

Memorias



Sociedad Latinoamericana en
Percepción Remota y Sistemas
de Información Espacial
Capítulo Colombia

30
AÑOS

Medellín, Colombia
29 de Septiembre al 3 de Octubre de 2014



ISOBASES CONFLUENTES COMO METODOLOGIA DE GEOPROCESSAMENTO APLICADA PARA A RECONSTRUÇÃO GEODINÂMICA DA PAISAGEM

Jairo Roberto Jiménez-Rueda¹
Juércio Tavares de Mattos²
Meire Mateus de Lima³
Luziane Santos Ribeiro⁴
Amanda de Ávilla Oliveira⁵

^{1,3,5}Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – UNESP, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Campus de Rio Claro, Caixa Postal: 178, CEP: 13.506-900, Rio Claro/SP,

Brasil. Professor Adjunto Doutor: jaiorjr@rc.unesp.br

Mestranda em Geociências e Meio Ambiente: meiresaa@yahoo.com.br

Ecóloga: avilavf@gmail.com

²Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – UNESP, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, Campus de Guaratinguetá, Caixa Postal: 205, CEP: 12.516-410, Guaratinguetá/SP,

Brasil. Professor-assistente Doutor: jittmm@hotmail.com

⁴Universidade Federal de Uberlândia – UFU, Instituto de Geografia, Campos de Monte Carmelo. Avenida Goiás, nº2000, Vila Nova, CEP: 38.500-000, Monte Carmelo/MG, Brasil. Professora Adjunta:

luziane@ig.ufu.br

RESUMO:

A reconstrução tridimensional das paleopaisagens, do Estado de São Paulo, Brasil foi realizada pelo método de *Isobases Confluentes*, uma adequação das *Isobasitas* de Filosofov (1960). As *Isobases Confluentes* foram obtidas em unidades hidrográficas, complementadas com drenagens de diversas ordens, para melhor definir suas confluências e respectiva ordenação hierárquica. Utilizando-se de Geoprocessamento foram cruzados pontos de confluência de cada ordem com imagens de satélite (RASTER), as quais fornecem valores exatos de altitude para cada ponto de confluência, obtendo assim as paleo-superfícies tectono-climáticas. Com o uso de SIG automatizou a obtenção de isobases, estendendo para toda área de estudo. O adensamento das drenagens, de diferentes ordens, foi processado usando *ArcHydro do software ArcGis*. As altitudes foram obtidas em imagens de radar *Aster/NASA*, em seguida realizou-se a hierarquização e ordenação da bacia hidrográfica, segundo Strahler (1957). O cruzamento de confluências de mesma ordem em diferentes altitudes por Interpolação (*ArcGis*), gerou as proto-superfícies de diversas ordens. Isso permitiu a caracterização dos processos geodinâmicos que interveem na reconstrução das paleopaisagens e das protoestruturas equivalentes às condições de equilíbrio dinâmico daquele momento. Os resultados da evolução da paisagem foram cartografados em oito isobases confluentes, o possibilitando a reconstrução paleoambiental, paleogeográfica e paleotectônica, desde o Eo-Cretáceo até hoje.

Palavras-chave: ArcGis, Imagem Aster, Sensoriamento remoto, Paleo-superfícies, Paleotectônica.

RESUMEN:

Isobases Confluentes como metodología de geoprocesamiento aplicada en la reconstrucción geodinámica de los paisajes

La reconstrucción tridimensional de las paleo paisajes, del Estado de São Paulo, Brasil fue realizada por el Método de *Isobases Confluentes*, una de las adecuaciones de las *Isobasitas* de Filosofov (1960). Las *Isobases Confluentes* fueron elaboradas a partir de la organización, ordenación, complementación y localización de los drenajes, en puntos de confluência dentro de las Bacías Hidrográficas. Mediante el uso del Geoprocesamiento fueron cruzados puntos de confluencia de cada orden con imágenes de satélite (RASTER), las cuales generan valores exactos de altitud y localización geográfica, para producir las paleo superficies tectono- climáticas. Así, con el uso del SIG se automatizó la obtención de las isobases para toda el área del estudio. La complementación de las drenajes de diferentes órdenes, fue procesada mediante el uso de *ArcHydro* del *software Arcgis*. Las altitudes fueron establecidas por imágenes de radar *Aster/NASA*, lo que facilitó la jerarquización y el ordenamiento de la bacía hidrográfica de acordó con Stralher (1957). El cruzamiento de confluencias de la misma orden en diferentes altitudes por interpolación (*ArcGis*), crio las proto-superfícies de diversas ordenes, lo que permite la caracterización de los procesos geodinámicas que intervienen en la reconstrucción de los paleo paisajes y de las proto estructuras equivalentes a las condiciones de equilibrio dinámico de aquel momento. Los resultados de la evolución de los paisajes fueron cartografiados en ocho isobases confluentes, facilitando así la reconstrucción paleo ambiental, paleo geográfica y paleo tectónica, desde el Eo-Cretáceo hasta hoy.

Palabras claves: ArcGis, Imagem Aster, Teledetección, Paleo superficies, Paleo tectónica.

1. INTRODUÇÃO

A subdivisão do território brasileiro em províncias tectônicas, segundo Almeida *et al.* (1977), pode ser equiparada às províncias fisiográficas, que se correlacionam às mega-paisagens decorrentes da evolução dos continentes e subdivisão das mesmas. Essa conceituação demonstra uma organização da paisagem em níveis hierárquicos inter-relacionados evolutivamente, propostos por Zink (1987). Tal organização pode ser modificada pelas ações de verticalização e/ou horizontalização do relevo, resultantes das forças exo-endogênicas responsáveis pelas formas residuais da paisagem, geradas durante estas intervenções na modificação e neoformação das bacias interiores e

litorâneas. Segundo Filosofov (1960 *apud* Spiridonov 1981), as paisagens podem ser diferenciadas por sua morfometria e altimetria, ordenando o relevo de acordo com sua altitude dominante ou residual. Porém, é possível organizá-lo da mesma forma que se procede com uma bacia hidrográfica. Com o cruzamento das ordens obtidas nesta diferenciação morfológica e morfométrica permite-se definir formas residuais de uma e de outra ordem, em níveis diferenciados de verticalização ou horizontalização. Lembrando que esses fenômenos desenvolvem-se mediante a interação e integração de fatores tectono-climáticos (morfoclimáticos).

Diversos autores, como Vinck (1963), Ab'Saber (1970), Goosen (1971), Tricart (1977), Botero (1978) e Villota (1992), disseminaram em suas pesquisas termos como *província fisiográfica* e *fisiografia*. Entretanto, Villota (1992) hierarquizou e categorizou, de uma forma mais efetiva, as paisagens segundo sua fisiologia, desenvolvendo e aplicando uma chave de classificação concisa, eficiente e objetiva. Goosen (1971), Zink (1987) e Villota (1992, 2005) consideram ainda que os solos representam as paisagens, sendo, desta forma, um componente da paisagem fisiográfica. Os solos, assim como as rochas, mantêm propriedades e/ou características específicas que se manifestam como registros resultantes das interações dos fatores litogênicos, tectônicos e morfo-climáticos assim como os processos geodinâmicos exo-endogênicos que atuaram na sua evolução*.

A paisagem superficial guarda o registro das ações exo-endogênicas impostas e modificadas por eventos tectônicos, desta forma, é de grande importância o mapeamento das estruturas (dobras, juntas falhamentos e lineamentos estruturais), que correspondem às zonas de fraqueza da crosta. As unidades da paisagem sofrem mais

*Comunicação pessoal de Jairo Roberto Jiménez-Rueda em 2011 durante o desenvolvimento do trabalho de Zoneamento Geoambiental do Município de Ibiraci – MG.

intensamente as mudanças físico-químicas em função dos condicionamentos estruturais (Mattos *et al.*, 2002).

Um dos métodos para se entender essa evolução dinâmica da paisagem corresponde à geração de um modelo de paleo-superfícies, desenvolvido a partir da interpolação de confluências de drenagem, onde é possível representar tridimensionalmente as superfícies em épocas pretéritas de sua formação.

De acordo com Filosofov (1960 *apud* Spiridonov 1981), as isobases representam superfícies com estágios de erosão similares, podendo assim ser consideradas como manifestações de eventos tectono-erosionais regionais, especialmente como de movimentos recentes da crosta.

O método das Isobases foi proposto inicialmente pelos soviéticos em meados do século XX. Filosofov (1960 *apud* Spiridonov 1981) onde se elaborava mapas de dissecação vertical e horizontal do relevo e mapas de relevo residual para zonear terras, visando a reconstrução morfoclimática das superfícies geomórficas que podiam atingir aproximadamente até o Mioceno.

Estes mapas baseavam-se na rede hidrográfica das cartas topográficas, determinando pontos onde as drenagens, de 1ª ordem ou superiores, interceptassem com as curvas de nível em ângulo reto, caracterizando as proto-superfícies de erosão. Assim, gráficos de superfícies topográficas eram produzidos até que se chegasse ao nível de base atual.

O cruzamento da drenagem com as curvas de nível era necessário, pois era muito trabalhoso determinar a altitude exata do ponto de confluência entre dois drenos através de uma carta topográfica. As superfícies produzidas a partir destas interseções eram denominadas de *Isobasitas de Intercessão*. Como este método de

intercepção era realizado manualmente e eram necessários muitos pontos para garantir a sua eficácia e a veracidade das informações produzidas, demandava-se de muito esforço e tempo para que uma pesquisa fosse concluída.

Com o auxílio das ferramentas de geoprocessamento (SIG, softwares SPRING e ArcGis, por exemplo), o tempo para a realização destes cálculos diminuiu significativamente, além de minimizar erros grosseiros, o que tornou possível a aplicação do método em áreas mais extensas.

Com o aprimoramento do método, foram desenvolvidas as *Isobases Confluentes* (Jiménez-Rueda & Mattos, 1992) que, diferentemente das *Isobasitas de Interação*, passaram a determinar todos os pontos de “confluência de drenagem”, definidos pela junção de dois segmentos de drenagem. A cada confluência eram associadas as suas coordenadas geográficas (x e y), que representam a localização do ponto no espaço, e os valores de z, que definem a altitude de cada ponto/confluência. A ordem dessa confluência passou a indicar o nível de base e a posição relativa de um dreno dentro da rede hidrográfica da bacia.

Diversos autores, como Gravelius (1914), Horton (1945), Strahler (1957) e Filosofov (1960) propuseram métodos para ordenar as drenagens. Dentre eles, o mais empregado foi o de Horton (1945), modernizado por Filosofov (1960). Este método atribui uma idade geológica relativa para cada ordem de drenagem tornando possível, desta forma, correlacionar rios e vales de mesma ordem de drenagem como originários de eventos geológicos similares e, por consequência, como tendo idades geológicas próximas. Assim como em segmentos de drenagem de comprimentos diferentes, mas de mesma ordem, os menores podem ser caracterizados pelos gradientes topográficos íngremes. Tais segmentos podem ocorrer tanto nos flancos das dobras quanto em blocos

tectônicos soerguidos. Segundo Golts & Rosenthal (1993), o mergulho dos segmentos mais longos geralmente é suave, típico de calhas de sinclinais, grábens e blocos abatidos.

Portanto, de uma forma geral, diversas características morfológicas podem ser evidenciadas por meio de uma isobase, além de poder estar relacionadas a diferentes fases geológicas.

2. METODOLOGIA

De acordo com Goosen (1968) e Botero (1978), a análise fisiográfica baseia-se na interpretação de produtos de sensores remotos, os quais estabelecem uma relação “*relevos solos*” e auxiliam no reconhecimento e identificação dos elementos texturais e dos padrões de drenagem que, por sua vez, contribuem para a compreensão e integração dos processos de formação e dinâmica da paisagem. Assim, para a geração das Isobases Confluentes utiliza-se dados de drenagem e de uma superfície com valores de altitude.

O método das Isobases Confluentes requer que a bacia hidrográfica seja organizada segundo o proposto por Strahler (1957). Já as confluências de drenagem são hierarquizadas segundo os critérios geológicos de modificação da paisagem, propostos por Jiménez-Rueda & Mattos (1992). Segundo os autores, cada confluência de drenagem carrega consigo aspectos geológicos e geotectônicos correspondentes a uma determinada época cronológica (a época de sua ação deformativa/formativa), da mesma forma que confluências de mesma ordem localizadas em uma região teriam se instalado ao mesmo tempo, definindo um nível de base crono-estratigráfico específico.

O método aqui usado associa a cada uma das confluências de drenagem o seu valor de elevação (em metros) extraído da imagem de radar, gerando superfícies para cada ordem de confluência. Estas correspondem às paleo-superfícies, partindo do princípio de que quanto maior a ordem de drenagem mais antiga foi a ocorrência dos eventos exo-endógenos geradores e representados por ela.

Para a geração das paleo-superfícies faz-se necessário o auxílio do *softwareArcGis10*, assim como das imagens de radar do programa *Aster/NASA* para a extração das altitudes.

Após a aquisição do banco de dados, inicia-se o processo de adensamento da drenagem, base para todos os passos seguintes do método. Esta etapa é processada através do *ArcHydro*, pacote de ferramentas para modelagem de dados pertencente ao *software ArcGis*. O *ArcHydro* é utilizado para determinar o caminho que o fluxo da água percorre na superfície do relevo. Através da produção da rede de drenagem é definido um único identificador para cada dreno, permitindo traçar o movimento da água de uma feição à outra próxima, assim é possível vincular pontos às extremidades e/ou junções dos segmentos da drenagem.

Com o processamento da drenagem no *ArcHydro* gera-se um arquivo de drenagem adensada para a área em estudo. A partir disso passa-se a ordenação da rede de drenagem, processo que é de suma importância para a determinação das isobases confluentes. Dentre os métodos sugeridos por diversos autores (Gravelius 1914, Horton 1945, Strahler 1957) para definir a ordem da drenagem, optou-se por utilizar o proposto por Strahler (1957).

A junção de dois segmentos de drenagem gera um ponto denominado de *confluência de drenagem*. A ordem de cada confluência indica o nível de base e a

posição relativa de um dreno dentro da rede hidrográfica da bacia. A Figura 1 exemplifica como são classificadas e ordenadas as confluências de drenagem.

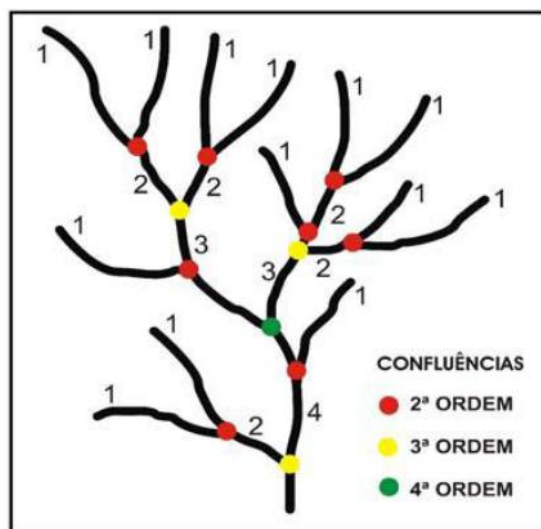


Figura 1: Modelo para a classificação das confluências de drenagem (Piedade 2006).

O critério utilizado para a ordenação das drenagens seguiu o método de Strahler (1957). Porém para a ordenação das confluências seguiu-se o método proposto por Jiménez-Rueda & Mattos (1992). Segundo este método, a junção de duas drenagens de 1ª ordem gera uma confluência de 2ª ordem; a junção de duas drenagens de 2ª ordem gera uma confluência de 3ª ordem e assim sucessivamente. Vale ressaltar que a ordem da drenagem difere da ordem que o encontro de dois drenos assume o que se correlaciona com distintos estágios geológicos. Entretanto, quando uma confluência de 1ª ordem intercepta uma drenagem de ordem superior (independentemente da ordem desta drenagem) forma-se uma confluência de 2ª ordem, uma drenagem de ordem 2 ao juntar-se com uma drenagem de ordem superior gera uma confluência de 3ª ordem, e assim sucessivamente. Tais interseções, de drenagens de ordens menores com drenagens de ordens maiores, indicam movimentos tectônicos mais recentes, posteriores à instalação da drenagem de maior ordem.

A Figura 2 exemplifica como são definidas/geradas as paleo-superfícies e/ou proto-drenagens. Considerando a drenagem mais antiga como a de ordem 4, fica definido o nível de base daquela proto-superfície apenas pelas confluências que existiam naquele momento. Desta forma, na Figura 2^a observa-se que apenas 3 pontos definem o nível de base, sendo um deles formado pelo encontro de dois drenos de 3^a ordem e os outros dois pela chegada de tributários de 3^a ordem a esse dreno principal. Enquanto que na Figura 2b é estabelecido outro nível de base com osurgimento de drenagens de 2^a ordem.

Cabe ressaltar que as drenagens de primeira ordem representam a tectônica atual/subatual/recente, ou seja, as últimas ações ou manifestações deformacionais endo-exogênicas ocorridas na área que vem sofrendo ação do intemperismo moderado a pouco expressivo. Devido a isto, as confluências de segunda ordem representam uma paleo-superfície mais recente que as de quinta e sexta ordem. Dessa forma, pode-se concluir que, as drenagens de terceira ordem ao confluir com qualquer canal cuja ordem seja maior, definem as confluências de quarta ordem e que, na paleo-superfície gerada, essas drenagens atuavam como nascentes, representando assim a tectônica atuante naquele período.

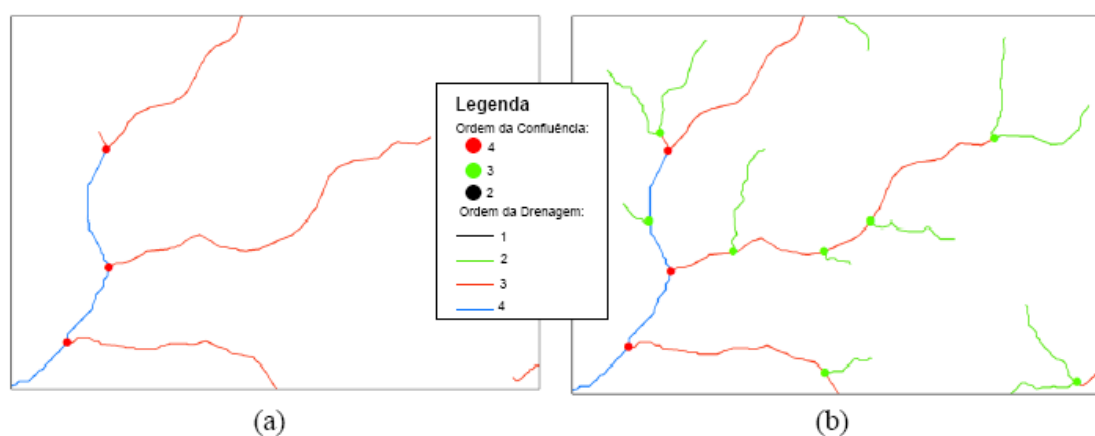


Figura 2: Exemplo de proto-drenagens (Ribeiro 2010).

A cada confluência são associadas as suas coordenadas geográficas (x, y, z). Para a geração das superfícies residuais (mapa de isobases) utiliza-se o método de *Interpolação* (ferramenta *Topo do Raster*) do *software ArcGis*. Ao gerar as proto-superfícies de cada ordem de confluência obtêm-se uma reconstrução da paleopaisagem correspondente, bem como das proto-estruturas equivalentes às condições de equilíbrio dinâmico daquele momento.

Segundo Golts & Rosenthal (1993), mudanças bruscas na direção das isolinhas de uma isobase (de interseção) podem indicar deslocamento tectônico e/ou diferenças litológicas. Assim como a compressão das isolinhas pode indicar estratos de mergulho acentuado, flexuras ou falhamentos. Em contrapartida, o espaçamento entre elas indica um gradiente suave e possível presença decalhas estruturais. De um modo geral, tal estrutura é acompanhada por uma bifurcação de vales e por acúmulo de sedimentos aluvionares.

Ainda segundo os autores supracitados, dentro dos limites das bacias sedimentares, o mergulho das camadas e a direção do fluxo das drenagens de altas ordens coincidem com a morfotectônica regional. Geralmente os fluxos de água subterrânea acompanham os gradientes máximos na isobase. Seções longitudinais de vales com drenagens de mesma ordem, que incidiram durante períodos geológicos definidos, correspondem aos movimentos tectônicos que ocorreram durante este intervalo geológico. Contudo, isobases geradas para áreas de vales de uma ordem definida refletem os movimentos tectônicos em sua totalidade, desde o período geológico referente ao entalhe até o presente. Desta forma, se o mapa de isobases retrata as feições anômalas, como compressão, espaçamento ou desvios acentuados na direção das isolinhas, ele também pode indicar mudanças na intensidade dos movimentos

verticais e presença de falhas, ou ainda limites de áreas formadas por diferentes eventos tectônicos.

Por fim, um mapa de isobases auxilia a configuração e a interpretação de um mapa morfotectônico, uma vez que nele são apresentados os lineamentos básicos ou os deslocamentos das linhas derivadas das variações de direção das isolinhas. Os contornos das feições fisiográficas, quando sobrepostas às isobases, acentuam os limites das províncias tectônicas. E, em áreas com cobertura de sedimentos continentais espessa, as isobases auxiliam na indicação do mergulho regional ou local ocorrido durante o estágio estrutural.

O Estado de São Paulo foi selecionado para exemplificar o método por apresentar quatro variações geodinâmicas regionais que caracterizam as diversas variações morfoclimáticas do Sudeste Brasileiro. Ele está inserido nos domínios das Províncias Mantiqueira, Litorânea e Paraná, proporcionando ao Estado variações tectônicas e morfológicas. Situa-se entre as latitudes 19°00' e 25°30' sul e 44°30' e 53°00' oeste de Greenwich.

3. RESULTADOS

O Estado de São Paulo após o Neo-Jurássico apresentava -se com grandes atividades vulcânicas e mudanças tectônicas, com grandes modificações durante todo o Eo-Cretáceo, época representada pela **Isobase 8** (Figura 3a), onde se observa que a região ocidental do Estado de São Paulo (Planalto de Bauru) passa a ter comportamento de um grande baixo estrutural/alto topográfico e recebe aporte de material dos altos estruturais adjacentes. Observa-se ainda que nesta época ocorreu uma transgressão marinha (o mar estava sobre o atual continente) que se manifesta pela presença de

sedimentos marinhos possivelmente identificados nas instalações da capital paulista. Conforme afirmado por Landim & Soares (1976) e Soares *et al.* (1980), tal época data do Eo-Cretáceo.

Durante a transição da Isobase 8 para Isobase 7 tiveram continuação as atividades vulcânicas, com manifestações magmáticas representadas pelas intrusões kimberlíticas tanto em áreas cratônicas quanto em áreas afetadas pelo Ciclo Brasileiro (Almeida 1983 *apud* Bizzi *et al.* 2003). Nesta transição ocorreu também o início do fechamento de bacias de sedimentação as quais passaram a ser soerguidas pela reativação do Arco do Canastra e pelas intrusões alcalinas, fatos estes que ocorreram concomitantemente à atividade vulcânica.

Na **Isobase 7** (Figura 3b) teve início a intrusão de rochas alcalinas a nordeste (Arco da Canastra), leste (Arco da Serra do Mar) e sul-sudeste (Arco de Ponta Grossa) do estado. Com as intrusões o Planalto de Bauru foi soerguido, ocorreu o abatimento da região oeste do estado, onde se formam áreas alagadas, possibilitando os depósitos lacustrinos, cujos materiais foram laterizados. A deposição destes materiais se estende do Cretáceo Inferior ao Médio (Soares *et al.* 1980, Almeida *et al.* 1980). Nesta fase apresentou-se ainda uma progressiva migração do eixo da bacia Bauru para nordeste, os arenitos passaram de depósitos de ambiente fluvial meandrante para anastomosado, sendo que esses sedimentos apresentavam-se essencialmente arenosos na região ocidental e mais argilosos na região norte, repousando em discordância erosiva sobre os basaltos, discordância esta caracterizada pela presença de lateritas ou protoplintitas de mais de três metros de espessura com presença de seixos de granito, gnaisse, quartzitos e outros componentes do cristalino (Soares *et al.* 1980). Nesta época também se observa a instalação do Proto-Alinhamento Tietê, com sentido NW-SE e da Serra do Mar, com

sentido NE-SW. Vários autores acreditam que tal época tem idade entre o Eo-Cretáceo e o Cretácio Médio (Aptiano/Albiano e Turoniano).

Na **Isobase 6** (Figura 3c) o alinhamento Tietê (sentido NW-SE) já estava melhor definido, ocorreu epirogênese com presença de vulcanismo na região onde o Arco da Canastra penetrou (nordeste do estado), causando latossolização profunda, laterização e plintificação intensa. Após o tropicalismo e a segunda ação de peneplanização ocorreu uma nova reativação tectônica que repercutiu na geração do Alto de Paranaíba e da Canastra, separando e individualizando duas bacias sedimentares na região norte e nordeste do Estado de São Paulo. Isto ocorreu a 85 Ma (Gibson *et al.* 1995 *apud* Bizziet *al.* 2003). Com essa epirogênese ocorreu o abatimento do Proto-Paraíba, localizado na região de Taubaté e Queluz e o rifteamento do Paraíba (direção NE-SW) começou a se definir. Em alguns casos, como na região de Franca e Cristais Paulista é possível encontrar lateritas e plintitos vitrificados. Concomitantemente a isto, no oeste do estado, começaram a ser definidos os sistemas de canais meandantes, em ambientes flúvio-lacustres, onde foi depositada/definida uma unidade sedimentar e início de depósitos de uma nova formação sedimentar. Tal época tem idade entre o Cretáceo Médio e o Neo-Cretáceo (Turoniano/Santoniano), conforme afirmado por Soares *et al.* (1980).

Na **Isobase 5** (Figura 3d) continua a epirogênese da região nordeste do estado, mas agora com o vulcanismo já cessado. Ela demonstra a ocorrência de uma segunda transgressão marinha devido ao abatimento da região da capital do Estado, a qual passa a ocupar posição de praia flúvio-marinha. O rifteamento Paraíba começa a ficar mais definido, com sentido NE-SW e distensão NW-SE. Nesta época definem-se também as

formações sedimentares nas regiões de Marília e Adamantina, com seca bem marcante, tendo idade Neo-Cretácea (Santoniano/Mastrichtiano), Fúlfaro *et al.* (1982).

A **Isobase 4** (Figura 3e) corresponde à superfície Sul-americana, de King (1956) e Almeida (1964). Nela ocorre a retomada do tropicalismo, a regressão marinha e, conseqüentemente, o soerguimento da região da capital paulista, quando se inicia a definição da Serra do Mar (Cainelli & Mohriak 1998 *apud* Bizzi *et al.* 2003) e da Proto-Depressão Periférica. Ocorre também o a melhor definição do Alinhamento Tietê (sentido NW-SE), com a instalação do Proto-Rio Tietê. Concomitantemente, na região de Poços de Caldas/MG os depósitos de bauxita são definidos. Esta época identifica o início de um tropicalismo e tem idade marcada entre o Neo-Cretáceo e o Paleógeno (Paleoceno/Eoceno), segundo exposto por Fúlfaro *et al.* (1982).

Na **Isobase 3** (Figura 3f) teve início o desmantelamento da Superfície Sul-americana com a ocorrência da epirogênese seguida de erosão gerada pela transição do clima tropical para o árido (durante o Eoceno Médio), houve também uma melhor definição da Depressão Periférica Paulista (durante o Eoceno Médio/Oligoceno), assim como do rift Paraíba do Sul, com lineamento da drenagem e do relevo com sentido NE-SW (Almeida & Carneiro 1998 *apud* Casado *et al.* 2011). Nesta época iniciou-se a formação das bacias do Pardo, Mogi, Piracicaba, Tietê, Aguapeí, Peixe, Santo Anastácio, ProtoTurvo, Taubaté e Rezende, assim como o soerguimento/epirogênese da Serra da Bocaina e da Ilha de Cananéia. Tais fatos indicam que a isobase 3 ocorreu entre o Paleógeno e o Neógeno (Eoceno/Mioceno), conforme afirmam Almeida (1976).

A **Isobase 2** (Figura 3g) agrega em si detalhes do relevo recente/atual do Estado de São Paulo com evidentes sequências dos processos morfo-tectono-climáticos que se sucederam durante sua evolução. Nela a Depressão Periférica Paulista, a Serra do Mar, a

Serra da Bocaina e a Ilha de Cananéia já estão bem definidas, a Bacia de Rezende se fecha (Almeida & Carneiro 1998 *apud* Casado *et al.* 2011) e os principais rios do estado já estão instalados. Nela ocorre também a diferenciação dos rios Tietê e Mogi, devido ao soerguimento neotectônico com domínio E-W e NW-SE, definindo melhor as calhas dos rios atuais.

Já na **Isobase 1** (Figura 3h) ocorre a alternância entre ambientes tropicais e áridos. A Depressão Periférica, o Planalto Ocidental, os Altos de Arujá, Santa Isabel e Cantareira estão estabelecidos e bem definidos, assim como os afluentes dos principais rios do estado. Nesta época houve o soerguimento da Serra de São Pedro e de Botucatu (aproximadamente a 7 Ka), o que acentuou mais a diferença entre a Depressão Periférica e o Planalto Ocidental Paulista; nela também se definiram os Altos do Pau d'alho e de Pitanga, re-erguidos entre 10 Ka – 5 Ka. Segundo Pessenda *et al.* (1996*apud* Souza & Branco 2013) tal época corresponde ao Neógeno/Quaternário (Plioceno Superior/Pleistoceno/Holoceno).

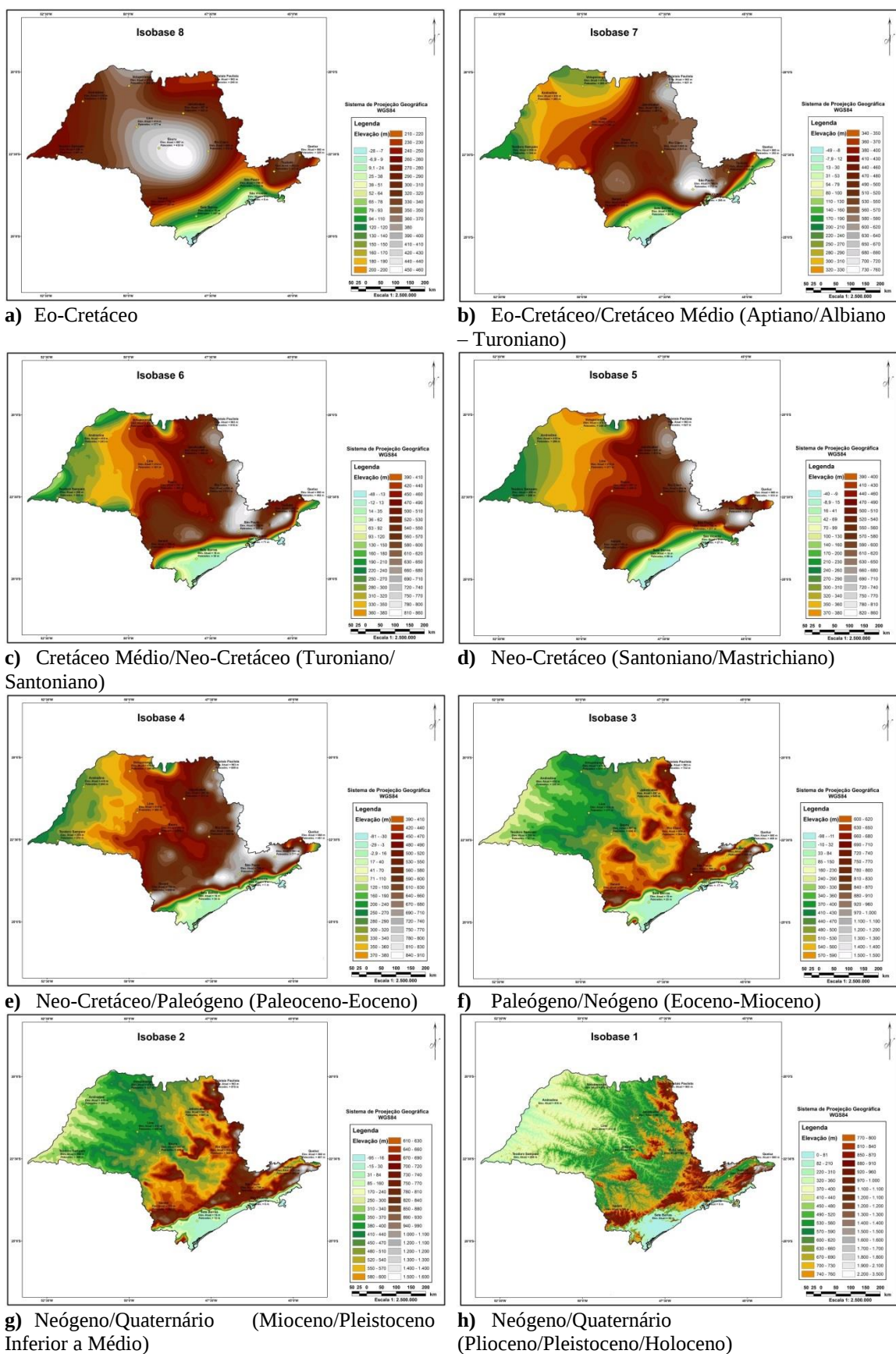


Figura 3. Isobases Confluentes para o Estado de São Paulo.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O uso de sensoriamento remoto e geoprocessamento é fundamental na reconstituição paleofisiográfica e cronoestratigráfica de uma região, de forma a estabelecer correlações mais rapidamente. A conjugação com SIGs minimiza tempo, custos e viabiliza objetivos.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Ab'saber, A.N. (1970). Províncias geológicas e domínios morfoclimáticos no Brasil. *Geomorfologia. São Paulo: Ateliê Editorial*, 20, 26p.

Almeida, F.F.M. (1983). Relações tectônicas das rochas alcalinas mesozóicas da região meridional da plataforma sul-americana. *Rev. Bras.de Geociências*, 13(3), 139-158.

Almeida, F.F.M., Hasuy, Y., Brito Neves, B.B.&Fuck, R.A. (1977). Províncias estruturais brasileiras. *Resumo das Comunicações do 8º Simpósio de Geologia do Nordeste*, 12-13.

Almeida, M.A.de, Stein, D.P., Melo, M.S.de, Bistrichi, C.A., Ponçano, W.L., Hasui, Y. & Almeida, F.F.M. (1980). Geologia dos oeste paulista e áreas fronteiriças dos estados de Mato Grosso do Sul e Paraná. *Anais do XXXI Congresso Brasileiro de Geologia, Santa Catarina*, 5.

Almeida, F.F.M. (1964). Fundamentos Geológicos do Relevo Paulista. Universidade de São Paulo, Instituto de Geografia, São Paulo, 99p.

Almeida, F. F. M. de; Carneiro, C. D. R.(1998) Origem e evolução da Serra do Mar. *Revista Brasileira de Geociências*, São Paulo, v. 28, n. 2, p. 135-150.

Bizzi, L.A., Schobbenhaus, C., Vidotti, R.M. & Gonçalves, J.H. (2003). Geologia, Tectônica e Recursos Minerais do Brasil. CPRM: Serviço Geológico do Brasil.

Botero, P.J. (1978). Fisiografía y estudios de suelos. Centro Interamericano de Fotointerpretación, Bogotá, 30(47).

Casado, F.B., Etchebehere, M.L.C., Stevaux, J.C., Oliveira, P.E. & Saad, A.R. (2011). Estratigrafia e paleoambiente Neoquaternário da calha aluvial do Rio Paraíba do Sul entre os municípios de São José dos Campos e Taubaté, SP. *Geociências*, 30(2), 125-145.

Filosofov, V.P. (1960). Brief Guide to Morphometric Methods in Search of Tectonic Structures. Saratov University: Publishing House.

Fúlfaro, V.J.; Saad, A.R.; Santos, M.V. & Vianna, R.B. (1982). Compartimentação e Evolução Tectônica da Bacia do Paraná. *Revista Brasileira de Geociências*, 12(4), 590-611.

Gibson, S.A., Thompson, R.N., Leonardos, O.H., Dickin, A.P. & Mitchell, J.G. (1995). The late Cretaceous impact of the Trindade mantle plume: evidence from large-volume, mafic potassic magmatism in SE Brazil. *J. Petrol*, 36, 189-229.

Golts, S. & Rosenthal, E. (1993). A morphotectonic map of the northern Arava in Israel, derived from isobase lines. *Geomorphology*, 7, 305-315.

Goosen, D. (1968). Interpretación de fotos aéreas y su importancia en levantamiento de suelos. *Boletín sobre suelos*, Roma, 6, 0-58.

Goosen, D. (1971). Physiography and soils of the Llanos Orientales: Colombia. *Academisch Proefschrift*, 199 p.

Gravelius, H. (1914). *Flusskunde*. Goschen'sche Verlagshandlung, Berlin.

Horton, R.E. (1945). Erosional development of streams and their drainage basins; hydrophysical approach to quantitative morphology. *Bull. Geol. Soc. Am.*, 56, 275-370.

Jiménez-Rueda, J.R. & Mattos, T.J. (1992). Método Morfoestrutural para Mapeamentos Geoambientais. 65p. Notas de Aula. Rio Claro/SP.

King, L. (1956). A geomorfologia do Brasil ocidental. *Revista Brasileira de Geografia*, 18(2), 147-265.

Landin, P.M.B. & Soares, P.C. (1976). Estratigrafia da formação Caiuá. *Anais do 29º Congresso Brasileiro de Geologia*, 195-206.

Mattos, J.T.; Jiménez-Rueda, J.R.; Ohara, T.; Mendes, M.L. de B.; Santana, M.A. (2002). Critérios para mapeamento de classes a erosão de solos em imagem TM-Landsat. In: Simpósio Latinoamericano de Percepción Remota, n. 9, Cochabamba. *Anais IX Simpósio Latinoamericano de Percepción Remota. Cochabamba: SELPER*.

Pessenda, L.C.R., Valência, E.P.E, Camargo, P.B.; Telles, E.C.C., Martinelli, C.A., Cerri, C.C., Aravena, R. & Rosanski, K. (1996). Natural radiocarbon measurements in Brazilian soils developed on basic rocks. *Radiocarbon*, 38, 203-208.

Piedade, J.A.S. (2006). Caracterização das formas erosivas da região de Franca-SP pela metodologia do estudo de isobases. Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Rio Claro, Trabalho de Conclusão de Curso, 52p.

Soares, P.C., Landim, P.M.B., Fúlfaro, V.J. & Sobreiro Neto, A.F. (1980). Ensaio de caracterização estratigráfica do Cretáceo no Estado de São Paulo: Grupo Bauru. *Revista Brasileira de Geociências*, 10(3), 177-185.

Souza, M.M., Branco, F.R. (2013). Evolução paleoambiental Holocênica da porção nordeste do Estado de São Paulo, Brasil. *Revista Brasileira de Paleontologia*, 16(2), 297-308.

Spiridonov, A.I. (1981). Principípios de la metodologia de las investigaciones de campo y el mapeo geomorfológico. Havana: Universidad de la Havana, Facultad de Geografia, 3v.

Strahler, A. N. (1957). Quantitative analysis of watershed geomorphology. *Transactions of American Geophysical Union. New Haven*, 38, 913-920.

Tricart, J. (1977). Ecodinâmica. IBGE, Rio de Janeiro.

Villota, H. (1992). El sistema CIAF de clasificación fisiográfica del terreno. *Revista CIAF*, 13(1), 55-70.

Villota, H. (2005). Geomorfología aplicada a levantamientos edafológicos y zonificación física de las tierras. Bogotá: Instituto Geografico Agustín Codazzi, Departamento Nacional de Estadística, 184 p.

Vink, A.P.A. (1963). Fotografias aéreas y las ciencias del suelo. UNESCO.

Zinck, A. (1987). Aplicación de la geomorfología al levantamiento de suelos en zonas aluviales y definición del ambiente geomorfológico con fines de descripción de suelos. CIDIAT, S.C-46, Mérida, Venezuela, Instituto Geográfico “Augustin Codazzi”, Subdirección Agrológica – IGAC, Bogotá, D.E. Colombia, 176p.