



Margarida Penteado

Revista de
Geomorfologia



A OBRA “O CLIMA, FATOR DO RELEVO” (DE MARTONNE, 1913)¹ E SUAS CONTRIBUIÇÕES PARA A GEOMORFOLOGIA CLIMÁTICA

THE WORK “THE CLIMATE, RELIEF FACTOR” (DE MARTONNE, 1913)¹ AND ITS CONTRIBUTIONS TO CLIMATE GEOMORPHOLOGY

L'ŒUVRE « LE CLIMAT, FACTEUR DE RELIEF » (DE MARTONNE, 1913)¹ ET SES CONTRIBUTIONS À LA GÉOMORPHOLOGIE DU CLIMAT

Frederico de Holanda Bastos

Professor-doutor do Departamento de Geografia da Universidade Estadual do Ceará.

Email fredholanda@gmail.com

 ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4330-7198>

A evolução da ciência geomorfológica traz consigo uma dicotomia acerca da relevância dos fatores estruturais e climáticos na interpretação dos relevos terrestres. A história epistemológica da geomorfologia foi influenciada pela evolução teórica e metodológica das geociências e, a cada avanço tecnológico, um novo argumento surgia para fortalecer o papel do clima ou da litoestrutura na configuração da morfologia superficial.

As primeiras teorias de evolução geomorfológica destacavam a importância do trabalho destrutivo da ação intempérica e dos rios, rebaixando os relevos (DAVIS, 1899), assim como o papel dos fatores exógenos e dos depósitos correlativos na interpretação evolutiva do modelado (PENCK, 1953). No entanto, essas análises não contemplavam maiores detalhamentos acerca da complexidade dos processos morfodinâmicos superficiais em diferentes contextos climáticos.

A obra de De Martonne (1913) “*Le climat, facteur du relief*” é um texto clássico acerca do papel do clima na formação dos relevos terrestres, constituindo um trabalho fundamental na geomorfologia climática (BIROT, 1973).

O texto se inicia com uma contextualização do papel dos geólogos como percussores da pesquisa geomorfológica, e o destaque dado por eles para o componente geológico na explicação dos relevos. No entanto, tendo em vista a expansão do conhecimento geomorfológico em diferentes continentes, o autor destaca a necessidade do aprofundamento em abordagens climáticas para se compreender diferentes comportamentos morfológicos.

Nessa perspectiva, ao longo do século XIX, inúmeras expedições realizadas por pesquisadores europeus em outros continentes, a exemplos de Richtofen, Passarge, Foureau e Hedín, assim como a expressiva amostragem espacial dos EUA com os seus geocientistas (Powell, Gilbert e Davis), permitiram avanços significativos na interpretação da relação do clima na configuração do relevo.

A partir de uma tentativa de sistematização de comportamentos morfodinâmicos em diferentes contextos climáticos, o trabalho passa a focar nos aspectos morfológicos em diferentes continentes e latitudes.

¹ Texto na íntegra ao final da análise apresentada



Nessa perspectiva são elencados diversos exemplos de processos, relacionando os climas aos principais mecanismos de alteração superficial, sejam eles químicos ou físicos (termoclastia, crioclastia, descamação, etc.), além da caracterização dos sistemas de erosão em diferentes contextos climáticos a exemplos de processos glaciais, fluviais, eólicos, térmicos, etc.

O autor ressalta o fundamental papel exercido pela umidade em termos geomorfológicos, reforçando a necessidade de se analisar os regimes pluviométricos de diferentes recortes espaciais e compreender seu papel na decomposição de rochas. Além disso, a ação fluvial é elencada como agente erosivo fundamental na morfologia terrestre.

Destaca-se também que os processos de intemperismo ocorrem de forma ininterrupta, adaptando-se aos diferentes contextos climáticos, e criando alterações superficiais que passam a ser transportados pela ação dos agentes erosivos. Nos climas tropicais úmidos, a decomposição química das rochas é responsável pela formação de profundos regolitos recobertos por florestas em diferentes contextos topográficos. Já nas regiões secas, os processos físicos predominam, deixando suas marcas através de mantos de intemperismo caracterizados por material grosseiro e afloramentos rochosos.

Essa abordagem geomorfológica climática ou zonal relaciona processos morfogenéticos aos contextos climáticos, justificando morfologias predominantes condicionadas ao clima que o autor designou como “fácies topográficas”. São elencadas as fácies úmido e quente; fácies temperado úmido; fácies com estação seca; fácies desértico; fácies frio e seco; e fácies glacial, correspondendo a cada contexto morfoclimáticos global, não descartando o comportamento das áreas de transição.

O texto também apresenta questões relativas às mudanças paleoclimáticas globais (citando as glaciações) e seus possíveis reflexos preservados nas morfologias atuais. Destaca-se a necessidade de maiores aprofundamentos na paleoclimatologia no âmbito das futuras pesquisas geomorfológicas, tendo em vista a necessidade de se analisar a evolução de paisagens a partir de diferentes sistemas erosivos ao longo do tempo.

Algumas discussões acerca do papel da geologia e do clima na explicação dos relevos são apresentados na obra, indicando a questão da escala de abordagem como um fator a ser considerado. Dessa forma, indica-se que os grandes traços do relevo são determinados por eventos geológicos (dobramentos, subsidências e soerguimentos), ficando para o clima a esculturação do modelado topográfico propriamente dito.

Essa abordagem pioneira de De Martonne (1913) abriu caminho para um significativo avanço na geomorfologia climática. Com a sistematização do conhecimento geomorfológico ao longo do século XX, foram publicados importantes trabalhos descrevendo padrões de relações entre processos e formas de relevo em diferentes contextos morfoclimáticos globais, a exemplo dos trabalhos de Tricart e Cailleux (1965), Birot (1960) e Büdel (1982).

A obra “*Introduction a la Géomorphologie Climatique*” (TRICART; CAILLEUX, 1965) representa uma importante contribuição acerca da relação entre os processos geomórficos derivados do clima, com destaque para a vegetação e os solos. A partir de análises zonais, intrazonais e azonais de processos e formas em diferentes contextos continentais e latitudinais, foram propostos os critérios de delimitação dos domínios morfoclimáticos. Esse trabalho apresentou relevantes críticas à Teoria do Ciclo Geográfico de Davis, demonstrando a sua inadequabilidade a diferentes contextos climáticos.

Os trabalhos de Tricart e Cailleux tiveram forte impacto nos direcionamentos de pesquisas geomorfológicas de Aziz Ab’Sáber, contribuindo significativamente na delimitação e caracterização dos domínios morfoclimáticos brasileiros, assim como na interpretação paleoclimática e seus reflexos geomorfológicos (AB’SÁBER, 2005).

Birot (1960), em sua obra “*Le cycle d'érosion sous les différents climats*”, apresenta os mecanismos fundamentais relacionados aos ciclos de erosão, com destaque para a desagregação das rochas, o transporte detrítico nas vertentes e a dinâmica fluvial. A partir daí são apresentados os comportamentos de sistemas de erosão nos climas temperado, tropical úmido, árido e semiárido, periglacial e em regiões sujeitas a variações de estações secas e úmidas.

Dentre os mais importantes nomes da geomorfologia climática, certamente merece destaque o de Julius Büdel. Esse geomorfólogo alemão dedicou-se a analisar o comportamento dos relevos em diferentes contextos climáticos com vários trabalhos publicados entre as décadas de 1930 e 1980, tendo sistematizado sua obra no livro “*Climatic Geomorphology*”, traduzido para o inglês em 1982. Para Büdel (1982), os mecanismos de elaboração dos relevos variam qualitativamente e quantitativamente a depender do contexto climático e esse é o principal objeto de estudo da geomorfologia climática (ABREU, 2006).

Nas últimas décadas, a geomorfologia climática passou a ter um importante amparo de métodos geocronológicos que permitem datar depósitos sedimentares e interpretar eventos paleoclimáticos, contribuindo não só com a análise geomorfológica, mas também com uma interpretação paleoambiental variada, contribuindo com ciências como a ecologia, biogeografia, oceanografia e pedologia.

Ao longo da história da geomorfologia muito se discutiu acerca da importância da geomorfologia estrutural ou climática, porém, devemos lembrar que o objeto de estudo da geomorfologia é o relevo. Dessa forma, a perspicácia do geomorfólogo deve residir na sua capacidade de analisar os componentes litoestruturais e climáticos na escala adequada, tanto do ponto de vista temporal, quanto espacial.

Finalizamos destacando que “*Le climat, facteur du relief*” trata-se de uma obra clássica e que deve ser divulgada entre jovens pesquisadores de geomorfologia. Suas pertinentes considerações acerca da importância do clima na interpretação dos relevos, assim como uma tentativa pioneira de sistematização dessa relação em diferentes contextos climáticos, constitui etapa fundamental para a ciência geomorfológica que viria a ser desenvolvida ao longo do século XX.

REFERÊNCIAS

- ABREU, A. A. O papel do clima na evolução do relevo: a contribuição de Julius Büdel. **Revista do Departamento de Geografia**, 19, p. 111-118, 2006.
- AB'SABER, A. N. O legado de Jean Tricart. **Scientific American Brasil**, n. 33, p. 98, 2005.
- BIROT, P. Emmanuel De Martonne, Précurseur de la Géomorphologie Climatique. **Bulletin de l'Association de géographes français**, 1973.
- BIROT, P. **Le cycle d'érosion sous les différents climats**. Université du Brésil, Faculté nationale de philosophie. Rio de Janeiro, Brésil, 1960, 137 p.
- BÜDEL, J. **Climatic Geomorphology**. Translated by Leonore Fischer and Detlef Busche. Princeton, N.J., Princeton Univ. Press. 1982.
- DAVIS, W. M. The Geographical Cycle. **Geographical Journal**, v. 14, p. 481-504, 1899.
- DE MARTONNE, E. **Le climat facteur du relief**. Scientia, v. XIII, n° XXIX-3, Bologne, 1913. p. 339-355.
- PENCK, W. **Morphological analysis of landforms**: St. Martin's Press: New York, 1953. 429 p.
- TRICART, J.; CAILLEUX, A. **Introduction à la Géomorphologie climatique**. **Traité de Geomorphologie**. Paris, Société d'Édition d'Enseignement supérieur. v.1. Paris, 1965, 306 p

. O CLIMA-FATOR DO RELEVO ⁽¹⁾⁽²⁾

Emmanuel De Martonne

A ideia de que o relevo do solo se explica pela geologia tornou-se muito divulgada; ela chegou ao grande público e, para a maioria dos espíritos esclarecidos, cujas áreas de interesse não tocam diretamente à geografia, a morfologia terrestre e a geologia quase se identificam, uma condicionada de alguma forma pela outra.

Entretanto, os especialistas sabem, ou deveriam saber, que o relevo depende do clima pelo menos tanto quanto do subsolo. Lembrar alguns fatores significativos nesse sentido, tornar precisa a natureza da influência em questão, será objetivo destas páginas, dedicadas sobretudo aos espíritos interessados nas relações complexas que ligam os fenômenos físicos na superfície do globo.

Não é necessária uma longa experiência para reconhecer a relação próxima de que une a ciência do relevo àquela do subsolo. Os progressos da morfologia terrestre estiveram ligados àqueles da geologia; os primeiros morfólogos foram geólogos, como Richthofen, Heim, Gibert, Lapparent. Basta abrir os olhos para ver, a cada passo, os fatos que mostram o papel primordial que a geologia deve desempenhar na explicação do relevo. No ensino, é difícil lutar contra o impulso que leva os alunos a esperarem tudo da geologia. Teriam eles outra alternativa, quando tudo que lhes é mostrado nas limitadas excursões os orienta nessa direção? Seria diferente se fosse possível fazer com que percorressem grandes espaços, viajando rapidamente por climas diferentes.

Quando se viaja, a atenção volta-se obrigatoriamente na direção do clima; quanto mais o geógrafo mude de meio nas suas viagens, mais forte se fará a impressão de que o clima é fator decisivo do relevo do solo. Seria fácil para o autor destas linhas evocar sua experiência pessoal, mas, lhe parece mais ilustrativo colocar em evidência a maneira como os maiores geógrafos. Quase todos geólogos de formação inicial, têm sido conduzidos necessariamente na direção das explicações climáticas a partir do momento em que suas experiências se expandiram.

Nada mais significativo que o exemplo de Richthofen. Seus estudos nos Alpes e na Transilvânia seriam suficientes para lhe assegurar o renome de um bom geólogo, mas suas viagens à China fizeram-no famoso e o consagraram como um grande geógrafo. A impressão que lhe causaram os aspectos devidos aos diferentes climas foi tão profunda que se fez presente em cada página de “China”, sua grande obra. Ninguém insistiu mais do que ele sobre a importância dos contrastes geográficos entre as regiões interiores da Ásia, sem escoamento em direção ao mar, e as regiões periféricas de clima úmida, de relevo mais evoluído. Encontrou lá a explicação das enormes acumulações de terras amarelas, características da China setentrional, para quais ele tornou clássico o nome de *loess*, aplicando na planície do Reno a um silte análogo.

A extensão considerável do território dos Estados Unidos, a variedade de climas que lá se observam, do Atlântico ao Pacífico, dos confins gelados do Canadá às terras quentes do México, permitiram aos geógrafos americanos, todos geólogos de origem, adquirirem rapidamente uma experiência tão fecunda quanto aquela que Richthofen ganhou nas estradas da Ásia. A antecção dada às condições diferentes da erosão nas regiões úmidas e secas, com árvores ou sem elas, oceânicas e continentais, é o elemento que dá originalidade aos escritos teóricos de Powell, Gilbert ou Davis. Foi na exploração das Montanhas Rochosas e nos

¹ Martonne, E. de – 1913 – Le climat-facteur du relief: Sientia, 339-335

² Tradução de Nelson G. PEDROSO, Lígia L. NOVELLO e Luisa SAITO. Revisão de Lylian COLTRINARI. Publicado na Revista do Departamento de Geografia da USP em 1984.

territórios do Oeste que estes mestres da morfologia terrestre criaram suas concepções. Compreende-se melhor o valor dos constrates que lhes abriram os olhos quando, transportados pelos possantes expressos transcontinentais, passamos das verdes colinas da Nova Inglaterra e de Pennsylvania às “bad-lands” do Oeste, sulcadas ao infinito pelo escoamento sobre o solo nu; ou, dos vales profundos, com vertentes florestadas e regularmente inclinadas, que atravessam os montes Alleghanny, os prodigiosos canyons do Colorado e do Arizona, com suas paredes verticais com rochedos de cores brilhantes e seus gigantescos taludes de escombros. É impossível escapar à impressão de que a escultura do relevo, o modelado, segundo a expressão que se fez clássica, foi realizado, senão com ferramentas diferentes, ao menos num estilo totalmente distinto da zona úmida e nas regiões secas do oeste. Gilbert traduziu claramente esta impressão sob forma de uma lei morfológica, segundo a qual, as vertentes, em condições geológicas semelhantes, apresentam uma declividade mais forte sob clima seco que sob clima úmido.

Não é curioso encontrar exatamente a mesma lei, formulada pelo General de La, Noé, antigo diretor do Serviço Geográfico do exército francês, atraído para geografia física por intermédio da topografia, em sua obra, Les formes du terrain, escrita em colaboração com um geólogo erudito, Emmanuel de Margerie? A experiência do general de lá Noé não ia além do território francês; a visão da região mediterrânea provençal e, sobretudo, da Argélia, com seus altos planaltos secos foram suficientes para levá-lo, sem qualquer conhecimento do trabalho de Gilbert a formular a mesma lei, expressa nos mesmos termos³

A partir de Richthofen, Gilbert e de la Noé a morfologia terrestre fez, e faz a cada dia, grandes progressos. Parece que chegou o momento em que não se podem esperar que surjam novas interpretações do modelado de erosão normal tal como é conhecido nos países de zona temperada em que habitamos. Entretanto, novos horizontes se abrem para aqueles que abordam o estudo de regiões mais ou menos exóticas, onde entram em jogo forças mal conhecidas, em condições extremas de temperatura e umidade.

O desenvolvimento do conhecimento das regiões desérticas e polares coloca novos problemas, e permite prever novas soluções, mesmo para interpretação das formas de relevo das regiões temperadas, conquanto se levam em considerações as mudanças climáticas.

Há 50 anos não sabíamos quase nada a respeito dos desertos. O Saara era o “mar de areia” antigo e leito do oceano, comparável, embora em escala mais ampla, às areias em movimento dos litorais marinhos. As viagens e as explorações científicas de Barth, Rohlf, Foureau, aboliram com justiça essa concepção errônea, ao revelar toda a riqueza das formas desérticas. A exploração do Kalahari, na África do Sul, pelo geólogo Passarge, a dos desertos da Ásia Central por esse pioneiro infatigável que é Sven Hedin, a dos desertos australianos feita por Horn, os estudos comprados de J. Walther, todos eles nos mostram um conjunto de formas próprias dos desertos, cuja elaboração parece devida ao jogo de forças desconhecidas em outros lugares: ventos, chuvas, torrenciais e muito irregulares, decomposição de rochas superaquecidas. Ao lado do deserto de areia, com seus tipos variados de dunas, conhecemos o deserto de pedras a hammada saariana, planalto coberto seixos estriados; os gour, testemunhos de erosão moldados pelo vento até tomar a forma de cogumelos; os vales cegos, os corredores pedregosos anastomosados, chamados de Chebka no Saara; os desertos de argila, escupidos pelos ventos em cristas paralelas, chamados yandang na Ásia Central.

Seguindo tal pista, a partir da qual se descortinavam novos horizontes era de se esperar que os pesquisadores se excedessem em suas conclusões. É provável que tenham sido colocadas

³ Seria conveniente juntar a esses exemplos aquele do sábio sucessor de Richthofen na cátedra de Geografia Física da Universidade de Berlim, A. Penck, atraído pela Geografia por causa dos estudos dos depósitos glaciais quaternários, e das viagens rápidas porém muito extensas (Estados Unidos, Canadá, África do Sul, Spitzberg) que o levaram recentemente a propor uma nova classificação dos climas, concebida em função da interpretação do modelo (Versuch einer Klimaklassifikation auf physiographischer Grundlage). Academia de Ciências, Berlim.

na categoria de formas desérticas feições originadas em climas bastantes úmidos, e que podem ser melhor explicados pela natureza das rochas; o papel do vento como agente de erosão foi com certeza exagerado por J. Walther. Na Europa encontramos formas análogas às conhecidas no deserto africano ou americano: as paredes areníticas crivadas de alvéolos da Suíça saxônica geraram muitas discussões nas revistas especializadas alemãs, pois alguns queriam ver nelas a prova da existência de um clima desértico na época quaternária, enquanto outros as explicavam pela simples decomposição do arenito sob clima úmido. O geólogo Passarge foi levado, em seus estudos no Sul da África, a formular uma teoria convincente, segundo a qual o vento e o escoamento desértico poderiam nivelar regiões amplas, e teriam realmente realizado este trabalho sobre quase toda a extensão do continente africano. O estudo das regiões modelado normal nos ensinou a conhecer as superfícies que nivelam antigas regiões de montanha, seu trabalho até o limite máximo, e às quais Davis chamou de penepiano. Caso a teoria de Passarge fosse aceita, a concepção davisiana deveria ser revista; pesquisando sempre para saber se o clima da região estudada não poderia ter sido, em alguma época, desértico.

Vemos novas perspectivas se abrirem com a exploração científica dos desertos; nas regiões polares esta não foi menos fecunda. O estudo da Groenlândia e da Islândia nos ajuda a compreender as condições geográficas do período quaternário, quando vastas calotas glaciárias cobriam a Europa e a América do Norte. Estas geleiras gigantes modificaram profundamente as formas da superfície do solo segundo as mesmas leis que regem o trabalho das geleiras atuais.

Fora das regiões cobertas de gelo, as regiões frias nos oferecem formas devidas as condições particulares do clima, que vem sendo estudadas há alguns anos. Nas Ilhas Spitzberg, no Labrador, no Alaska, reencontram-se os desertos de pedra, devidos ao mesmo fenômeno que gera os amontoados de certos cumes alpinos: o estalo das rochas sob influência da dilatação da água, que gela nas fendas das rochas onde penetrou. Mas o mais curioso é ver as pedras maiores se agruparem formando montículos em formas de círculos ou de espécies de células poligonais unidas. Este aspecto do solo, descrito com nome de solo poligonal, é frequente nas Spitzberg, e deve-se também às alternâncias do gelo e degelo. Sobre as vertentes com declividade suficiente os efeitos do gelo e degelo se manifestam de outra maneira; o solo superficial, formado de argila, de areia ou de fragmentos de rochas argilosas, está constantemente em vias de deslizar, como se fosse uma matéria plástica. Ondulações irregulares paralelas geralmente em arco de círculo, denunciam esse movimento, lembrando o aspecto das morainas das geleiras em recuo.

No Alaska e em certas partes das Montanhas Rochosas, observam-se verdadeiras corridas de pedras que descem pelos flancos das montanhas escarpadas. O geólogo americano R. Capps descreveu-as com o nome expressivo e muito apropriado de rock glaciers. Com efeito, são uma espécie de gleria de pedras, que se originam dentro de verdadeiros circos e que se expandem através das florestas seguindo a declividade de vertentes abruptas. A velocidade dos movimentos é comparável aos das geleiras alpinas, facilitada pela água originada pela fusão da neve, que se origina na massa e está submetida às alternativas de gelo e degelo.

Começa-se a entrever o momento em que a experiência adquirida no estudo de formas específicas das regiões árticas atuais poderá nos ajudar a compreender certas particularidades das regiões temperadas, que conheceram durante o grande período glacial quaternário um clima semelhante àquele do Labrador ou das Spitzberg. As vastas acumulações de blocos graníticos ou areníticos conhecidos como mers de roches ou Felsenmeere, que encontramos nas montanhas da Europa Central, não podem ter se formado sob condições atuais de clima. Loziniski destaca que são encontrados nas montanhas localizadas nas proximidades do limite da calota glaciária que descia da Noruega e cobria todo o norte da Europa Central; seria, segundo sua expressão, um “fácies periglacial” da decomposição das rochas maciças.

Várias vezes discutimos a natureza morênica dos depósitos que preencheram os altos vales das montanhas da Europa Central e dos Cárpatos. Não é mais possível duvidar de que, em

certos casos, trata-se de Felsenmeere, apenas remanejados. Em outros casos, é provável que se trate de antigos rocks glaciers comparáveis àqueles do Alaksa, derivados de pequenas geleiras de circo. Esta hipótese, que me foi sugerida pela leitura dos trabalhos de Capps, parece-me responder à realidade, depois de ter visto nos Tauern o vale do Doessen com sua pequena geleira em vias de extinção, reduzida a um néve que se prolonga a jusante através de um verdadeiro rock glacier que desce até o lago Doessen. Quantas dúvidas teria eu eliminado durante as minhas pesquisas nos Cárpatos meridionais se tivesse conhecido os rock glaciers do Alaska...

Esses exemplos serão suficientes para mostrar a importância que tem e terá cada vez mais, a consideração dos climas nas explicações do relevo do solo. Não são esses exemplos os que deixam adivinhar qual é a origem destes traços impressos nas formas do terreno pelas forças climáticas? Se a observação nos releve cada vez mais formas diferentes sob climas diferentes, é porque estas formas são resultado de um trabalho de escultura e de modelado exercido pelos agentes atmosféricos. Tentemos pois precisar de que maneira os diversos elementos do clima podem influir sobre a orientação, e por assim dizer no estilo deste trabalho.

A forma mais conhecida da erosão é a dos cursos d'água. Suas ações violentas durante as enchentes dos grandes rios ou o descongelamento das torrentes de montanha superam a imaginação. Pensa-se menos no trabalho lento e contínuo da decomposição das rochas, que, entretanto, é condição prévia, e cuja atividade é regulada pelos dois elementos fundamentais do clima: o calor e a umidade. A erosão propriamente dita age de forma descontínua; a decomposição avança por toda parte sem interrupção.

A grande umidade do ar, geralmente vinculada a chuvas abundantes, favorece a decomposição química, mediante a água que se infiltra na superfície. Nos climas úmidos, os solos são geralmente profundos, e as arestas de rocha são raras, mesmo em regiões de roca dura, de declividade acentuada. Os produtos de decomposição formam um manto mais ou menos contínuo que mascara as irregularidades do subsolo e suaviza todas as formas. Nos climas secos, a decomposição química é menos ativa, e a decomposição mecânica, devida sobretudo à variações de temperatura, se faz sentir muito mais. Os detritos são mais grosseiros e não permanecem sobre as vertentes; eles desabam, deixando à mostra as escarpas rochosas e formando taludes de escombros no sopé.

Assim chegamos à causa do contraste entre a topografia mais áspera das regiões secas e aquela mais suave das regiões úmidas. Este contraste já é mais perceptível para quem conhece os planaltos calcáreos da bacia parisiense e aqueles da Provença. O olho habituado às paisagens meridionais procura em vão, nos flancos dos vales risonhos da Borgonha ou da Lorena, escarpas contínuas, e se surpreende de não ver mais amiúde a rocha nua. Ao geógrafo vindo do norte, a impressão contrária leva, naturalmente, a atribuir, no sul, uma dureza muito maior às camadas que atravessam o solo por toda parte.

O contraste é ainda mais violento nos Estados Unidos entre a região úmida atlântica e as regiões do oeste. Uma viagem de algumas semanas no mundo estranho e maravilhoso dos desertos e estepes montanhosas que se estende entre as Montanhas Rochosas e o Pacífico é suficiente para acostumar a visão às formas pontiagudas e cortantes; habitua-se a ler a estrutura de uma área nas formas topográficas, onde até uma fina camada dura se traduz numa escarpa que pode ser seguida facilmente. As formas suaves dos Apalaches são uma decepção para o geólogo; os cumes mais altos da Carolina são domos arredondados; as rochas duras, como o conglomerado quartzoso cambriano ou a dolomita de Knox formam escarpas descontínuas semelhantes àquelas de nosso calcáreos jurássicos da Lorena ou dos "rochedos" que vamos aflorar localmente na Bretanha nas vertentes de alguns vales encaixados. O motivo é conhecido quando se vê nos aterros de estrada de ferro ou das estradas recentes a enorme espessura do solo vermelho profundamente alterado, e as arenas graníticas escavadas até mais de 30 m sem atingir a rocha.

O Brasil, com o clima úmido da costa oriental e seus planaltos interiores relativamente secos, oferece contrastes semelhantes. De acordo com Branner, a espessura das arenas graníticas atinge sobre a costa até 100 m. No interior o solo é muito menos espesso e as “Mesas” coroadas por escarpas rochosas são um dos traços característicos da paisagem.

A umidade não é o único fator a ser levado em consideração para compreender as condições da decomposição das rochas e os aspectos que dela decorrem. O valor médio e sobretudo as variações de calor são muito importantes. Os climas quentes das regiões equatoriais, com sua umidade constante, são os que favorecem a maior intensidade da decomposição química, a maior espessura dos solos e a raridade dos afloramentos rochosos. Todos os geólogos exploradores lamentavam as longas jornadas de viagem sem encontrar um afloramento. Nas regiões temperadas, há uma diferença sensível entre os climas oceânicos e continentais. Os primeiros são, ao mesmo tempo, mais úmidos e mais suaves; os solos são geralmente profundos. Os segundos são mais secos e extremados, as variações térmicas são suficientemente fortes para que a decomposição mecânica desempenhe um papel importante quanto a da decomposição química.

Nos climas frios, assim como nas regiões desérticas, predomina a decomposição mecânica; a ação do gelo faz estalar a rocha em cujas fissuras a água penetrou, é responsável pelos amontoados de detritos grosseiros tão característicos das regiões polares e do cume das altas montanhas. As formas agudas das cristas alpinas são devidas sobretudo ao trabalho das intempéries que afetam a rocha nua.

Dá-se o nome de “descamação” a uma forma de decomposição mecânica que dá origem aos mais variados aspectos, sobretudo nas rochas graníticas. A palavra descreve bem o fato: são como escama que se destacam da superfície da rocha. Originam-se assim arredondados como cúpulas, ou pães-de-açúcar, cujas silhuetas fantásticas anunciam de longe ao navegador a proximidade de Rio de Janeiro, ou o Half Dome, do Yosemite da Califórnia. Nos flancos dos vales encaixados, as escamas se separam paralelamente às escarpas que formam vastas superfícies convexas polidas.

A distribuição geográfica destas duas formas é bastante desconcertante: encontramos domos e cume arredondados no Sudão, no Brasil, na Califórnia, em certos locais das Montanhas Rochosas; a descamação das paredes graníticas é observada em certos vales dos Alpes, notadamente no vale do Aar, assim como nos flancos do canyon do Yosemite na Califórnia, e os planaltos elevados de Madagascar. O que há de comum em regiões de clima tão diferente? A intensidade da ação solar e a alternância dos períodos secos e úmidos. O ar leve das altas montanhas deixa filtrar no verão o calor solar, tanto quanto o ar mais seco e puro da Califórnia, o Sudão ou o Brasil durante o período seco. O aquecimento da superfície determina a fragmentação em escamas, sobretudo, quando há resfriamento brusco causado pelas precipitações. Uma recente observação em Madagascar feita pelo capitão Carrier é demonstrativa neste sentido: sobre os planaltos elevados do Emyerne, os indígenas que se servem das placas graníticas para fazer pedras sepulcrais, ajudam o trabalho da natureza acendendo fogos sobre as superfícies rochosas nuas, para logo jogar água fria em cima delas.

Se, por um lado, é útil insistir a respeito da variedade de aspectos devidos às condições diferentes de decomposição de acordo com o clima, será necessário apenas, destacar o fato de que o clima regula a distribuição dos agentes de erosão propriamente ditos: geleiras e erosão glaciária, rios e erosão fluvial, desertos e erosão eólica.

As regiões onde dominam as precipitações sob forma de neve e onde a temperatura é baixa demais, para que o solo fique livre dela, tem um relevo muito característico: a acumulação de neve, transformada em gelo, tende a afogar todo o relevo, mascarando as formas; mas onde o gelo escorre fundindo-se gradualmente, o relevo é irregularmente esculpido pela erosão da geleira, combinada com a decomposição mecânica muito ativa dos rochedos entre os quais passa a geleira. É assim como a Groelândia, com alturas superiores a 3.000 m, apresenta o

aspecto de um imenso planalto de uniformidade notável, onde só os bordos são acidentados devido à alternância de esporões rochosos e línguas de geleiras. Nos alpes, os cumes mais altos, como o Monte Branco e o Monte Rosa, apresentam o aspecto de domos cobertos por uma calota de gelo: os picos agudos, as arestas cortantes localizam-se a menor altura, na região onde as geleiras entram em fusão ao descer além do limite das neves eternas.

Mais longe ainda da região onde a neve funde num clima mais ameno, a topografia conversa as marcas da ação glaciária, pois os detritos carregados pelo gelo formam enormes acumulações conhecidas pelo nome de morainas, que são remanejadas e espalhadas mais ao longe pelas torrentes originadas pela fusão do gelo. Assim, a ação morfológica das geleiras se faz sentir em áreas que não tem clima glacial. As ações eólicas também não se limitam aos desertos; se fazem sentir nos lugares em que a vegetação não recobre o solo. O domínio que exercem nos países mais secos, como o Saara e os desertos asiáticos e australianos, deve-se a ausência quase total de vegetação e ao fato de que o solo, formado de detritos finos, não tem coesão, pela falta de água em superfície. A areia levantada em turbilhões pelo vento e, por vezes até os seixos que batem no rosto do viajante são os instrumentos de que a erosão se serve para atacar a rocha. Mas os caracteres topográficos específicos do deserto são devidos, talvez mais do que a ação à decomposição mecânica e acumulação de detritos que ela gera, pois nenhum curso d'água tem condições de carrear esses detritos até o mar.

O domínio da erosão fluvial cobre a maioria dos continentes, mas seus aspectos são tão variados que, na realidade, várias províncias poderiam ser diferenciadas, tanto pelo relevo quanto pela vegetação e o clima. A erosão torrencial considerada geralmente como específica de montanhas é na realidade uma espécie de fáceis especial da erosão fluvial, própria dos países onde o clima é tal que o escoamento de água é tão irregular e violento quanto nas regiões montanhosas. Na orla de quase todos os desertos, observam-se amiúde labirintos ravinas selvagens ramificadas ao infinito e separadas por cristas que desabam facilmente, aos quais os caçadores franceses que as encontraram no sopé das montanhas Rochosas deram o nome de “mauvaises terres”, traduzido posteriormente pelos americanos e espalhados sob forma de “bad lands”. Há “terras más” ou “badlands” semelhantes em quase todas as regiões de estepes; no Pampa argentino, onde os leitos das torrentes de rebordos escarpados são chamados de “barrancos”; na Rússia meridional, Turkestan, na zona das terras amarelas chinesas, e ainda, nas montanhas graníticas de Petchili, se julgarmos pelas fotografias da expedição de Bailey Willis. A condições essencial do desenvolvimento das “bad lands” parece ser a chuva violenta e escassa, embora suficiente para que o escoamento seja contínuo nos vales principais, e para que a água precipitada nos vales secundários chegue quase sempre ao coletor.

A chuva não falta totalmente nos desertos; a erosão fluvial, portanto, está associada neles à erosão eólica, mas o escoamento é ainda mais irregular que nas “bad lands”. Nas regiões de relevo movimentado, onde os leitos estão fixados pelo encaixamento, não se distinguem os vales principais, mas com frequência encontra-se uma confusão de corredores anastomosados: é o aspecto de “chebka” no Saara.

Nas planícies, os leitos se deslocam constantemente, quase que à cada chuva. Desta forma, os aluviões são espalhados sobre amplas superfícies, formando uma espécie de glaciais inclinados com a declividade de um leito torrencial. Estas planícies aluviais com gradiente forte contornam quase todas as montanhas desérticas, tanto no Saara argelino, quanto nas bacias do norte do México, Iran ou Ásia central. Seu aspecto surpreende sempre ao geógrafo habituado às vertentes suaves das planícies aluviais das regiões úmidas; quando estão recortadas em terraços, o que acontece com frequência, sente-se a tentação de evocar como explicação um soerguimento do solo, embora possa se tratar somente de uma mudança de clima.

Nas pesquisas relativas à evolução das formas topográficas deverá, sem dúvida, se dar cada vez maior importância às hipóteses que supõem em condições de erosão diferente das atuais, por causa de um clima diferente.

A geografia física tem se orientado já nesse sentido há quase meio século com os estudos dos geólogos glaciólogos. Sabemos que os primeiros foram testemunhas de uma extensão do clima glacial incomparavelmente maior que a atual. Dois terços da América do Norte e quase a metade da Europa estiveram cobertos durante a época quaternária por calotas de gelo comparáveis àquelas da Groenlândia ou do continente antártico. Ainda que não se possa precisar a data, sabe-se que o número de anos transcorridos desde a fusão destas geleiras pode ser contando em milhares. Por esse motivo, a erosão fluvial correlativa do clima mais quente, semelhante ao que atua hoje conseguiu apagar só de maneira muito imperfeita as marcas glaciárias. Pode-se dizer mais da metade das regiões ocupadas pelas glaciações quaternárias apresenta modelado em desacordo com as condições atuais da erosão. Em quase todas as grandes cadeias de montanhas, Alpes, Pirineus, Cáucaso, Himalaia, os vales apresentam formas que não podem ser explicadas pelo trabalho dos rios e torrentes que vemos ali trabalhando. Essas formas só começaram a ser compreendidas a partir do dia em que foi lembrada a ação das geleiras que se estendiam até as portas de Lyon, Munique e Milão. O estudo dos desertos deve também grandes progressos à consideração das mudanças climáticas. A extensão das formas de erosão fluvial no Saara, por exemplo, aumenta cada dia e parece inexplicável nas condições atuais do clima. O resfriamento que provocou a extensão das geleiras da zona temperada foi provavelmente sentido também nas regiões tropicais, diminuindo a evaporação, aumentando a umidade, fazendo as chuvas mais abundantes e mais regulares, permitindo que os cursos d'água circulassem por vales atualmente sempre secos. Gautier e Chudeau reconhecem na rede dos grandes uadis do Saara os traços de verdadeiros rios. Pssarge encontrou também no deserto sul-africano do Kalahari os indícios de um período pluvial quaternário. Ninguém chega a acreditar que esses desertos tenham conhecido climas verdadeiramente úmidos, mas deviam se aproximar das condições de estepe.

O estudo das bacias interiores do oeste dos Estados Unidos relevou fatos morfológicos ainda mais curiosos, em relações às mudanças recentes do clima. Gilbert e Russel mostraram que a o Grande Lago Salgado e muitos outros lagos vizinhos são os últimos restos de imensas lâminas d'água que, no período úmido quaternário, cobriam territórios do tamanho da França. A erosão das ondas e das correntes formaram, nas bordas desses lagos, margens ainda perfeitamente reconhecíveis. Todos os detalhes das formas litorâneas, tal como aparecem no litoral marítimo, encontram-se lá: terraços, flechas que fecham lagunas deltas, etc., Assim, as formas cuja extensão parece devida somente às grandes deformações da crosta terrestre que determinaram a distribuição de terras e mares, aparecem nas bacias interiores como produto do clima, e podem sobreviver ainda quando as condições climáticas mudam.

Além de todos esses fatos relativos às consequências morfológicas das mudanças climáticas, o espírito atento entrevê novas perspectivas. Suponhamos uma mudança radical das condições climáticas, devido à modificações na composição da atmosfera, por exemplo uma variação notável no teor de dióxido de carbono; as condições de decomposição das rochas mudariam. A decomposição química poderá ser mais rápida nos climas úmidos, as formas suaves serão mais notáveis. Não seria possível imaginar mais facilmente, em condições semelhantes, um aplainamento completo, capaz de criar essas superfícies uniformes que se encontram por toda parte, conhecidas pelo nome de peneplanos? Talvez seja nesse sentido que devemos procurar a explicação dessas plataformas completamente planas que cortam, em diversas altitudes, as camadas calcáreas dobradas em quase todos os países cársicos tanto como Ístria como em Dalmácia, no Languedoc e, ainda, no Jura...

Acabamos de ver a parte que desempenha, no estudo das formas de relevo, a consideração das mudanças climáticas. Talvez seja prematura a tentativa de sistematizar as ideias sobre um assunto tão novo, sobretudo num artigo cujo objetivo era dar uma visão sobre os horizontes que se abrem para pesquisas futuras. Entretanto, como fugir à atenção de tirar

algumas conclusões, quando estas parecem se derivar dessas ideias, apesar de pouco que sabemos delas atualmente?

Se nos indagarmos qual é o elemento do clima cujas variações parecem exercer uma influência maior sobre a evolução do relevo, parece que pode-se responder sem hesitar: a umidade. A abundância e o regime das precipitações atmosféricas determinam as modalidades de erosão, do mesmo modo que as características da decomposição das rochas. O calor é um fator que não se pode negligenciar, mas a sua ação é em grande parte indireta: as baixas temperaturas levam à predominância das precipitações de neve e ao regime glacial; as altas temperaturas ativam a evaporação, tendendo a diminuir o débito dos cursos d'água e até ressecar o solo, deixando-o exposto as ações torrenciais, e ainda as ações eólicas, se a vegetação não for suficientemente fechada.

Talvez seja possível responder a uma outra questão mais embaraçosa: como estimar a importância relativa das considerações climáticas e geológicas nas explicações do relevo? É evidente que os grandes traços do relevo terrestre são determinados pelos acontecimentos geológicos, dobramentos, soerguimentos, subsidências, erosões antigas. A localização das terras e dos mares, das planícies e das montanhas, não é um fato climático, mas, ao contrário, condiciona os climas. O que resulta diretamente do clima é o detalhe das formas, o modelado topográfico propriamente dito. A paisagem deve as condições variadas dos climas não somente a cor do céu e das águas, a cobertura vegetal mais ou menos rica, mais ou menos contínua, mas também as formas dos vales, das colinas, das montanhas, que são o cenário de toda a vida, e de toda atividade. Parece que poderíamos falar de fácies topográficas, da mesma forma que se fala em fácies geológicas, botânicas, zoológicas; e convenhamos em que os fácies topográficas são as marcas que o clima imprime nos relevos, cuja grandes linhas foram fixadas pela evolução geológica.

Distinguir os fácies topográficas e determinar sua extensão na superfície dos continentes⁴ seria um trabalho do maior interesse. Podemos definir já alguns tipos:

- os fácies úmido e quente caracteriza-se pela atividade da decomposição sobretudo química, das rochas; a grande espessura dos solos residuais, mesmo nas montanhas; a raridade das escarpas e afloramento rochosos; a suavização de todos os declives; a declividade muito fraca das planícies e dos grandes cones aluviais. As regiões equatoriais da África e da América apresentam a maior extensão deste fácies.

- o fácies temperado úmido, apresenta aproximadamente os mesmos caracteres, embora menos acentuados. A espessura dos solos residuais é menor, os declives das vertentes são mais fortes. Ocorre nas regiões temperadas, em todo lugar onde o clima apresenta características muitos continentais, particularmente na Europa Ocidental e Central, o leste dos Estados Unidos.

- os fácies com estação seca, se distingue pela atividade da decomposição mecânica; o manto de regolito é de menor espessura e mais heterogêneo, formado de fragmentos grosseiros. As escarpas rochosas são mais frequentes, e o gradiente das vertentes, do leito dos rios, das planícies e dos cones aluviais, muito mais forte. O escoamento das águas é irregular, a erosão violenta, e mais espasmódica, assume o caráter de uma erosão torrencial, e forma “bad lands” mais ou menos extensas conforme a declividade geral e a natureza do terreno. Este fácies encontra-se em quase todos os países subtropicais de estação seca, como as regiões mediterrâneas e análogas (Califórnia, Cabo etc.).

- o fácies desértico é um dos mais característico e não há necessidade de definições longas. A desagregação mecânica é quase a única preparar os detritos muito grosseiros e muito desigualmente repartidos. Estes detritos se acumulam no local, não podendo ser transportados pelas águas correntes. O solo nu é acatado pelo vento: as hammadas pedregosas, os corredores

⁴ Intentei um trabalho análogo ao estabelecer um “Esboço da distribuição das formas dominantes da erosão continental”, em meu Traité de Géographie Phisique, p.406.

das chebka, as bacias salinas, os grandes leitos arenosos dos uaid e das dunas são as formas mais comum de modelado desértico.

- o fácies frio e seco é ainda um pouco conhecido. É um tipo de fácies desértico, que se localiza nas regiões polares e as partes das altas montanhas não cobertas de geleiras. O ar é muito seco, a cobertura pouco espessa de neve desaparece durante uma boa parte do ano. O solo é congelado até uma grande profundidade só descongela em superfície durante a boa estação, dando lugar a essas formas interessantes, das quais falamos sob o nome de solos poligonais. Todo afloramento rochoso é atacado pela desagregação mecânica gerada sobretudo pelo gelo, e grandes acumulações caóticas de detritos grosseiros se formam assim.

- o fácies frio e úmido ou fácies glaciário é tão nítido quanto o fácies desértico. O recobrimento das formas na região das neves eternas, o delicado cinzelado na região de fusão das geleiras, as enormes acumulações de detritos numa zona externa de clima ainda mais suave, são as principais características.

É evidente que há numerosas transições entre as diferentes fácies, mas complicação é aumentada pelo fato de que o modelado guarda, por vezes, os traços de climas diferentes dos atuais. Deste modo, o fácies glacial, que teve recentemente uma extensão muito grande, deixou marcas nas regiões há pouco abandonadas pelo gelo, enquanto que em outros locais a topografia apresenta uma mistura de traços de fácies glaciais e de traços dos fácies temperado úmido.

Os desertos atuais preservaram em grande parte a fisionomia de clima úmido; alguns traços topográficos lembram ali ainda aqueles que caracterizam os fácies com estações secas e ainda, o fácies quente e úmido. Pelo contrário, é possível ainda que algumas regiões úmidas conhecido um clima mais seco.

Um estudo completo da extensão dos fácies topográficos revelaria, acreditamos, complicações bastantes grandes; mas quantos problemas interessantes não levantariam? Sem negligenciar, bem entendido, o aspecto geológico da morfologia terrestre, devemos esperar que os geógrafos se voltem cada vez mais para os aspectos climatológicos do estudo do relevo, do solo, e para análise fecunda dos fácies topográficos.