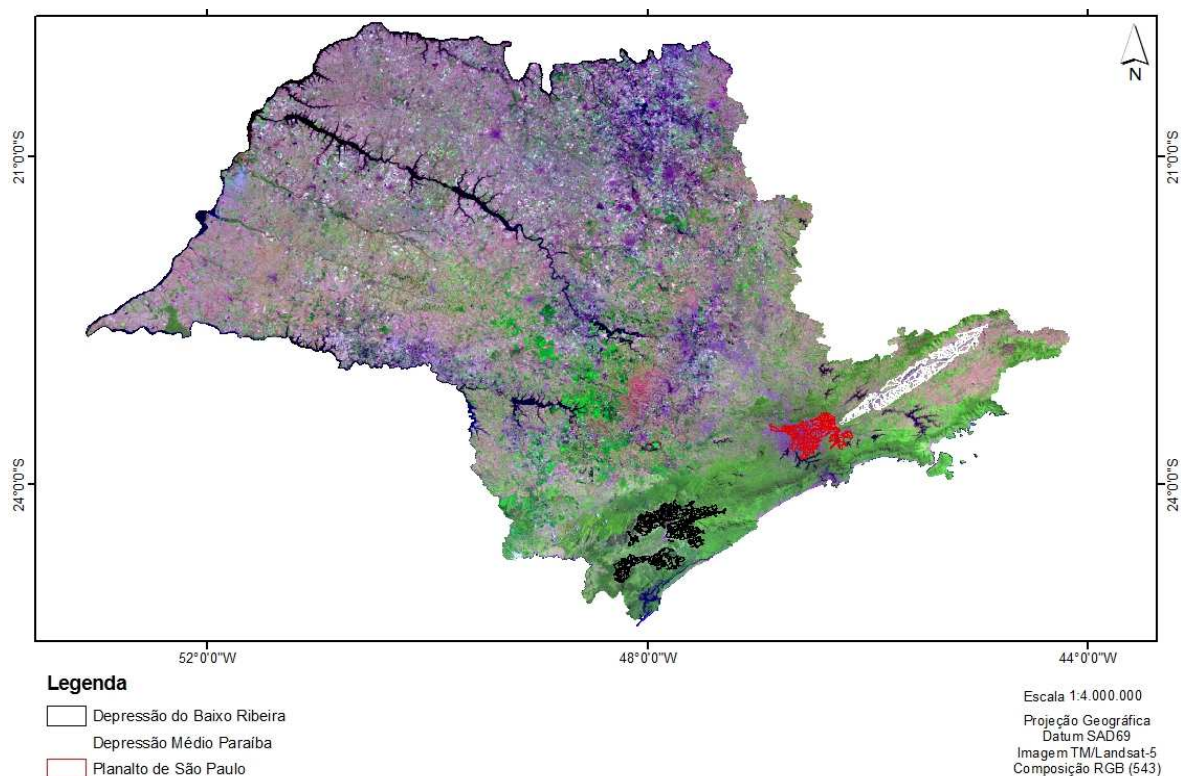


Figura 22 – Detalhamento dos níveis hierárquicos das Bacias Sedimentares do Mioceno e Paleógeno.

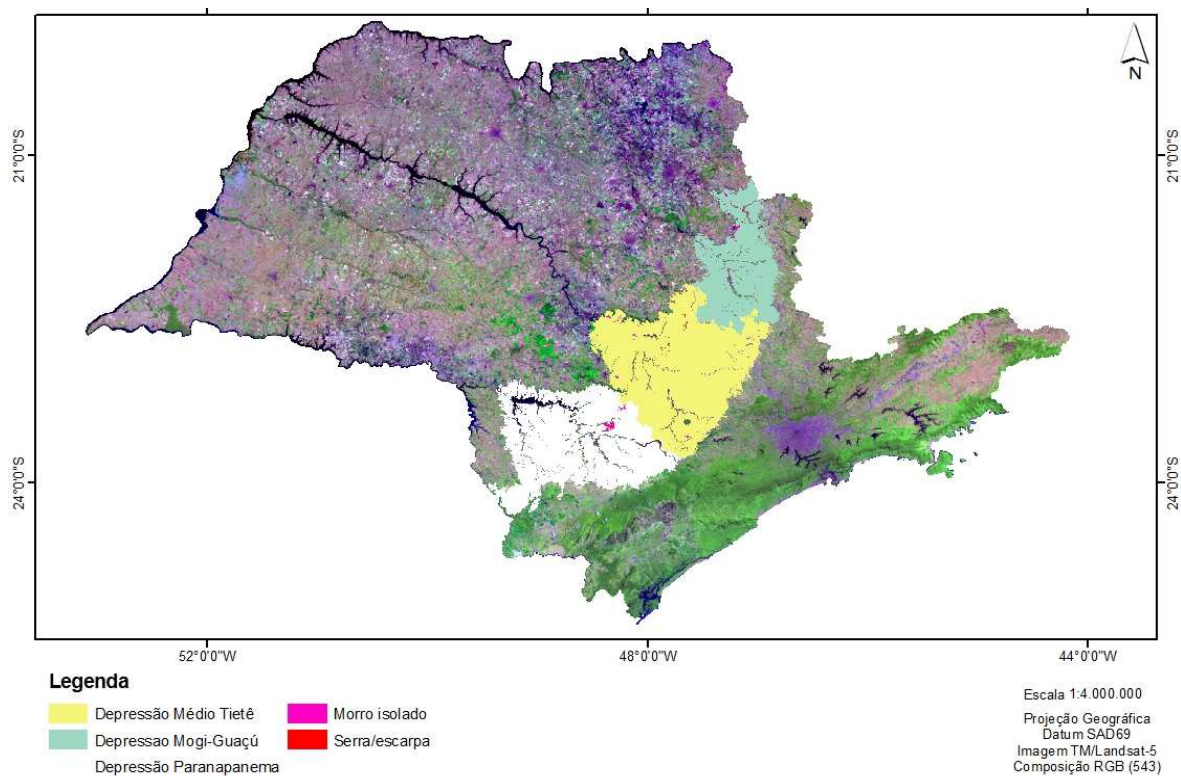


Figura 23 – Detalhamento dos níveis hierárquicos da Depressão Periférica.



GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO
SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE
COORDENADORIA DE PLANEJAMENTO AMBIENTAL

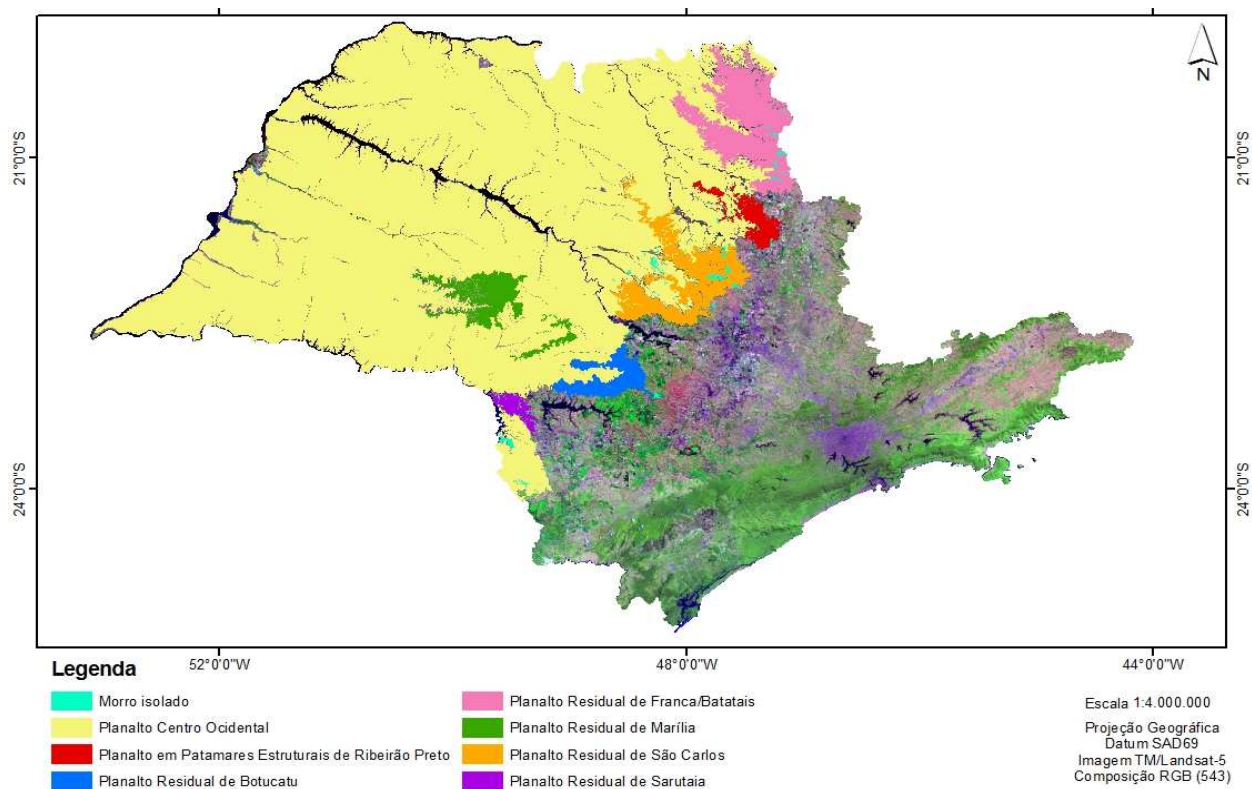


Figura 24 – Detalhamento dos níveis hierárquicos do Planalto Ocidental Paulista.

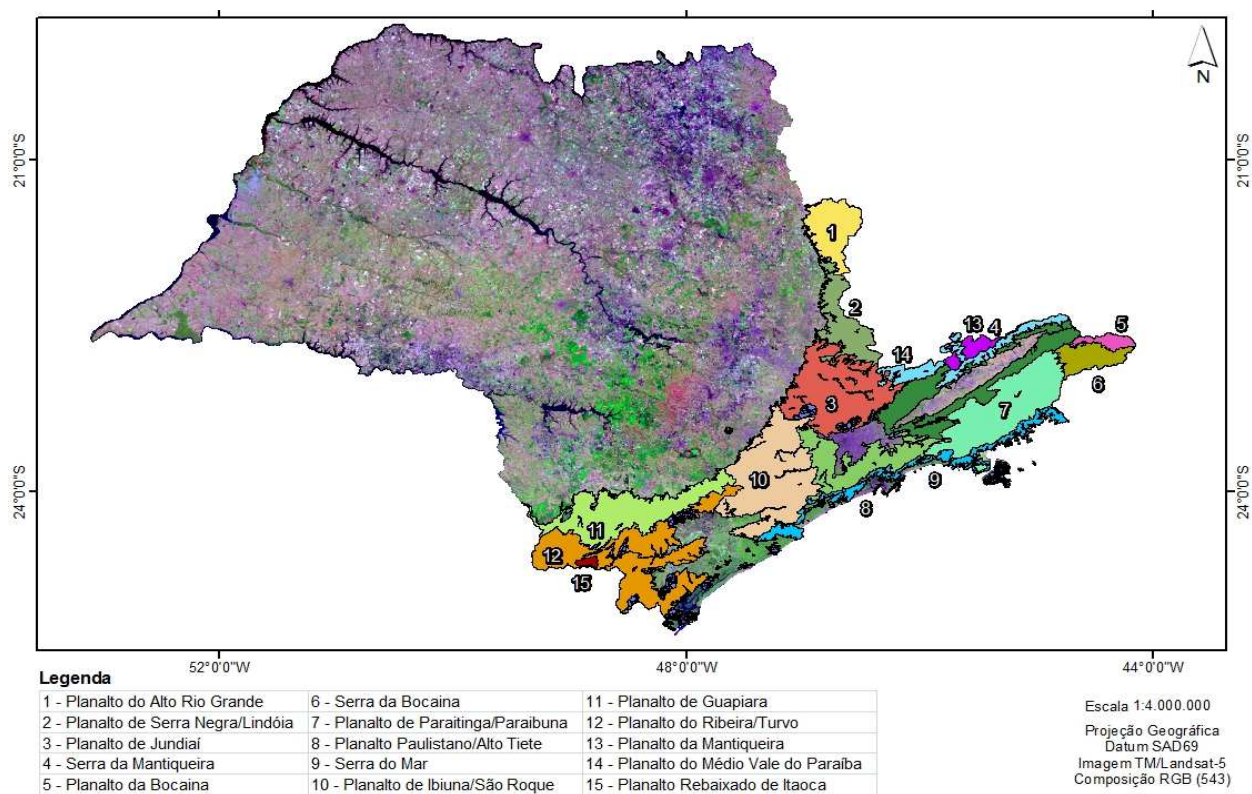


Figura 25 – Detalhamento dos níveis hierárquicos do Planalto Atlântico.



GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO
SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE
COORDENADORIA DE PLANEJAMENTO AMBIENTAL

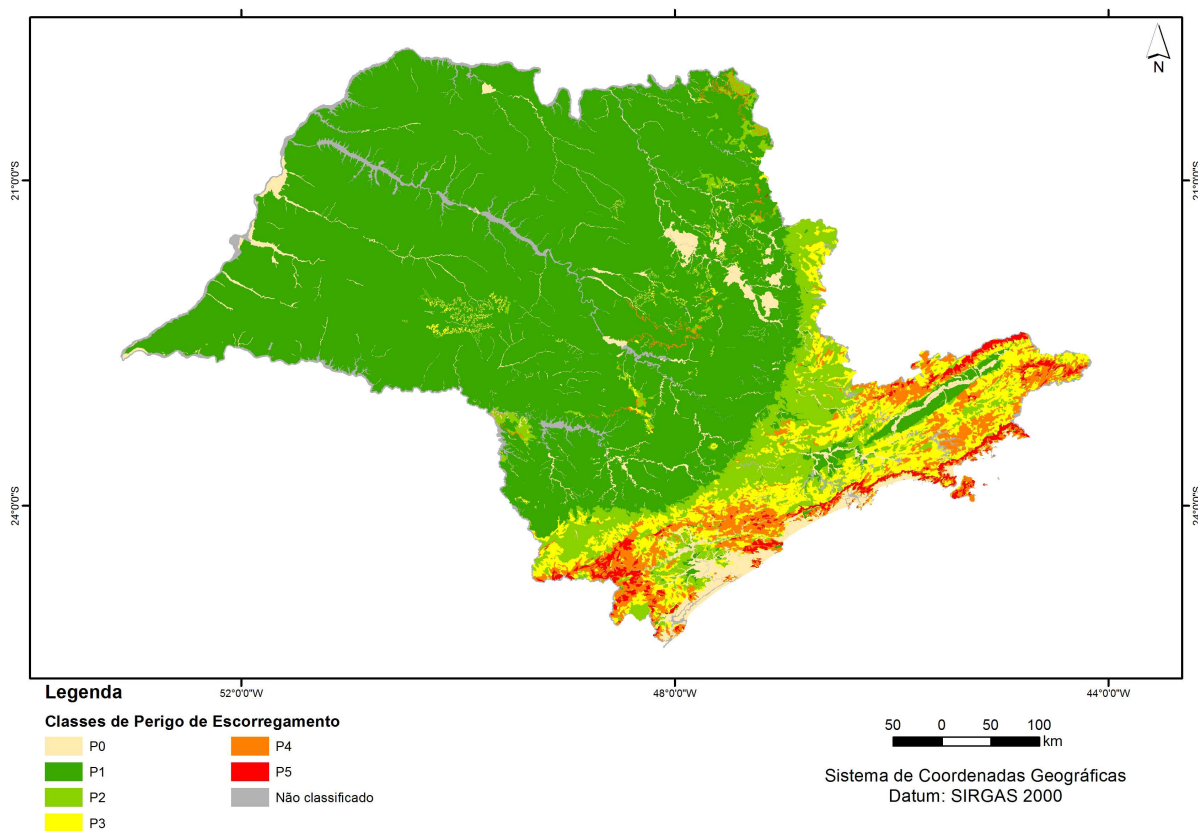


Figura 26 – Mapa de Perigo de Escorregamentos para o Estado de São Paulo.

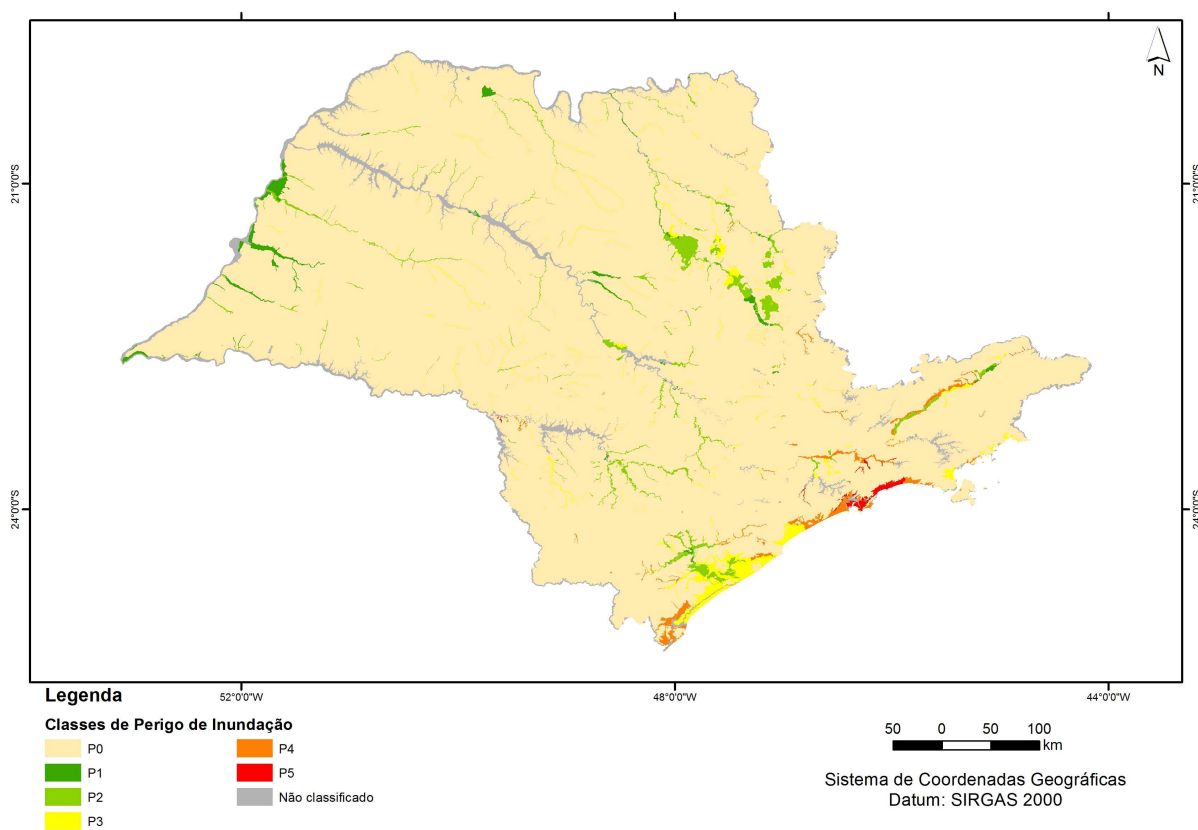


Figura 27 – Mapa de Perigo de Inundação para o Estado de São Paulo.



GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO
SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE
COORDENADORIA DE PLANEJAMENTO AMBIENTAL

6. Dicionário de atributos do arquivo shapefile de UBC

NOME DA COLUMNA	DESCRIÇÃO
NIVEL_1	Unidades morfoestruturais
CODIGO_N1	Código das unidades morfoestruturais
NIVEL_2	Unidades morfoesculturais
CODIGO_N2	Código das unidades morfoesculturais
NIVEL_3	Unidades morfoesculturais classificadas segundo a localização geográfica
CODIGO_N3	Código das unidades morfoesculturais classificadas segundo a localização geográfica
NIVEL_4	Unidade Básica de Compartimentação - UBC
DECLIV_MED	Declividade média em graus
C_VERT_MED	Curvatura vertical média
AMPLIT_ALT	Amplitude altimétrica em metros
E_HIDR_MED	Média do excedente hídrico em milímetros
DDREN_MED	Média da densidade de drenagem em metros/m ²
GEOL_CPRM	Sigla da unidade geológica
DECLIV_N	Declividade média em graus normalizada
C_VERT_N	Curvatura vertical média normalizada
E_HIDR_N	Média do excedente hídrico em milímetros normalizada
DDREN_N	Média da densidade de drenagem em metros/m ² normalizada
AMPLIT_N	Amplitude altimétrica em metros normalizada
NOME_UNID	Nome da unidade geológica do Mapa Geológico da CPRM
GEOL_rev	Sigla da unidade geológica revisada
FOLIACAO	Intensidade de foliação
P_ESC_CLAS	Classes de perigo de escorregamentos para o Estado de São Paulo
P_INU_CLAS	Classes de perigo de inundação para o Estado de São Paulo
P_ESC_IND	Índice de perigo de escorregamentos para o Estado de São Paulo
P_INU_IND	Índice de perigo de inundação para o Estado de São Paulo

7. Créditos

SÃO PAULO. Unidades Básicas de Compartimentação do Meio Físico (UBC) do Estado de São Paulo. INSTITUTO GEOLÓGICO/COORDENADORIA DE PLANEJAMENTO AMBIENTAL, SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE DO ESTADO DE SÃO PAULO, 2014.

8. Equipe técnica

Coordenadoria de Planejamento Ambiental - CPLA

Arlete Tieko Ohata (Diretora do Departamento de Informações Ambientais)

Aline Salim (Diretora do Centro de Integração e Gerenciamento de Informações)

Ana Maria Neves

Cynthia Lina Yassumoto

Edgard Joseph Kiriama



GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO
SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE
COORDENADORIA DE PLANEJAMENTO AMBIENTAL

Igor André Cubateli Redivo
Juliana Amorim da Costa
Kenzo Matsuzaki
Nádia Gilma Beserra de Lima
Renata Sayuri Kawashima

Instituto Geológico - IG

Claudio José Ferreira
Denise Rossini Penteado

9. Bibliografia

ARMANI, G.; TAVARES, R.; BRIGATTI, N. Climatologia. In: FERREIRA CJ [coord]. Diretrizes para a regeneração socioambiental de áreas degradadas por mineração de saibro (caixas de empréstimo), Ubatuba, SP. Relatório Técnico 3, FAPESP (processo FAPESP 03/07182-5) inédito, p. 119-142, 2007.

CPLA. Mapa de Rede de Drenagem do Estado de São Paulo. São Paulo: CPLA/SMA, 2013. Disponível em: <<http://www.ambiente.sp.gov.br/cpla/mapa-da-rede-de-drenagem-do-estado-de-sao-paulo/>>. Acesso em 15 out. 2014.

FERREIRA, C. J.; ROSSINI-PENTEADO, D. GUEDES, A. C. M. O uso de sistemas de informações geográficas na análise e mapeamento de risco a eventos geodinâmicos. In: LOMBARDO, M.A. & FREITAS, M.I.C (org.): Riscos e Vulnerabilidades: Teoria e prática no contexto Luso-Brasileiro. Cultura Acadêmica-Editora UNESP, São Paulo, 155-188, 2013.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE – MMA. Diretrizes metodológicas para o Zoneamento Ecológico-Econômico do Brasil. Brasília: MMA/SDS, 2006. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/gestao-territorial/zoneamento-territorial/zoneamento-ecologico-econo-mico/item/7529-diretrizes-metodol%C3%B3gicas>. Acesso em: 20 de junho de 2012.

ONU. Terminology on Disaster Risk Reduction. Estratégia Internacional para Redução de Desastres. Organização das Nações Unidas. Disponível em <http://www.unisdr.org/eng/library/lib-terminology-eng.htm> (acesso em 06/05/2009).

PERROTTA, M. M. et al. Mapa geológico do Estado de São Paulo. São Paulo: CPRM, 2005. Escala 1: 750.000. (Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil).

ROSS, J. L. S.; MOROZ, I. C. Mapa geomorfológico do Estado de São Paulo. São Paulo, DG-FFLCH-USP, IPT, FAPESP, 1997.



GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO
SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE
COORDENADORIA DE PLANEJAMENTO AMBIENTAL

SOARES, P. C.; FIORI, A. P. Lógica e sistemática na análise e interpretação de fotografias aéreas em geologia. Noticias Geomorfologicas, vol.6, n.32,p.71-104, 1976.

VALERIANO, M. M. Topodata: guia para utilização de dados geomorfológicos locais. INPE, 2008. Disponível: <http://mtc-m18.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/mtc-m18@80/2008/07.11.19.24/doc/publicacao.pdf>.

VEDOVELLO, R. Zoneamentos geotectônicos aplicados a gestão ambiental, a partir de unidades básicas de compartimentação – UBC. Tese de Doutorado. IGE, UNESP, Rio Claro. 154p. 2000.