

4. Evolução do pensamento Geomorfológico sobre a evolução das vertentes

Diversos autores ao longo do tempo desenvolveram teorias buscando o entendimento da evolução da paisagem geomorfológica e tentaram melhor representar a dinâmica da paisagem a partir de modelos e teorias, discutindo a relação entre soerguimento crustal, denudação erosiva, recuo de vertentes e superfícies de erosão. Desde o século XIX até meados do século XX, foram sugeridos diversos modelos (BIGARELLA & MEIS, 1965; SILVA, 1991). Serão apresentados a seguir, os principais pesquisadores que desenvolveram teorias acerca da evolução das vertentes.

Powell (1875) foi um dos primeiros a desenvolver o modelo de evolução, e trabalhava com a ideia de nível de base como controlador da denudação do relevo, uma vez que para este autor, existia um ponto em que a dinâmica erosiva perderia sua eficiência. Definindo-se o mar como o nível de base geral, sendo este o máximo de potencial erosivo das vertentes, este autor chamou a atenção para a existência de níveis de base “suspensos” onde, à montante deste ponto, as drenagens possuíam energia erosiva interrompida pelos níveis de base locais, restringindo a evolução das encostas apenas até este nível. (CHRISTOFOLETTI, 1977; SILVA, 1991).

Nesta mesma linha de pensamento, Gilbert (1877) sugeriu uma visão mais sistêmica da paisagem associada à noção de interdependência entre os elementos da paisagem. Para este autor, a concepção de elementos interdependentes constitui um sistema geomorfológico dinâmico, no qual, da mesma maneira que os rios e seus níveis de base estão associados aos processos que se desenvolvem nas vertentes, estes estão associados à dinâmica fluvial. Além disso, estabelece três leis de erosão: declividade, estrutura e divisores. A lei da declividade estabelece uma relação entre declividade x erosão, onde quanto mais íngreme a encosta, ou seja, quanto maior a declividade, maior é a erosão; a lei da estrutura está associada aos planos de fraqueza do substrato rochoso, que pode ser representado por uma fratura ou falha, locais de maior atuação dos processos erosivos; e a lei dos divisores aborda a tendência do perfil longitudinal de um rio ser côncava para

cima quanto mais próximo da cabeceira, local em que a encosta é mais íngreme (Figura 2)(HACK, 1960; SILVA, 1991).

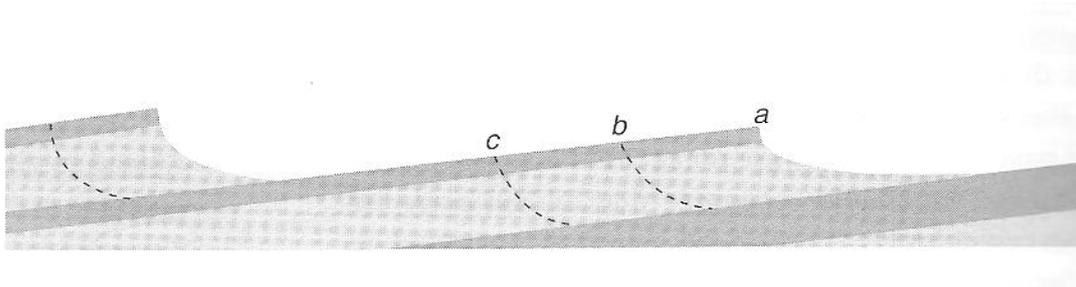


Figura 2: Interpretação de Gilbert para o ajuste das vertentes. A idéia de equilíbrio dinâmico se traduz através do modelado, em que sob mesmas condições climáticas e tectônicas, perpetuaria sua evolução de a para b e c mantendo as características iniciais das vertentes iguais ao longo do tempo.

Fonte: Adaptado, Gilbert (1877).

Davis (1899) apresentou um modelo de “ciclo geográfico ideal” que atribuía pouca importância aos processos que ocorrem no desenvolvimento das encostas (MOURA *et al.*, 2006; SILVA & SANTOS, 2010). Suas abordagens mantinham estreita relação com a noção etapista de ciclos de erosão que se caracterizava pelo soerguimento do relevo, com formas pontiagudas denominado de relevo jovem, seguido de um período de erosão formando relevo suavizado de topos arredondados considerado o período de maturidade do relevo, até o seu aplainamento denominado relevo senil (Figura 3) (HORTON, 1945; BIGARELLA *et al.*, 1965; DANTAS, 1995). Em seu trabalho *Baselevel, Grade and Peneplain* (Davis, 1902) aponta algumas incoerências nas abordagens de Powell e Gilbert em relação ao nível de base, chamando a atenção para a mudança da superfície do mar e para a temporalidade dos níveis de bases locais (CHRISTOFOLETTI, 1977).

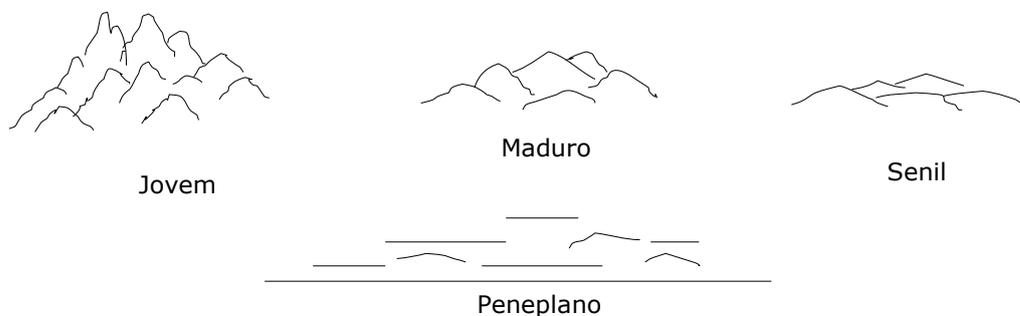


Figura 3: Desenho esquemático do ciclo erosivo de Davis (1899), modificado de Freitas (2007).

Além disso, a teoria Davisiana foi bastante importante no entendimento de ciclos de erosão em ambientes de clima áridos e glaciais que constituiu a base de formação da geomorfologia climática (DANTAS, 1995). Apesar disso, suas pesquisas foram criticadas, pois suas aceções são dotadas na crença em uma uniformidade dos fatores, desconsiderando a possibilidade de outras variáveis, como um novo soerguimento do relevo. A partir da década de 50, muitos pesquisadores reconheceram a incompatibilidade da teoria Davisiana para o território Nacional, um exemplo disso, é a publicação do artigo Relevo Policíclico e Geologia do Brasil de Ruy Osório de Freitas. Este autor, destacou a influência das estruturas tectônicas e sua influência na diversificação do relevo brasileiro, que passou a exercer influência nas pesquisas de Aziz Ab'Saber e Fernando Flávio Marques de Almeida (VITTE, 2006).

Baseado em Davis, Penck, em 1953, elaborou um modelo também baseado no reconhecimento de rejuvenescimento do relevo, contudo, incorpora a noção de recuo paralelo e a influência da geometria das encostas no processo de evolução do relevo. Baseado nas relações entre os eventos de soerguimento crustal e denudação, Penck atribuiu que a velocidade de cada um desses eventos iria definir a geometria das encostas podendo ser côncava (*waningdevelopment*), convexo (*waxingdevelopment*) e o estacionário (*stationarydevelopment*). Quando a velocidade de soerguimento é menor que as taxas de denudação, ocorre a formação de vertentes com perfis côncavos; quando as taxas de soerguimento são maiores que a denudação do relevo, formam-se vertentes de geometria convexas. Por fim, quando há o equilíbrio entre ambas as taxas, há o desenvolvimento de perfis de encostas retilíneos (Figura 4). Apesar disso, recebeu críticas pela visão uniforme do trabalho erosivo e por não considerar a heterogeneidade litológica (PENCK, 1953; BIGARELLA *et al.*, 1965; DANTAS, 1995; FREITAS, 2007).

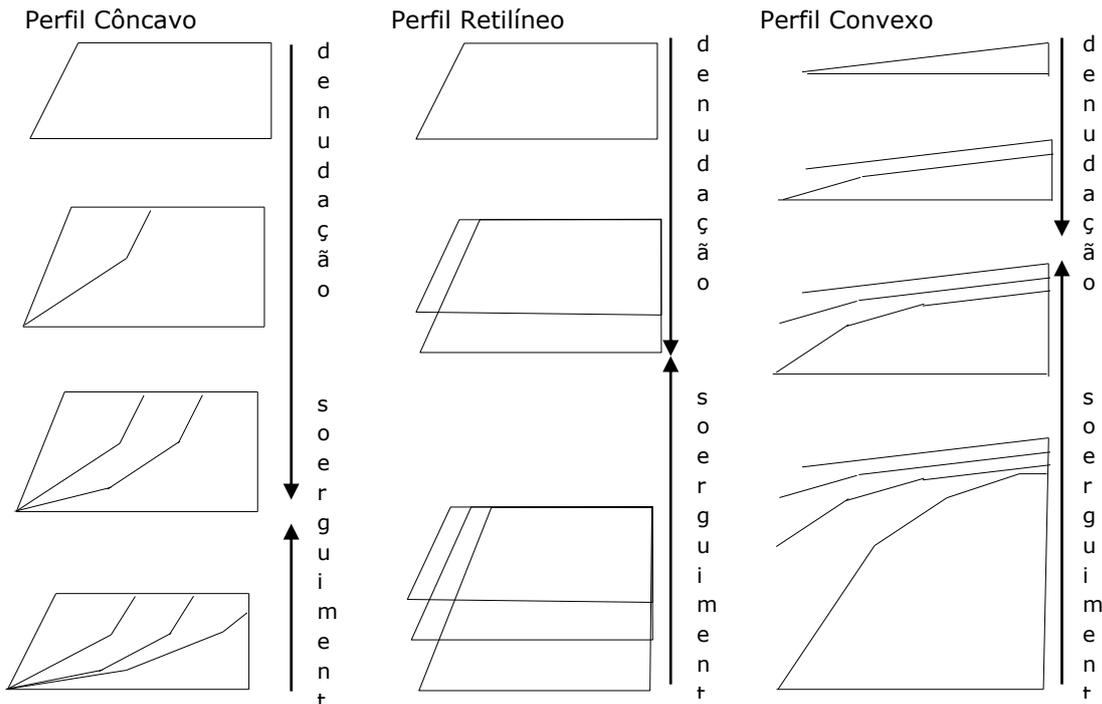


Figura 4: Desenho esquemático do modelo evolutivo das encostas pelo recuo paralelo de Penck (1953), modificado de Freitas (2007).

Sua visão cíclica da paisagem, também, apresentou semelhanças com o conceito de nível de base proposto por Gilbert (1877). Para Penck, a mudança na velocidade do rebaixamento do nível de base é marcada nas vertentes por rupturas de gradientes ou “*gradiente breaks*”, podendo ser convexas ou côncavas, conforme o sentido da mudança (DANTAS, 1995).

Associado aos ciclos de erosão abordados por Penck, King (1953, 1956) observando as características do relevo da África do Sul, Austrália e Brasil, elabora seu modelo baseado no que ele denomina de superfícies de erosão. Esse autor considerava que o processo de erosão/denudação das vertentes deixariam detritos (pedimentos) que testemunhariam o que seria o aplainamento da superfície deixada pelo recuo das encostas, formando por fim superfícies de erosão conhecidas como pediplanos. Para tal concebeu um modelo ideal de encosta que apresentaria em seu aspecto completo um perfil convexo no topo, seguido de uma face livre escarpada (erosiva), uma encosta de detritos com declividade mais suave na base até o pedimento plano (Figura 5) (AB’SABER, 1969; SCHUM, 1963). Os estudos de King foram aprimorados, pois, não consideraram as variações climáticas e não levaram em consideração o controle dos processos erosivos e/ou deposicionais pelas soleiras, como fizeram autores

contemporâneos. Porém, seus trabalhos desenvolvidos possuem grande importância no entendimento da evolução do relevo de boa parte do território nacional, sendo sua pesquisa uma referência até os dias atuais, onde sua teoria aplica-se bem às regiões de clima semiárido. Após a década de 1950, muitos autores brasileiros tiveram contato com a Teoria da Pediplanação desenvolvida por King, provocando mudança nas abordagens geomorfológicas do período (AB'SABER, 1969; PASSOS & BIGARELLA, 2006; VITTE, 2006 CARNEIRO, *et al.* 2010).

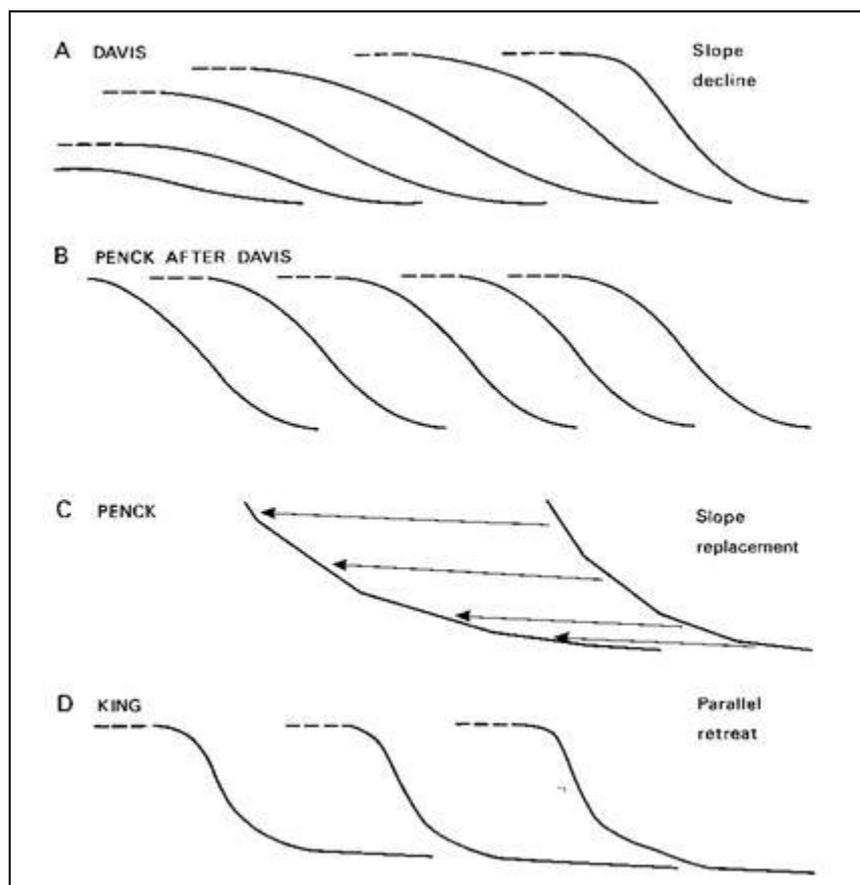


Figura 5: Modelos clássicos de evolução das vertentes. A) Ciclo erosivo de Davis; B) Interpretação do modelo de Penck por Davis; C) Modelo de Penck; D) Recuo paralelo desenvolvido por King.
Fonte: Summerfield (1991).

Em detrimento das teorias de evolução cíclica do relevo, em particular à teoria da pediplanação apresentado por King, Hack (1960) resgata os conceitos de Gilbert (1877, 1909) através da noção de Equilíbrio Dinâmico entre materiais e processos, onde a análise da forma seria o resultado dos processos. Para que haja este equilíbrio na paisagem, é necessário que haja uma estabilidade entre os processos endógenos e exógenos, bem como, no input de energia do sistema.

Hack rompe com as propostas apresentadas pelos autores anteriores pela crença na uniformidade do processo de denudação, por incisão de vales e destruição de divisores em direção a um peneplano, ou por recuo paralelo das vertentes em direção a um pediplano. Para este autor, a denudação preserva as formas existentes (DANTAS 1995; SILVA & SANTOS, 2010).

No Brasil, antes da década de 50, a geomorfologia era marcada pela forte influência da teoria de ciclicidadedavisiana entre os pesquisadores, que pode ser explicada pela vinda de professores da escola francesa para o Brasil para realizar pesquisas junto ao IBGE. Somente após o Congresso de Chicago de 1936, dedicado à obra de Walter Penck, que os geomorfólogos brasileiros entram em contato com a Teoria da Pediplanação (ABREU, 1982; VITTE, 2011). A partir deste contexto, percebe-se a intensificação dos condicionantes geológicos nas análises geomorfológicas da superfície terrestre, tendo a tese de doutorado de Aziz Ab'Saber (1957), intitulada *Geomorfologia do Sítio Urbano de São Paulo* como um grande marco neste nova perspectiva. Essa obra foi orientada por Aroldo de Azevedo e tinha Fernando Flávio Marques de Almeida como um dos membros examinadores da banca, registrando uma profunda transição e reconstrução do modelo interpretativo da gênese do relevo (VITTE, 2006; CARNEIRO & VITTE, 2010; VITTE, 2011).

Durante as décadas de 50 e 60, diversos trabalhos romperam com o paradigma geomorfológico da Teoria da Pediplanação, destacando-se a escola alemã, pelos trabalhos de Büdel, e a escola francesa com os trabalhos de Jean Tricart (DANTAS, 1995). No Brasil, um marco importante para esta mudança no pensamento geomorfológico foi a realização do Congresso da UGI em 1956 no Rio de Janeiro, no qual, os trabalhos de campo foram comandados por Aziz Ab'Saber, Jean Tricart e Jean Dresh. Nestes trabalhos de campo, os questionamentos centrais estavam associadas aos materiais formadores das vertentes, em especial para os paleopavimentos. (CARNEIRO, *et al.* 2010; VITTE, 2011).

Outro aspecto marcante para mudança de paradigma nas pesquisas geomorfológicas foi a vinda de Lester King para trabalhar no Brasil a convite do IBGE e de sua contribuição no entendimento e definição das superfícies de erosão

brasileiras através da publicação *A Geomorfologia do Brasil Oriental* (KING, 1956). Apesar disso, este autor não conseguiu contemplar todo arcabouço teórico envolvido em boa parte do território nacional, pois muitas de suas teorias desenvolvidas no deserto africano, não se aplicavam no Brasil. Isso fez com que os pesquisadores brasileiros buscassem outras formas de análise para compreensão dos pedimentos e pediplanos do Brasil Oriental (PENTEADO, 1969; CARNEIRO, *et al.* 2010).

Devido a esses e outros fatores, desenvolve-se na geomorfologia a influência do clima no modelado do relevo, constituindo, assim, a escola climática. Büdel (1973) foi um dos primeiros pesquisadores a dar enfoque ao fator climático em suas abordagens na tentativa de explicar a gênese das superfícies de erosão, deixando de considerar apenas às variáveis tectônicas. No Brasil, a consolidação da escola climática na geomorfologia se deu por forte influência do trabalho de Jean Tricart (1959), que influenciou nos estudos de diversos pesquisadores, com destaque para os trabalhos de Ab'Saber (1969,1970) e Bigarella (1964), tendo seus enfoques nas variações climáticas do Quaternário (DANTAS, 1995; MOURA & SILVA, 2006; CARNEIRO, *et al.* 2010; VITTE, 2011).

Com o fortalecimento da escola climática no Brasil, as análises geomorfológicas em relação à evolução do relevo dão-se de maneira linear entre a forma resultante e o clima. Segundo esta escola, o tipo de clima que irá determinar os tipos de erosão e conseqüentemente as diferentes superfícies e formas do relevo. Baseados na alternância climática ao longo do tempo, autores como BIGARELLA (1964), desenvolvem um modelo de evolução do relevo que promoveriam a ocorrência de pulsos erosivos e superfícies de erosão. As maiores transformações no modelado da paisagem ocorreriam no clima úmido, onde prevaleceria a incisão fluvial e o rebaixamento do nível de base. Após uma mudança para o clima semi-árido o trabalho de incisão diminuiria pela própria redução da vazão fluvial e prevaleceria o alargamento dos vales sob o recuo (paralelo) das encostas, gerando pedimentação. Desta forma, os níveis topográficos da paisagem, explicados por King (1956) como superfícies de erosão, são neste modelo, também, aceitos como tal, porém gerados pela

alternância climática. Pode-se dizer, que o modelo de Bigarella absorve os fundamentos de superfícies de erosão apresentados por King (1956) e o conceito de recuo paralelo de Penck (1953), porém inovando com os aspectos das mudanças climáticas (Figura 6).

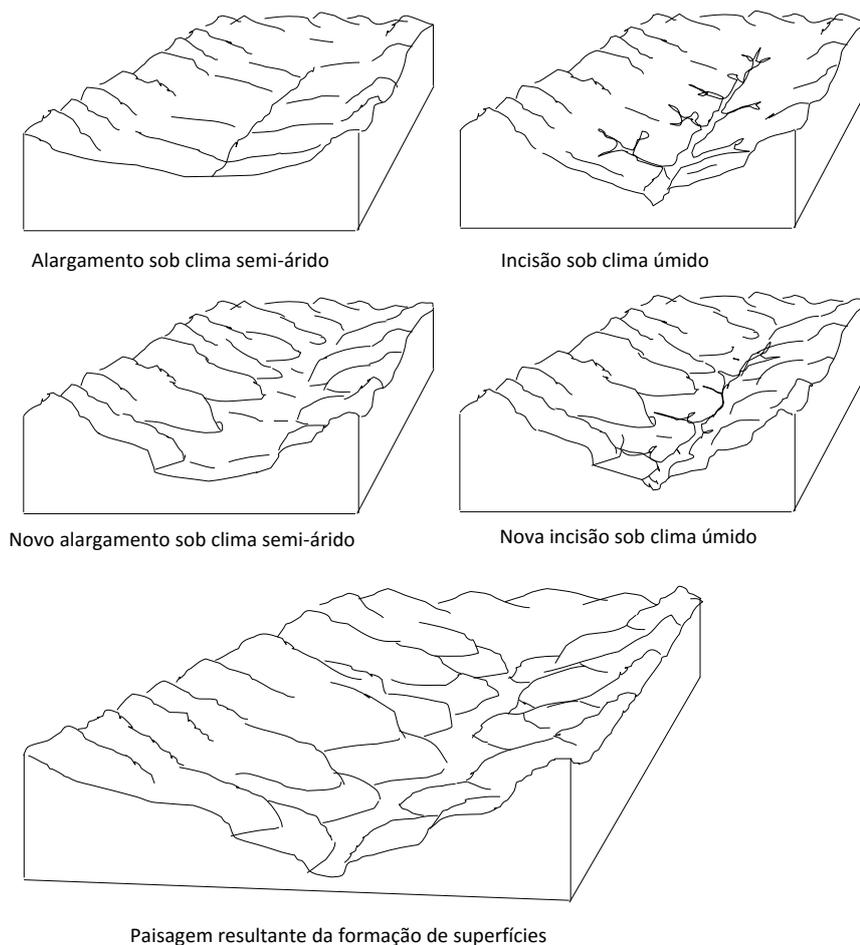


Figura 6: Desenho esquemático do modelo evolutivo das encostas pela variação de taxas de incisão e alargamento comandadas pela variação climática de Bigarella et al (1965), modificado Freitas (2007).

Neste sentido, a evolução das encostas se daria por períodos alternados entre incisão e entalhamento da rede drenagem, durante climas úmidos, e alargamento dos vales associado ao clima seco. Assim como outras teorias, esta também possui uma percepção uniformicista da evolução da paisagem e com ênfase apenas na variável climática, desprezando os diferentes níveis de resistência do substrato rochoso. Além disso, a explicação para os depósitos de

blocos e linhas de pedra adotados nesse período foram questionados posteriormente (FREITAS, 2007).

Rompendo com os modelos clássicos que abordavam padrões homogêneos na evolução das vertentes, uma nova corrente de pensamento surge na geomorfologia, dando um novo enfoque no entendimento da paisagem. Neste sentido, vale ressaltar os trabalhos desenvolvidos no entendimento da evolução do Planalto Sudeste Brasileiro, principalmente no médio vale do rio Paraíba do Sul e no vale do Rio Doce, tendo como ênfase a cronologia de denudação e reconstituição dos processos de sedimentação durante o Quaternário (MOURA & SILVA, 2006).

O enfoque voltou-se para o entendimento das formas das encostas. Dentro das bacias, as encostas possuem fundamental importância no direcionamento de fluxos e materiais, bem como no processo de evolução do relevo. Três principais características são destacadas quanto às encostas: declividade, comprimento e forma da encosta. Mais interessante que a abordagem dessas características separadamente é a integração destes parâmetros para o entendimento da dinâmica de processos erosivos no relevo. Desde os trabalhos de Meis (BIGARELLA & MEIS, 1965; MEIS, 1977; MEIS & MACHADO, 1978), no planalto sudeste, atenção especial foi dada a geometria das encostas. Suas pesquisas direcionaram-se ao entendimento dos diferentes depósitos coluvionares para reconstrução dos eventos quaternários na modelagem do relevo. Através de uma cronologia de denudação e reconstituição dos processos de sedimentação, promoveram uma análise conjugada das sequências litoestratigráficas e das feições geomorfológicas, contribuindo para o estudo da sedimentação subaérea (HACK & GOODLETT, 1960; MOURA & SILVA, 2006).

Neste sentido, os terraços geomorfológicos constituíam a principal feição da paisagem para o estabelecimento de indicadores cronológicos. Concomitante a esta abordagem, Bigarella & Meis (1965), Meis (1977) voltaram sua atenção para as coberturas deposicionais das encostas. Em seu trabalho desenvolvido na região sudeste sobre o relevo dissecado do rio Doce e do Paraíba do Sul, Meis *et al.*, 1981, afirmam que as encostas côncavas (*Hollows*) em forma de anfiteatro possuem uma dinâmica específica relacionada a ocorrência de movimentos de

massa nas altas encostas e a acumulação de materiais em direção ao eixo das concavidades, na média e baixa encosta. Encostas de geometria convexas (*Nose*) tendem a divergir fluxos hídricos, enquanto, que, encostas côncavas são zonas de convergência dos fluxos d'água ou fundos de vale, onde fluem em direção ao eixo de drenagem da bacia (COELHO NETTO, 1994).

Meis *et al.*, (1981) desenvolveram sua teoria consagrando a terminologia: complexo de rampas, na qual a geometria côncava contém em seu interior diversas gerações de avalanches de detritos, com idades diferenciadas, combinando em sua forma esparramada em forma de leque na parte mais plana da topografia detritos de origem coluvial e aluvial (Figura 7).

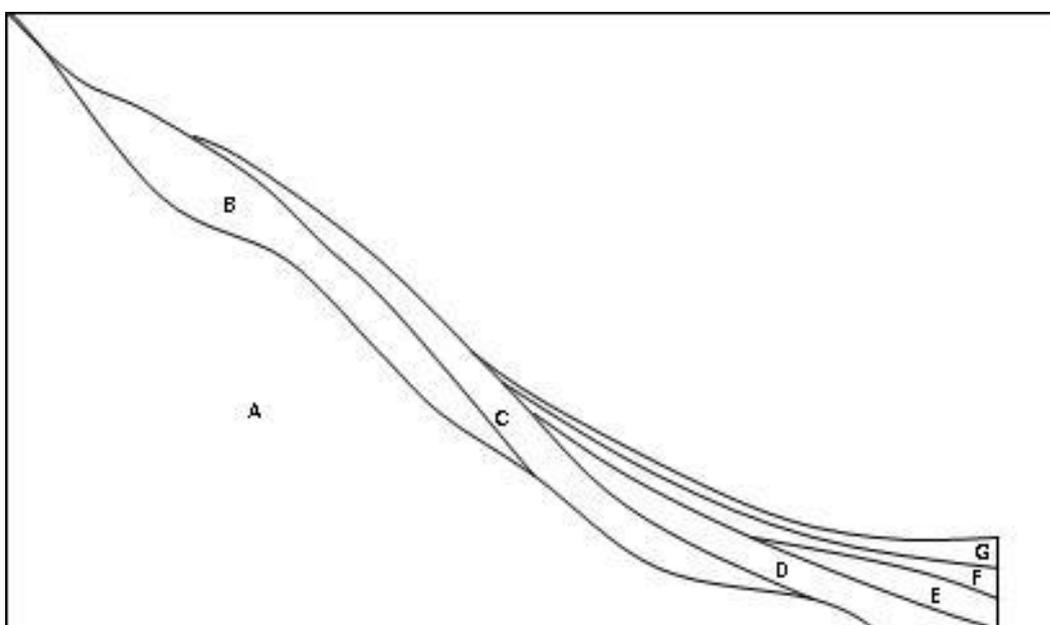


Figura 7: Desenho esquemático dos complexos de rampa, modelo evolutivo das encostas elaborado por Meis (1981) apud Freitas (2007). Na figura estão representadas através de letras as acumulações detriticas provenientes das vertentes que se interdigitam e/ou recobrem depósitos aluviais. O embasamento é representado pela letra (A).

A dinâmica de evolução dos complexos de rampa, portanto, está diretamente associado às variações paleo-hidrológicas e de nível de base, pressupondo a ação simultânea da erosão e deposição em diferentes setores da encosta. Quando ocorre a degradação do nível de base, observa-se o recuo das encostas continuamente dissecadas pelas rampas. Nos episódios de agadação do nível de base, as unidades deposicionais na média e baixa encosta ficam retidas,

formando um pacote coluvial mais espesso (MEIS & MOURA, 1984; MOURA & SILVA, 2006).

Uma das metodologias utilizadas nas abordagens dos depósitos de colúvio foram as análises estratigráficas por meio de análise textural dos sedimentos, bem como, a datação por radiocarbono dos depósitos. Isto possibilitou um melhor entendimento nos episódios erosivos e deposicionais que ocorreram no Planalto Sudeste durante o Quaternário, com a identificação de dois períodos marcantes durante o Holoceno. O período de transição climática foi responsável pelo esvaziamento dos vales e depósitos deste planalto (COELHO NETTO & DIETRICH, 1991), pois estão associados aos processos de capturas do Rio Paraíba do Sul (DANTAS, 1995;).

Estudos recentes demonstram uma espécie de aprofundamento dos estudos elaborados por Meis (1965; 1982), através do estudos dos processos e condicionantes que resultam na forma da encosta. Moura *et al.* (1991) ao avaliar a geometria das encosta no Médio Vale Paraíba do Sul, abordam a questão das cabeceiras em forma de anfiteatro como unidades importantes nas análises geomorfológicas. Coelho Netto (2003) estuda a evolução de cabeceiras de drenagem na mesma região e atenta para o forte controle estrutural na evolução da rede de drenagem, associando esta característica ao fenômeno de coalescência de divisores e processos erosivos. As estruturas geológicas também influenciam na distribuição espacial dos knickpoints nesta região, podendo estar a litotipos mais resistentes que geram erosão diferencial (SILVA *et al.*, 2006).