Universidade de São Paulo
Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas
Departamento de Geografia
Pós-graduação em Geografia Física

Luiz Gustavo Meira Barros

Sobre o leito vacilante:
mudanças na Geomorfologia fluvial em meados
do século XX

São Paulo
2014

Luiz Gustavo Meira Barros

Sobre o leito vacilante:
mudanças na Geomorfologia fluvial em meados
do século XX

Dissertação apresentada à Faculdade de
Filosofia, Letras e Ciências Humanas da
Universidade de São Paulo para a
obtenção do título de Mestre em
Geografia.

Área de concentração: Geografia Física

Orientador: Antonio Carlos Colangelo

São Paulo

2014

Folha de aprovação

Luiz Gustavo Meira Barros

Sobre o leito vacilante: mudanças na Geomorfologia fluvial em meados do século XX

Dissertação apresentada à Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo para a obtenção do título de Mestre em Geografia.

Aprovado em:

Banca Examinadora

Prof(a). Dr(a).: _____

Instituição: _____ Assinatura: _____

Prof(a). Dr(a).: _____

Instituição: _____ Assinatura: _____

Prof(a). Dr(a).: _____

Instituição: _____ Assinatura: _____

Resumo

BARROS, L.G.M. Sobre o leito vacilante: mudanças na Geomorfologia fluvial em meados do século XX. 2014. 94 f. Dissertação (mestrado) - Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014.

Um momento chave para o entendimento da evolução da linhagem filogenética da Geomorfologia é o pós-Segunda Guerra Mundial, quando profundas transformações sociais, econômicas e culturais, contribuem para uma nova fase do pensamento científico, mais objetivo e pragmático, e é nesse momento em que a Geomorfologia americana passa por uma quebra de seu paradigma. A construção do conhecimento sobre os processos naturais é antiga e passa por uma série de evoluções ao longo da história, merecendo destaque o estabelecimento dos estudos a partir da revolução científica do século XVII, quando a Geologia começa a ser organizada como um corpo de conhecimento bem definido, e dentro dele, a Geomorfologia aparece como uma importante base de estudos sobre a evolução do relevo. A segunda metade do século XIX é dominada pela influência de William Morris Davis, que através de seus estudos estabeleceu um modelo de evolução do relevo, denominado de Ciclo Geográfico, dominado por fases de acordo com o grau de transformação provocada pelos rios. Essa teoria, baseada em uma abordagem histórica e geológica, acaba sendo largamente utilizada nos Estados Unidos, Europa Ocidental (exceto Alemanha) e países de língua inglesa em geral. Porém em 1945 é publicado um artigo seminal de Robert E. Horton, que é considerado o ponto de mudança e quebra do paradigma davisiano, ao servir de base para uma série de grupos que desenvolvem uma leitura da Geomorfologia muito mais voltada para a análise de processos, com bases na engenharia e na física, sendo que esse novo enfoque costuma receber o nome de “Geomorfologia quantitativa. Dois grupos se destacam nessa transformação, um organizado por Arthur N Strahler, da Universidade de Columbia; e outro constituído por pesquisadores da USGS, unidos pela figura de Luna Leopold. Durante a década de 50 e 60 esses grupos publicaram uma série de artigos e livros que acabam por influenciar os estudos da Geomorfologia fluvial até os dias atuais, buscando a construção de um novo paradigma pós-davisiano, baseado na utilização da linguagem matemática e na formulação de leis, numa clara inspiração nos preceitos do positivismo lógico, inaugurando assim uma nova fase na Geomorfologia, que ainda mantém algumas características estabelecidas nesse período.

Palavras chave: Geomorfologia quantitativa. Processos. Paradigma neopositivista. Pós-Davis.

Abstract

BARROS, L.G.M. About the wavering bed: changes on fluvial Geomorphology in the mid-20th century. 2014. 94 f. Dissertação (mestrado) - Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014.

A key point for understanding the evolution of phylogenetic lineage of Geomorphology is the post-World War II, when profound social, economic and cultural transformations, contribute to a new phase of scientific thought, more objective and pragmatic, and that is when the American geomorphology involves a breach of its paradigm. The construction of knowledge about natural processes is old and undergoes a series of changes throughout history, with emphasis the establishment of studies from the scientific revolution of the seventeenth century, when the geology begins to be organized as a body of knowledge well defined, and within it, geomorphology appears as an important foundation for studies on the evolution of relief. The second half of the nineteenth century is marked by the influence of William Moris Davis, who through their studies established a model for the evolution of relief, named Geographic cycle, dominated by stages according to the degree of transformation caused by rivers. This theory, based on a historical and geological approach ends up being widely used in the United States, Western Europe (excluding Germany) and English-speaking countries in general. But in 1945 is published a seminal article by Robert E. Horton, who is considered the turning point and breaks of the davisian paradigm, to serve as the basis for a number of groups who develop a reading of Geomorphology much more focused on process analysis with bases in engineering and physics, and this new approach is usually given the name of "quantitative geomorphology". Two groups stand out in this transformation, one organized by Arthur N Strahler, Columbia University; and another consisting of researchers from the USGS, united by the figure of Luna Leopold. During the 50s and 60s these groups published a series of articles and books that end up influencing the study of fluvial geomorphology to the present day, seeking the construction of a new post-davisian paradigm, based on the use of mathematical language and formulation of laws, a clear inspiration in the precepts of logical positivism, thus inaugurating a new phase in Geomorphology, which still maintains some characteristics established in this period.

Keywords: Quantitative Geomorphology. Process. Neopositivism Paradigm. Post-Davis.

Sumário

1. Introdução	6
2. O contexto filosófico e científico da Geografia no final do século XIX até meados do século XX	13
2.1. A Influência do Positivismo	13
2.2 A Geografia como ciência	18
3. A Geomorfologia, entre tradições e renovações	26
3.1 Introdução	26
3.2 Pequena evolução histórica e teórica da Geomorfologia	28
3.3 Modernidade	32
4. Sobre Permanências e mudanças	47
4.1 Raízes da Geomorfologia Americana	47
4.2 A Geomorfologia quantitativa	53
4.2.1 A influencia de Horton e Mackin	57
4.2.2 A escola de Columbia	64
4.2.3 O desenvolvimento na USGS	69
4.2.4. As transformações posteriores	72
5. Considerações Finais	84
Referências	87

1. Introdução

Tradicionalmente a pesquisa em âmbito acadêmico busca uma objetividade ideal, e isso se reflete na formalização da apresentação dos trabalhos, que de certa maneira buscam fazer um resumo curto da pesquisa em seu título, indicando linhas gerais do método utilizado, objeto de estudos e área de estudos. Escolher um nome para identificar esse trabalho foi uma tarefa que levou algumas horas e trouxe muitas dúvidas. Vários títulos poderiam resumir bem as propostas encontradas aqui, porém, nenhum deles trazia uma personalidade, sendo títulos genéricos que não captavam a essência da pesquisa.

A escolha do nome “Sobre o leito vacilante” é uma metáfora simbólica sobre os processos históricos que foram analisados em torno da geomorfologia fluvial, cujo objeto de estudos principal é o rio. O leito é a base dos rios, é a parte do relevo invisível, que os olhos do senso comum muitas vezes classificam com uma falsa imagem, como um sólido arcabouço de contenção das águas, que pouca mudança ocorre, que mesmo se as águas transbordarem, uma hora, voltam para seu caminho, quase incólume. Porém o leito é constantemente transformado, sofre com erosão e com a sedimentação, é o ambiente de afloramento das águas subterrâneas que não vemos, e cujo lento trabalho sobre o relevo provoca constante transformação. O leito vacilante acaba sendo uma metáfora sobre os estudos geomorfológicos que o acompanham. Assim como o rio é instável, as linhas de pesquisa não são fixas no tempo, e estão sempre vacilando ao tentar conquistar uma posição preponderante na pesquisa científica. A principal característica é mudança, a transformação que as ideias vão sofrendo conforme novos tempos aparecem, com novos homens, em busca da transformação.

Transformações que são o mote principal desse trabalho, atingindo em vários graus a história da Geografia e da Geomorfologia. Nomes como William Morris Davis, Isaiah Bowman, Ellsworth Huntington, Edward Ackerman, tem em comum a marca das mudanças. Todos eles tiveram grande importância na história da Geografia no século XX, e todos também fizeram parte, como alunos ou professores, da Universidade de Harvard. Hoje, fazendo uma pesquisa simples pela internet, com as palavras “Geography” e “Harvard” encontramos não mais que a indicação do site do centro de SIG em Harvard (vinculado aos cursos de Engenharia) e um mapa do campus da

tradicional Universidade. O departamento de Geografia não existe mais, e nenhuma matéria com esse nome é oferecida nos dias de hoje. De centro de excelência, a um mapa esquecido. A Geografia teve grandes transformações no século XX, passando por períodos de desprestígio, de utilitarismo, de crítica, de esquizofrenia.

O caso de Harvard é simbólico sobre os caminhos e descaminhos da disciplina nos Estados Unidos. A universidade faz parte da chamada *Ivy League*, formada em 1954 como uma associação, principalmente esportiva (mas que hoje também tem fins acadêmicos), entre oito das melhores e mais antigas universidades daquele país. Apesar de sua formalização nessa data, desde o século XIX existe uma tendência de forte união entre seus membros, que durante muito tempo também se denominavam como *Ancient Eight*. Todas as universidades se localizam na região Nordeste, ponto inicial da colonização da América do norte, e somente uma delas não foi fundada ainda no período de dominação colonial Inglesa. São elas: Harvard (1636), Yale (1701), Universidade da Pennsylvania (1740), Princeton (1746), Columbia (1754), Brown (1764), Dartmouth (1769) e Cornell (1865). (WRIGHT; KOCH, s.d.).

Além da localização, existem outros elementos comuns de união entre essas universidades, como o fato de todas serem privadas, uma forte característica do ensino superior americano até hoje. Outro ponto importante é que todas tinham Geografia como curso regular até meados do século XX, hoje, somente Dartmouth tem esse curso. Desde o final do século XVIII essas universidades (exceto Cornell) já tinham matérias de Geografia, vinculadas aos cursos de Filosofia ou de Ciências Naturais, mas é somente na segunda metade do Século XIX que o status da Geografia cresce e os cursos aparecem, principalmente com a contribuição de William Morris Davis que assume a organização do curso, e a orientação de pesquisas e alunos na Universidade de Harvard. Até o fim do século XIX todas as universidades tinham um departamento de Geografia separado e responsável por um curso.

Do começo do século XX até a década de 20 temos o período do auge da Geografia nessas Universidades, com a formação de uma grande geração de geógrafos, como Isaiah Bowman (que depois se tornou reitor da Universidade John Hopkins) e Ellsworth Huntington, ambos alunos de Davis, sendo responsáveis por parte da diversificação das aplicações e pesquisas na área da Climatologia e da Antropogeografia, sendo que a influência Ratzeliana e do determinismo ambiental é

muito forte nesse período. Na década de 1920 temos o estabelecimento de outras questões que colocam a Geografia em novos eixos, como a Primeira Guerra Mundial, que produz uma contínua “profissionalização” do Estado, e cada vez mais o conhecimento geográfico assume uma importância prática enorme. Também pode-se citar a hegemonia que a escola Lablanchiana regional assume na Europa, fazendo uma dura crítica à tradição de influência determinista. Ao mesmo tempo temos um grande crescimento da influência de novos cursos de Geografia que começavam a aparecer nas universidades americanas do meio-oeste, voltadas para análise de geografia econômica, com ênfase em estudos agrários e também da costa oeste, principalmente em Chicago e Berkeley. (CARVALHO JUNIOR, 2011)

Aos poucos, todas as universidades da *Ivy League* fecharam os departamentos de Geografia. Harvard foi a primeira em 1948, sendo um fato que acaba influenciando as outras universidades. A demissão de Edward Ackerman e Edward Ullman provoca protestos das associações de Geografia nos Estados Unidos. Em 1967 é fechado o curso de Yale, em 1963 na University of Pennsylvania, em 1986 na Columbia, onde o departamento de Geografia já havia sido incorporado pela Columbia's School of Business desde 1970.

É difícil encontrar uma motivação clara que possa valer para generalizar esse processo, mas alguns fatos podem ser levados em consideração. Numa contextualização dos novos tempos, a geografia apresenta uma clara falta de aplicabilidade, sendo que restam poucos cursos com esse perfil até hoje nessas universidades (como Filosofia, e História). A falta de demanda de alunos também é um fator decisivo, já que sem uma clara definição de mercado de trabalho, pela falta de direcionamento prático, há um processo de esvaziamento no número de interessados, levando inclusive a uma situação financeira insustentável, já que o modelo de ensino superior nos Estados Unidos é predominantemente privado, com pouca participação do Estado ajudando nesses custos.

É interessante notar que o mesmo período de declínio da Geografia nesses centros mais tradicionais das universidades americanas coincide com o momento de renovação e reformulação da matéria. Essas universidades passam a não quererem mais a tradição geográfica até então dominante, e acabam partindo para decisões mais drásticas, fechando os departamentos. Ao mesmo tempo que em outros centros

acadêmicos americanos, um forte debate era travado em busca de um novo modelo de Geografia.

Geografia Quantitativa, Teórica, Neopositivista, Nova Geografia (*New Geography*), são muitos os nomes que recebe essa linha teórica das mais influentes na Geografia mundial até hoje. O nome mais adequado e que será utilizado ao longo dessa dissertação será o de “Geografia Quantitativa”, que é largamente utilizada em manuais de História do Pensamento Geográfico (CAPEL, 1981; JOHNSTON, 1986), e também é o nome mais utilizado pelos autores que fazem parte desse movimento.

O surgimento da Geografia Quantitativa está vinculado a um processo histórico maior, que vai além dos muros geográficos. Desde os anos 50 essa mudança foi definitiva na produção das pesquisas não só nos Estados Unidos, mas também no Reino Unido, Alemanha, e Suécia (países centrais nesse primeiro momento do processo de renovação). Hoje pouco se fala sobre o que foi a Geografia Quantitativa, sendo que seus autores passam em branco por nossos cursos e falar sobre positivismo como uma proposta teórica séria soa como uma afronta. Ainda temos um forte ranço ideológico que dificulta o avanço de debates e principalmente o resgate histórico de um período profícuo da Geografia.

1.1 Objetivos

O presente trabalho classifica-se na tradição da História do Pensamento Geográfico, sendo eminentemente histórico e em certa medida epistemológico. Nossa análise é sobre a renovação na Geografia ocorrida com o movimento quantitativo da *New geography*, focando nas transformações ocorridas na Geomorfologia. Porém não é possível dizer que essa seja a base de reflexão utilizada, apesar de ser um trabalho que trata sobre esse movimento, não podemos enquadrá-lo como pertencente a essa linha teórica.

No século XX houve o estabelecimento de três grandes linhas teóricas de pensamento da Geografia: a linha da qual o presente trabalho trata, a do Empirismo lógico na Geografia Quantitativa; a de tradição marxista, conhecida como Geografia crítica; e a de tradição fenomenológica, que também é chamada de Geografia

Humanista. Todas ainda são muito ativas até os dias atuais e “disputam” a hegemonia da pesquisa, apesar de nenhuma delas ter conseguido impor-se como principal durante muito tempo. A tradição Regional, Cultural e até mesmo da Geografia Política, vistas muitas vezes como “velha geografia”, também continuam ativas. Nenhuma delas conseguiu estabelecer-se internacionalmente como padrão dominante. Esse papel hegemônico pode ser verificado em um plano local, já que é comum que os departamentos de geografia que apresentam maior tendência a uma ou outra linha. (CAPEL, 1981).

Tradicionalmente, as reflexões histórico-epistemológicas sobre a Geografia são produtos de pesquisas das linhas marxistas e humanistas. Grandes esforços nesse sentido são feitos principalmente por geógrafos marxistas, que seguem uma tradição historiográfica de revisão crítica sob a ótica do materialismo histórico. Os geógrafos que seguem uma tradição ligada a Geografia quantitativa, também produziram grandes obras de análise histórico-epistemológico, porém a maior parte delas não é bem divulgada no Brasil, tais como Peter Gould, que não tem nenhum de suas obras traduzidas para o português; além de John Johnston, autor de uma revisão importantíssima da geografia do século XX, o livro “Geografia e geógrafos” (1986).

A Geografia Física acaba situando em um segundo plano as reflexões de caráter histórico e epistemológico. Desse modo, acreditamos que pesquisas dessa natureza sejam necessárias, não só pela importante atividade de recontar o passado da disciplina, conhecer de “onde viemos”, e nos inserir dentro de uma tradição, mas principalmente por discutir sobre aquilo que fazemos. Muitas vezes acabamos “engolidos” pelas técnicas que quando usada sem a devida reflexão, acabam se tornando uma grande “linha de montagem” para aplicação, numa ação automatizada e pouco crítica. Pensar sobre onde surgiram essas técnicas, para que foram pensadas e usadas, nos dá um importante parâmetro para saber o que foi modificado e de que maneira repetimos o passado naquilo que fazemos hoje. É uma necessidade constante estar revisando e refletindo sobre a produção intelectual precedente, que nos ajuda a balizar nossos trabalhos, e poder inseri-los dentro de uma tradição que é muito maior do que aquilo que estamos fazendo individualmente.

O objetivo desse trabalho é analisar as grandes mudanças ocorridas na Geomorfologia da segunda metade do século XX. Essas mudanças não são exclusivas

da Geomorfologia, e atingiram como um todo a estrutura da Geografia. Dentro da historiografia há uma forte tendência de entendimento que o fim da Segunda Guerra Mundial marca uma série de transições na sociedade, na economia e na cultura em um nível global, provocando fortes mudanças com o início da Guerra Fria, a pressão soviética sobre os países do Leste europeu, o rápido crescimento do capitalismo mundial, e as grandes mudanças na estrutura da pesquisa científica. (FORD, 1974; HOBSBAWM, 2011).

Dessa maneira, o presente trabalho tem como objetivo primordial realizar o resgate histórico de um importante período da Geografia que muitas vezes é esquecido em nossa formação, com uma revisão sobre a fase de inserção das técnicas quantitativas. Essa avaliação histórica será realizada com certas balizas, pois seria um trabalho praticamente impossível refazer a história desse período, num espaço de tempo tão curto quanto um mestrado. Faz-se necessário, portanto, limitar esse panorama geral a partir de uma análise das influências históricas importantes para o entender a mudança radical nas novas abordagens metodológicas inseridas na geomorfologia na segunda metade do século XX propostas pela tradição Anglo-Britânica. Para isso, é necessário refazer alguns aspectos da história do conhecimento geomorfológico, principalmente na constituição de seu paradigma no século XIX.

Uma das bases nessa nova área aberta pela Geografia Física neste período tem relação direta com os modelos matemáticos, que tiveram importância fundamental para o desenvolvimento da Geografia como um todo. Desde sua concepção e aplicação, a adoção da linguagem matemática facilitou muitos estudos, e colocou a Geografia muito mais próxima das ciências naturais, com um impacto foi enorme, modificou muito a maneira de realizar pesquisas.

O foco metodológico do trabalho encontra-se baseado na História, especificamente na área de História da Ciência. É um trabalho que seguirá uma linha de método adotada em certos trabalhos da Geografia Humana, que teve como escopo evolutivo abraçar os estudos em História do Pensamento Geográfico. Assim como a Cartografia não é mais ou menos “física”, a História do Pensamento Geográfico deveria também seguir esse padrão. A reflexão sobre o passado da disciplina, a evolução de seus conhecimentos deveria ser um tema recorrente e contínuo. Porém ocorre que a temática

de reflexão da história da Geografia acabou sendo mais abarcada pela Geografia Humana, e aos poucos esquecida pela Geografia Física.

Para cumprir o objetivo, a presente pesquisa acabou sendo dividida em três partes, uma que contextualiza o “espírito da época” de meados do século XX, dominando por um renascimento do positivismo, através do Círculo de Viena, que influenciava em grande medida a Geografia e a Geomorfologia da época. A parte seguinte do trabalho busca recontar a evolução histórica da Geomorfologia, em suas principais bases teóricas estabelecidas principalmente entre os séculos XVII e XIX. E a terceira parte, é o foco principal do trabalho, ao fazer uma análise minuciosa sobre as grandes transformações que a Geomorfologia passa em meados do século XX, ao quebrar o paradigma vigente, principalmente nos Estados Unidos.

2. O contexto filosófico e científico da Geografia no final do século XIX até meados do século XX

2.1 A influência do Positivismo

Durante o século XIX houve intensos debates filosóficos, que culminaram no estabelecimento dos principais embasamentos da ciência moderna. São várias tendências teóricas que acabam cruzando suas influências (como o naturalismo, evolucionismo, historicismo, e positivismo) e dos debates é possível avistar um melhor panorama evolutivo que chega até hoje quando se fala sobre a produção do conhecimento científico. O surgimento das ideias relacionadas ao Positivismo teve uma grande importância para avançar os debates filosóficos dessa época, embora no fim do século XIX e começo do século XX essas ideias estivessem em menor evidência do que haviam estado décadas antes com Auguste Comte. (HAHN; NEURATH; CARNAP, 1986).

A partir das primeiras décadas do século XX esse debate volta com grande força, evidenciando principalmente no embate de ideias entre o Historicismo e o Positivismo. Na década de 1920 surgem os primeiros trabalhos da Escola de Chicago e a Ecologia Urbana, reunindo elementos da biogeografia para aplicação em estudos Urbanos, e é considerada uma dos primeiros desenvolvimentos da teoria positivista nas ciências humanas, que resultaram em grande influência na área. (LIVINGSTONE, 2008). Mas é somente entre as décadas de 1920 e 1930 que surge o principal grupo de estudos teóricos e filosóficos que busca elaborar uma teoria sobre a constituição do conhecimento científico, chamado de Círculo de Viena.

A cidade de Viena é até hoje uma grande capital e centro cultural da Europa. No fim do Século XIX tinha a condição de capital do Império Austro-Húngaro e reunia grandes pensadores em suas universidades, gerando um clima intelectual de profusão de novas ideias, que possibilitam uma profunda discussão filosófica sobre as bases fundamentais daquilo que até então era considerado como ciência. Entre os influentes intelectuais da época, que se dispusera a iniciar essa discussão estão os físicos Ernst Mach e Ludwig Boltzmann e o filósofo Franz Brentano. Na física as discussões eram

intensas em relação ao atomismo (teoria até então não totalmente aceita), e a Teoria do Éter, segundo a qual haveria uma substancia chamada de éter, que preenche os espaços vazios, e possibilitaria a propagação de ondas eletromagnéticas e da gravidade. (SCHILICK, 1980).

O surgimento do círculo de Viena está associado ao nome de Moritz Schilick, físico de formação, torna-se professor de Filosofia de Ciências Indutivas na Universidade de Viena, em 1922. Ao seu redor, vários cientistas e intelectuais começam a participar de reuniões, discussão e debates sobre ciência. Entre esses intelectuais é relevante as contribuições de Rudolf Carnap, Otto Neurath, Herbert Feigl, Kurt Gödel, Hans Hahn, entre outros vários pesquisadores (entre os participantes ocasionais das reuniões e das publicações do grupo aparece o nome do filósofo Ludwig Wittgenstein, e Karl Popper, que mesmo nunca tendo participado das reuniões, foi grande divulgador das discussões do grupo). Para conseguirem maior público de leitura para as discussões do Círculo, foi fundado em 1928 a Sociedade Erns Mach, com a missão de difundir a concepção científica de mundo que estava sendo moldada. Além disso, também lançaram a revista *Erkenntnis* (1930 -1938) para colocar as discussões em circulação no ambiente acadêmico. (OUELBANI, 2009)

A constituição do Círculo de Viena é heterogênea em certa medida, pois congregou cientistas de diversas áreas: da física, que constituía a maior parte dos participantes, matemática, química, psicologia, linguística, entre outros. Porém houve uma unidade que garantiu ao grupo uma linha de pensamento muito homogênea. Para a manutenção dessa homogeneidade são apontadas cinco influências filosóficas diretas no grupo:

1. Positivismo e empirismo: Hume, Iluminismo, Comte, Mill, Richard Avenarius, Mach.
2. Fundamentos, Objetivos e Métodos da Ciência Empírica (hipóteses em física, geometria, etc.): Helmholtz, Riemann, Mach, Poincaré, Enriques, Duhem, Boltzmannm Einstein.
3. Logística e sua aplicação à realidade: Leibniz, Peano, Frege, Schröder, Russell, Whitehead, Wittgenstein.
4. Axiomática: Pasch, Peano, Vailati, Pieri, Hilbert.
5. Eudemonismo e sociologia positivista: Epicuro, Hume, Bentham, Mill, Comte, Feuerbach, Marx, Spencer, Müller-Lyer, Popper-

Lynkeus, Carl Menger (pai). (HAHN; NEURATH; CARNAP, 1986, p.8).

O embasamento teórico elaborado pelo Círculo de Viena ficou conhecido também como Neopositivismo ou Empirismo lógico (a nomenclatura utilizada mais usualmente pelos próprios membros). A principal posição teórica assumida foi de oposição à metafísica e ao idealismo como posições filosóficas, numa atitude avessa a especulação. Além disso, o empirismo é assumido como base fundamental para a ciência, junto à ideia de experiência, não sendo possível adquirir um conhecimento científico pela razão pura ou por juízos a priori, confrontando fortemente as visões filosóficas derivadas do idealismo alemão Kantiano do século XVIII. A experiência sensorial deve ser a base para o conhecimento científico, em um processo que relaciona uma análise lógica com o que é apreendido empiricamente, sem buscar a essência, somente a estrutura.

Segundo Schilick (1980), a metafísica tem como linha de condução a ideia de que a verdade não pode ser encontrada na aparência, dessa maneira seu principal objetivo é buscar explicações sobre a essência dos fenômenos. Numa atitude que busca a transcendência, a verdade é sempre apresentada por meio da razão humana, numa atitude antiempírica. As principais discussões são de fundo ontológico, questionando-se sobre a essência dos seres, as questões que fundamentam as ações, utilizando-se de conceitos que procedem de um alto grau de abstração, tais como, a discussão sobre Deus, ou o porquê da existência humana. A principal crítica do Círculo de Viena está centrada na questão do conhecimento indireto, da possibilidade de um conhecimento somente pela atividade do pensamento, sem a experimentação, sem o empirismo. A ciência deveria ter como proposta básica a busca de dados, atendo-se exclusivamente a eles, sem buscar as questões que vão além do que representam, abdicando de uma interpretação subjetiva, que seja desligada das questões aparentes. A realidade está somente no mundo externo, e cabe ao homem descobrir as leis que regem a natureza. O homem/pesquisador não está separado de seu objeto de pesquisa, mas mesmo sendo parte integrante da realidade é necessário afastar-se dela, e a atividade científica deve tentar realizar essa cisão entre o homem e seu objeto de pesquisa.

Apesar da associação com o positivismo, é bem clara para o grupo algumas diferenças que são apontadas em relação ao movimento original. A primeira grande

diferença é em relação à base da pesquisa, que no período de Auguste Comte era principalmente a psicologia e as ciências sociais. Nesse segundo momento, a matemática surge como grande solução metodológica e capaz de unir todas as áreas de pesquisa ao seu redor, sendo denominado o método de pesquisa de Análise Lógica, um tipo de linguagem que poderia garantir ao pesquisador a almejada neutralidade.

Esse projeto proposto leva a busca de uma ciência unificada, que deve abranger as pesquisas de todas as áreas, das ciências exatas às sociais. A união das ciências por uma visão única sobre o papel e métodos científicos:

Daí se origina a busca de um sistema de fórmulas neutro, um simbolismo liberto das impurezas das linguagens históricas, bem como a busca de um sistema total de conceitos. Aspira-se à limpeza e à clareza, recusam-se distâncias obscuras e profundezas insondáveis. Na ciência não há “profundezas”; a superfície esta em toda a parte: tudo o que é vivência forma uma rede complexa, nem sempre passível de uma visão panorâmica e frequentemente apenas apreensível por partes. Tudo é acessível ao homem; e o homem é medida de todas as coisas. Aqui se mostra a afinidade com os sofistas e não com os platônicos; com os epicuristas e não com os ptagóricos, com todos os que defendem o ser mundano e a imanência [diesseitigkeit]. A concepção científica do mundo desconhece enigmas insolúveis. (HAHN; NEURATH; CARNAP, 1986, p. 10).

A interpretação do Círculo de Viena sobre a metafísica é de que seus enunciados são vazios em relação ao sentido se forem analisados pela lógica matemática, e pela visão empírica. A “profundidade”, os aspectos fora do plano visível e da aparência não podem ser tomados por teorias científicas, pois não passam de uma simulação, que deveria se enquadrar como arte ou mitologia, Isso é verificado em dois principais erros de ordem lógica da metafísica, sendo o primeiro é em relação ao constante vínculo e necessidade de uso da linguagem “tradicional”, verbal, não matemática, que dificulta a clareza e a neutralidade, dando margem para múltiplas interpretações. O segundo erro é acreditar que o pensamento puro, apriorístico, sem relação com uma investigação empírica, possa levar ao conhecimento e a verdade. Um pressuposto básico é a nitidez das pesquisas, com a produção de resultados claros, não havendo espaço para as dubiedades e discussões característico da linha historicista. A visão do Círculo de Viena

é extremamente fechada nessa questão de evitar as contradições, da maneira que poderia se resumir os problemas filosóficos em dois conjuntos: ou eram falsos, ou poderiam ser transformados em questões empíricas e assim, seriam objetos das ciências experimentais.

Uma interessante relação se estabelece na tradição da Física com Mach, Poincaré e Einstein, os três principais pensadores sobre o relativismo. Com eles se estabelecem as bases para superação da ideia de espaço e tempo absolutos, com o aporte da probabilidade e do princípio de indeterminação, espaço e tempo são relativizados e não mais vistos como estáticos, contendo elementos totalmente determinados que, garantem um conhecimento pleno. Comumente na Geografia existe uma forte crítica à tradição positivista é a denominação de que seus estudos buscam analisar o espaço absoluto. Essa denominação é claramente contrária aos próprios princípios filosóficos do positivismo do Círculo de Viena, que é contrário à visão de espaço absoluto. Uma possibilidade para entender essa denominação errônea pode advir da visão de ordenamento e análise empírica de dados, desenvolvidos durante muito tempo por essa Geografia, condizente com a ideia de espaço relativo segundo a física moderna. Porém, fora do enquadramento do que seria espaço relativo segundo a metafísica de Kant.

O desmembramento do grupo começa com grande força após 1936, quando um estudante (membro do partido nazista) mata Schlick, e completa-se em 1938 com a anexação da Áustria pela Alemanha, num prenúncio da Segunda Guerra Mundial. A maior parte dos membros do Círculo de Viena e seus contribuintes fogem para a Grã-Bretanha e os Estados Unidos. Um dos resultados dessa migração forçada é o crescimento da influência da filosofia neopositivista no mundo anglo-saxão, principalmente com publicações como *International Encyclopedia of Unified Science* e *o Journal of Unified Science*. (CAPEL, 1981).

O neopositivismo dos EUA e Reino Unido tem algumas particularidades que o diferenciam das propostas originais do Círculo de Viena, avançando os debates para caminhos até então pouco explorados, aprofundando sua normatização, e fixando as bases fundamentais dessa proposta filosófica.

Uma área de grande desenvolvimento é em relação às questões da linguagem e da comunicação. Pauta-se a evolução na ciência em cima de uma linguagem científica comum, que pudesse dar continuidade as propostas de uma ciência unificada, e dessa

maneira a linguagem matemática e a lógica são concebidas como a síntese mais importante para as pesquisas científicas. Outro importante avanço nas discussões se dá nas demarcações daquilo que é científico, tentando retirar todos os possíveis traços metafísicos que pudessem fazer parte desse conhecimento. Com isso, reforça-se a ideia já antiga de que a ciência deve ser neutra, pois atem sua atenção à descrição de fenômenos e não a sua valoração.

Uma importante mudança que começa seu curso principalmente nos Estados Unidos, é em relação ao princípio da indeterminação. Segundo Braga (2011), desde o século XIX a filosofia da ciência estabeleceu o determinismo causal como base do método para o estabelecimento da verdade. Porém no século XX há uma mudança clara nas proposições, principalmente na Física, com as contribuições de Max Plank, que em suas pesquisas sobre o movimento de partículas subatômicas estabelece o princípio da indeterminação, segundo o qual é impossível determinar a posição exata de uma partícula num determinado momento. As pesquisas se voltam para o princípio da probabilidade com muito mais força, e influenciam o desenvolvimento dessas propostas na filosofia neopositivista, que abandona grande parte de sua teoria indutiva, e volta-se muito mais para o papel da dedução e da teoria. Um dos grandes filósofos que estabelece as principais características dessa linha é filósofo já citado, Karl Popper, que teve um forte contato com o Círculo de Viena, e estabeleceu uma forte influência no Reino Unido, onde foi professor na *London School of Economics and Political Science*, e Estados Unidos.

2.2 A Geografia como ciência. O movimento da New Geography.

O desenvolvimento do debate neopositivista na Geografia tem início nos anos 50, principalmente nos Estados Unidos e Reino Unido e mais tarde em outros países da Europa como a França, Itália e Suécia. A criação da Comissão de métodos quantitativos na União Geográfica Internacional (1964) e de revistas como a *Geography Analysis* da *Ohio State University* (1969) marcam o estabelecimento dessa linha teórica como parte dominante da política acadêmica. Seu desenvolvimento nas universidades não foi pacífico, e envolveu importantes disputas com os geógrafos “tradicionais”, que defendiam a continuidade dos estudos histórico-regionais. (STODDART, 1986). O nome Geografia quantitativa foi estabelecido por Burton (1963) para nomear esse

momento de valorização de métodos quantitativos, e do estabelecimento de um novo paradigma de ciência que marcou a segunda metade do século XX.

Até esse momento, o principal paradigma de Geografia foi desenvolvido desde meados do século XIX, quando Vidal de la Blache e seu grupo de alunos acabam construindo um padrão teórico e metodológico de pesquisa, seguida em grande medida pela maior parte dos centros acadêmicos mundiais. O paradigma de ciência geográfica Vidaliana se consolidou envolto a polemicas e grandes debates com o “determinismo”, se autoproclamando uma solução “possibilista”. As mudanças desse rumo na Geografia são de difícil datação, não existe um único ponto para estabelecer como sendo o início, já que as influencias são diversas nesse processo. São muitos grupos que exerceram sua capacidade de inspirar novas gerações, com uma série de textos fragmentados que tiveram grande importância, assim como se pode apontar também aquilo que não foi publicado, como o trabalho dos professores na sala de aula. Dessa maneira é importante analisar esse momento histórico tendo em vista certos objetivos claros, e no caso a busca das origens da insatisfação dos geógrafos, principalmente americanos, com o paradigma da Geografia Regional.

Sabe-se que no fim da primeira metade do século XX já havia o aparecimento de um movimento em torno de mudanças de rumo e da profissionalização da Geografia, afirmando que esta era em sua grande parte amadora, buscando então respostas concretas e práticas para problemas enfrentados pelos Governos. Um dos motivos que leva a essa situação é que durante muito tempo a Geografia deixou de lado os estudos sistemáticos e específicos, focando seus esforços nas questões regionais. Essas primeiras reflexões são concluídas pela pergunta sobre a possibilidade desse modelo de Geografia ser realmente científico. (ACKERMAN, 1958).

As pesquisas de tradição regional apresentam três erros fundamentais, tais como as propostas de classificação, principalmente em escalas de menor detalhe, que visam analisar áreas muito extensas. Ainda existe uma sucessão de fatos físicos e sociais que na maior parte dos estudos não são integrados e acabam se tornando uma descrição tópica. E por último, existe a grande dificuldade de aplicar esse modelo desenvolvido pelos franceses em todos os países. (FREEMAN. 1961)

A defesa explícita de uma nova base teórica e metodológica para a Geografia ocorre em 1953 com Fred Schaefer (CAPEL 1981; JOHNSON, 1986; MONTEIRO,

2001a), que é considerado o primeiro ataque direto à geografia tradicional de cunho regional, embora sua aceitação tenha sido muito pequena, mesmo entre os geógrafos quantitativos, visto que em poucas obras posteriores ele foi referenciado nas bibliografias. Fred Schaefer chegou aos Estados Unidos fugindo da perseguição sofrida na Alemanha Nazista devido a sua militância socialista, e inicia suas atividades como professor na Universidade de Iowa, onde tem contato com Gustav Bergman, antigo membro do Círculo de Viena.

Schaefer (1953) visava mostrar as falhas do que ele chama de tradição do excepcionalismo na Geografia, fazendo referencia direta a tradição ideográfica regional defendida por Alfred Hettner na Europa e difundida por Richard Hartshorne no Estados Unidos. Essa tradição na Geografia não visava à descoberta de leis, pois centrava suas pesquisas na exceção, a descrição regional acaba retirando de sua matriz teórica o caráter científico, pois buscando os casos individuais e não as generalizações, impede a descoberta de leis. Dessa maneira a Geografia enquanto ciência deveria buscar a formulação de leis que determinam a distribuição espacial, o que é uma grande mudança da ideia da Geografia como a ciência dos lugares (Lablache), ou da diferenciação de áreas (Hartshorne). Defesa a ideia de que a Geografia necessitava adotar o positivismo como base teórica, visando acabar com a visão excepcionalista/regional, e realizando um verdadeiro projeto científico, que não se baseasse no único e singular, fazendo uma crítica sobre a afirmação da Geografia ser uma ciência de integração e afirmando a necessidade das explicações e leis para a construção de um conhecimento científico.

Hartshorne lança uma série de escritos para rebater os argumentos de Schaefer ao longo dos anos 50, culminando com um importante livro lançado em 1959, *Perspective on the nature of Geography*. Uma questão interessante é que esse livro é uma das únicas obras de Hartshorne traduzida para o português, sendo que seu escrito mais influente, um dos livros mais importante da Geografia no século XX, *The nature of Geography* (1939), nunca foi traduzido, tendo sido pouco discutido e debatidos nos círculos acadêmicos brasileiros.

Apesar da exposição clara e efetiva sobre o que era a Geografia, e de uma reputação acadêmica de grande influencia, a visão de Hartshorne de Geografia foi sendo colapsada rapidamente, e já no começo dos anos 60, a visão a Schaefer sobre aquilo que a Geografia deveria ser foi ficando mais clara e explícita nos Estados Unidos, apesar de

ter tipo pouquíssima influência entre os principais autores que iniciaram essa proposta quantitativa, ele conseguiu transcrever em seu artigo as principais aspirações da época em que vivia, e por esse motivo seu texto é considerado de suma importância para entender o processo de mudança na Geografia. (ACKERMAN, 1972),

O início da produção de pesquisa quantitativa na Geografia foi dominado por alguns centros mais destacados nos Estados Unidos, principalmente as faculdades de Iowa (apesar de ser o local de trabalho de Schaefer, as pesquisas não tiveram sua influência direta), Winsconsin e Washington, onde foi defendida uma das teses mais influentes da Geografia quantitativa, de William Bunge, um dos primeiros trabalhos a propor o estabelecimento da geometria como uma linguagem na Geografia. (GREGORY, 1992)

Os anos 60 trouxeram uma grande mudança, ocorrida sem uma devida sistematização do conhecimento, sem um anúncio prévio de sua organização e de seus enunciados teóricos. Não havia livros ou artigos que explicitassem as teorias que embasavam essas mudanças, a produção das pesquisas era extremamente clara e objetiva, porém não havia discussão sobre os meios e fins, sendo que uma característica geral era a extensa discussão sobre os métodos, principalmente ligados à estatística.

Muitos desses trabalhos, entretanto, pouco contribuíram em termos de teoria. Tratava-se do teste quantitativo de teorias, uso de hipóteses derivadas em modelos em alguns casos, mas com pouca indicação sobre a qualidade dos resultados. Em outros casos, eram descrições quantitativas que poderiam servir de referência para o desenvolvimento de teorias e modelos, mas em muitas instancias o que havia era uma série de “relatos fatuais”. (JOHNSTON, 1986, p. 110).

A primeira obra de grande aceitação que propôs realizar essa discussão teórica foi *Explanation in Geography* de David Harvey, publicada em 1969, em que são apresentados dois caminhos possíveis para a explicação científica: o primeiro também chamado de Baconiano, ou indutivo; o segundo, é considerado como uma “especulação controlada”, e sua grande diferença é a tentativa inserir logo no início da pesquisa leis e teorias que serão testadas no fim.

Segundo HARVEY (1969), o primeiro padrão explicativo, da forma indutiva, foi desenvolvida no século XVII por filósofos e cientistas da época, como Francis Bacon, René Descartes e Galileu Galilei. Esse método parte da observação da realidade, selecionando elementos e fazendo a comparação e classificação dos mesmos, no fim do processo chegamos à generalização e na elaboração de teorias e leis. Embora a tradição regional da Geografia tenha usado bastante essa fundamentação, teve pouco desenvolvimento com as generalizações. A teoria aparece como parte final do processo. A segunda forma de explicação científica, dedutiva, acaba sendo assumida pela tradição neopositivista, e pela maior parte dos geógrafos que seguiram os desenvolvimentos da New Geography. Com a indução, a teoria é a base inicial do processo de explicação e conhecimento, sem uma teoria inicial, é impossível chegar ao conhecimento da verdade. A investigação empírica é parte final do processo, servindo para validar ou rejeitar as proposições iniciais da teoria, validando-a como verdade ou colocando-a na posição de falsidade.

Um dos pressupostos da filosofia positivista acerca do conhecimento científico diz que a realidade do mundo objetivo apresenta uma ordem inerente, independente do homem, que teria a função de buscar descobrir os mecanismos que regem essa ordem, portanto, é impossível a contaminação do observador sobre essa ordem. Dessa maneira existe a necessidade da criação de leis, que precisam ser provadas por procedimentos de experimentação. Deve haver a elaboração de hipóteses testáveis, que se não forem negadas pelos experimentos, devem ser aplicadas em outros casos e assim construir-se como uma lei.

Uma forte crítica à metodologia da Geografia Regional é que toda descrição é seletiva, não existe uma descrição total, são escolhidos elementos da realidade a serem usados. E essa escolha é parte de uma teoria, mesmo que subjacente, e que não é explícita no processo de indução. As teorias buscam explicar os casos gerais, não casos únicos. Para casos únicos, como é o a região, que é singular na sua combinação de fatores físicos e sociais locais, não é possível a utilização de uma única teoria, sendo necessárias várias teorias para sua explicação. Com o foco voltado para a elaboração das teorias, tem-se a intensão de uma busca da previsibilidade dos fenômenos, descobrindo as leis que regem a realidade (social ou natural). Quando se admite que a realidade possa ser explicada por leis que preveem seus fenômenos, temos como panorama uma pesquisa que volta a utilizar princípios deterministas, que foram durante décadas

removidos da tradição histórico-regional, e o abandono da busca das determinações gerais que as leis podem explicar é um abandono da própria característica científica. (CHORLEY, 1971)

Segundo Spate (1957), a adesão dos geógrafos à quantificação teve de passar pelo desenvolvimento de uma forte base matemática, que como linguagem comum para as ciências, precisou ser adotada nas pesquisas. O uso da matemática visava uma pesquisa mais clara e coerente, fugindo das contradições aparentes do mundo metafísico, porém é errado pensar que ela foi inserida na Geografia apenas com a influência neopositivista. Desde o século XIX a Geografia usava elementos da matemática e até estatística em suas pesquisas regionais, compilando dados de demografia, comércio, médias usuais na climatologia, entre outros. A grande mudança que ocorre nesse período decorre do tratamento dos dados, da transformação deste em informação, e posteriormente em conhecimento. Passa a ser frequente o uso de simulações, da teoria dos jogos, de análise fatorial e de modelos, que junto da análise probabilística, transformam a busca por leis causais em uma busca por leis estatísticas.

O outro ramo da matemática que passa a ser largamente utilizado é a Geometria. Com uma forte ênfase na teoria espacial a Geografia passa a ser cada vez mais definida em torno de questões essencialmente morfológicas e estruturais. Sendo que a tendência mais forte é relacionada às pesquisas com geometria não-euclidiana, que não tratam o espaço de maneira absoluta, e sim de forma relativa, onde as redes favorecem as análises. (JOHNSTON, 1986)

Questões fundamentais da Geografia, elaboradas desde o início de sua institucionalização, com Ritter e Humboldt no século XVIII, permanecem. A localização, organização, distribuição, estrutura e regularidades no espaço ainda são o foco na pesquisa geográfica. Porém nesse momento aparece a organização em sistemas, e existe então uma modificação da maneira como essas problemáticas são tratadas.

Segundo STODDART (1986) as vantagens da utilização dos sistemas na pesquisa advêm de quatro pontos fundamentais. A possibilidade de unir formações inorgânicas e orgânicas na mesma pesquisa. A ordenação racional e clareza. O tratamento de dados de entrada e saída de matéria e energia. E a possibilidade de tratar a natureza como um sistema aberto e geral.

Todas as críticas à Geografia tradicional e a organização teórica em torno da quantificação mostram a intensão clara de construir uma classificação da Geografia dentro das ciências naturais. O que de certa maneira é a intensão geral do movimento neopositivista, ao formatar uma base teórica de pesquisa que possa ser única, porém, que tem sua origem nas ciências naturais e não das ciências sociais, podendo então ser considerado uma supressão das características da pesquisa social, e uma tentativa de impor um único modelo de definição da ciência. Essa busca pela cientificidade na Geografia acaba colocando como foco principal da crítica da Geografia Quantitativa a característica ideográfica da tradição regional, que por se ater aos casos únicos, não pode ser considerada científica. Somente a Geografia sistemática, nomotética poderia ser considerada científica.

Porém, essa visão não significa o “fim” dos estudos regionais. A região continua tendo uma importância para os geógrafos quantitativos como parte da validação de suas teorias, na etapa final de seus trabalhos de pesquisa. A ênfase já não é mais na identificação da região como uma realidade existente, como uma característica do mundo a ser apreendida. Existe uma inversão e a Região aparece como uma forma de classificação, que depende dos objetivos da pesquisa, podendo variar conforme as características que serão analisadas.

Dessa maneira os estudos regionais passam a ser cada vez mais funcionais, pois tem como uma de suas motivações básicas a separação das áreas terrestres por funções espaciais. Além disso, esses estudos também tiveram como característica um influência da teoria sistêmica, já que há a busca em organizar a realidade em sistemas abertos, e também são abstratos, visando formular cada vez mais conceitos generalizantes. Esse ordenamento espacial, por ser cada vez mais semelhante às ciências naturais, fica ausente de preocupações com questões históricas, que cada vez mais tornam-se menores em função da busca pela melhor descrição e explicação das estruturas e formas nas análises espaciais.

A aceitação dos métodos quantitativos na Geografia se deu de forma gradual, não sem uma série de conflitos de gerações, entre os “novos” geógrafos e os representantes da “velha” Geografia. Um questionamento constante era relacionado a real possibilidade e a importância da construção de leis na Geografia, o que reacende um antigo debate, caro na Geografia, sobre o Determinismo, no caso, agora com a

roupagem de uma determinação científica. Se existem leis que regem a lógica espacial, então o pressuposto básico da Geografia estaria condicionado na busca dessas leis. (BURTON, 1963)

É importante notar que essa crítica inicial parte de uma lógica que busca argumentar sobre a pesquisa e as teorias derivadas da quantificação, e foi feita principalmente por geógrafos que desenvolviam trabalhos de cunho regional tradicional. Nesse momento não era feita nenhuma crítica de cunho funcional ou político sobre a atuação dos geógrafos. E em relação a produção de pesquisas, houve um grande consenso sobre a pouca produção teórica e a intensa busca pelo empirismo.

3. A Geomorfologia, entre tradições e renovações

3.1 - introdução

Um questionamento que é necessário para dar forma à pesquisa é a estruturação da visão geral sobre nosso objeto. No caso, uma dúvida importante a ser discutida é o estatuto da geomorfologia, seria ela uma ciência independente ou uma parte auxiliar de outros campos, como a Geografia e a geologia?

Para conseguir responder essa pergunta a busca deve ser feita em dois ramos importantes do conhecimento, a história e a filosofia. Sem a visão histórica da evolução do conhecimento, verificando os fatos importantes, que no caso, são as publicações e estudos realizados pelos cientistas, que configuram matéria básica de análise para entendimento do encadeamento do pensamento dessa área de conhecimento. A filosofia tem suma importância ao legar reflexões profundas da área de análise da ciência, colocando questionamentos que nos ajudam a definir uma linha de pensamento sobre aquilo que pensamos de ciência e dos estudos analisados enquanto a formação de uma unidade acadêmica científica.

A realização desse projeto é complexo e cheio de dificuldades, e como o processo de reflexão sobre a leitura não segue um padrão de produção científica da “hard Science”, a produtividade de uma pesquisa que se baseia na leitura de vasta bibliografia, da análise histórica e principalmente filosófica na literatura específica, muitas vezes demanda um tempo não quantificável. O tempo da abstração. O tempo da reflexão.

A literatura que buscou realizar um projeto de reflexão sobre a geomorfologia é escassa. Podemos verificar no máximo uma dezena de publicações desse tipo, em língua portuguesa, Abreu (1982) realiza uma grande reflexão sobre as raízes filogenéticas da geomorfologia, porém a maior parte desses trabalhos são em língua inglesa e não são acessíveis (principalmente pela dificuldade de encontrar edições de livros nas bibliotecas brasileiras), e poucas voltadas exclusivamente para a geomorfologia, como em Davies (1968), Cunningham (1977), Chorley *et al.* (1964, 1973). Sendo que boa parte da literatura disponível versa principalmente sobre o período anterior ao século

XIX, e começo do século XX, poucos adentram de maneira aprofundada na década de 50 do século XX e o período posterior, mais próximo do tempo contemporâneo. Além da bibliografia baseada em livros, podemos encontrar também alguns periódicos que dedicam parte de sua produção artigos que busquem entender aspectos históricos da ciência. Um exemplo é o *Earth Sciences History*, publicado desde 1982 pela *History of Earth Sciences Society*, compilando material de diversas áreas (Geologia, Paleontologia, Oceanografia, Biogeografia, Climatologia, Geomorfologia, entre outros). Porém, a produção referente à Geomorfologia, é também direcionada para um período mais distante da temática dessa pesquisa.

O início dos estudos sobre as formas da Terra são concomitantes com a organização filosófica do pensamento em torno da Ciência, que nos séculos XVII e XVIII sofre forte influência de pensadores empiristas, e iluministas. Nesse momento temos como grande força teórica o pensamento catastrofistas sobre a formação da terra, que dominam o panorama teórico científico na área, até o advento dos estudos de James Hutton, considerado o pai da Geologia Moderna. A Teoria do uniformitarismo é considerada como primeiro passo para a formação de uma ciência independente que trata sobre a formação da Terra.

É somente no século XIX que os estudos sobre as formas da Terra começam a ter uma importância maior, com os estudos de Willian Moris Davis. O processo de transição da tradição davisiana na segunda metade do século XX para uma tradição quantitativa é retratado de maneira geral como uma ruptura radical na epistemologia da Geomorfologia. Porém é importante colocar os principais elementos de distinção dessas duas matrizes de pensamento e entender os principais fatores que podem relativizar essa ruptura, fazendo com que a interpretação dessa mudança seja mais ligada a um plano filosófico de disputa do campo científico.

Uma questão importante reside sobre a análise das propostas teóricas da geomorfologia. De maneira geral, a revolução quantitativa não propôs nenhuma nova teoria explicativa sobre os processos geomorfológicos. A maior parte das leis que são utilizadas já haviam sido estabelecidas ao longo da transição do século XIX e XX. O que houve é uma mudança na ênfase dos estudos, que agora centram-se nas questões processuais.

3.2. Pequena evolução histórica da Geologia e Geomorfologia

A construção de um conhecimento científico é lenta e gradual, feita por contribuições de muitas pessoas, grupos e organizações, pelo contato e debates de ideias dos mais variados tipos e pela escolha de uma linha dominante que acaba estabelecendo padrões sobre o que é ou não científico. Os conhecimentos das “ciências da terra” e principalmente da Geologia seguiram esse padrão, e vem desenvolvendo a formação de um corpo científico pelo menos desde o século XVIII (embora antes desse período já houvesse algum tipo de preocupação com as questões geológicas, não havia ainda uma evolução para formalização de um ramo conhecimento independente e próprio, que ocorre somente a partir do século XVII). As contribuições dos autores desse período inicial acabam culminando na obra de James Hutton, considerado o “pai” da Geologia Moderna (CHORLEY et al., 1964; KITTS, 1977; TINKLER, 1985; GOHAU, 1987; KENNEDY, 2006).

O conhecimento da Geologia e da Geomorfologia era unido dentro de um único corpo teórico. E sua separação começa somente no século XIX, quando Willian Moris Davis inicia seu trabalho de análise das formas da terra dentro da faculdade de Geografia em Harvard, estabelecendo um grupo muito forte de alunos ao seu redor, criando dessa maneira uma nova linha teórica. Um dos primeiros marcos oficiais dessa separação ocorre entre 10 de agosto e 2 de setembro de 1891, quando ocorre o *International Geological Congress*¹, reunindo uma grande quantidade de entidades científicas ligadas ao estudo de Geologia e das ciências da terra como um todo. Nesse congresso é apresentado o termo geomorfologia por William John McGee, que o havia utilizado em dois artigos de 1888, dando crédito também a John Wesley Powell, que num artigo também de 1888 havia denominado essa área de estudos como “geomorphic geology”. É a partir desse congresso que o termo geomorfologia começa a ser amplamente utilizado pela comunidade acadêmica. (GREGORY, GOUDIE, 2011).

Mesmo o termo Geomorfologia aparecendo oficialmente somente no fim do século XIX, a aplicação de estudos com a utilização dos conhecimentos

¹ Participaram desse congresso as seguintes entidades: Association of American Agricultural Colleges and Experiment Stations; Association of Official Agricultural Chemists; Society for the Promotion of Agricultural Science; a conference of American chemists, Washington Chemical Society; Association of Economic Entomologists; American Association for the Advancement of Science; Geological Society of America; e o Fifth International Congress of Geologists. (MARTIN, 1891 *apud* TINKLER, 1985).

geomorfológicos é bem mais antiga. Na prática, a análise das formas da superfície da Terra é feita há muito tempo, seja na busca de soluções práticas para construções, agricultura, barragens; seja para a busca do entendimento da origem dessas formas e os processos que levaram a sua condição atual. Porém durante muitos séculos os estudos realizados tinham interesses conjuntos, nas questões geológicas e geomorfológicas, não sendo separados os conhecimentos, já que esta começa a ocorrer somente no fim do século XIX, contextualizado com um novo padrão científico, positivista, que busca a separação dos elementos e fenômenos, e das ciências que os estudam.

A Geomorfologia passou por intensas modificações em seu caminho de construção como ciência. Os conhecimentos geomorfológicos do século XVII são hoje considerados ultrapassados, sendo muito difícil reconhecê-los enquanto Geomorfologia, se considerar o que tomamos hoje como definição da Geomorfologia. O estudo da história da disciplina entra em contato com as necessidades de entender a construção e evolução de maneira panorâmica. Logo, não se faz como padrão técnico de aplicação de um conhecimento, mas sim de desvendamento ou de redescoberta, já que tudo o que está se expondo, está de alguma maneira registrado, mesmo que em pesquisas diferentes, porém, já exposto algum dia. Fica a cargo da pesquisa esse desvelamento, de ressurgimento de um conhecimento que é construído diariamente, mas que por muito tempo acaba esquecido.

A análise realizada sobre os conhecimentos do relevo ao longo da história tem como função apenas contextualizar a evolução e os seus principais aspectos, sem o intuito de aprofundamento nessas questões. O recorte geográfico do mesmo é ainda mais restrito, devido a grande variedade de sociedades, a análise foi concentrada na linhagem mais próxima do pensamento ocidental, que são: a Antiguidade Clássica Greco-Romana, a Idade Média Europeia e o Renascimento Cultural, base da construção do pensamento moderno que desenvolvemos em grande parte nas pesquisas acadêmicas atuais. Pode-se entender dessa maneira que há um conhecimento prévio à institucionalização moderna da Geologia, que segue uma tradição que remonta à Filosofia e História Natural, que de certa maneira congrega o que hoje é tema de pesquisa da geologia, das ciências naturais e das engenharias.

O que denominamos hoje “ciências da terra” (ciências naturais) é um conjunto de conhecimentos que analisam os grandes sistemas terrestres, sendo que a construção

desses conhecimentos como ciências separadas inicia-se no século XVII, chegando ao século XXI, numa processo cada vez maior de particularização, com a revolução científica que modifica completamente o plano do pensamento ocidental. Esses conhecimentos tem uma evolução histórica, às vezes gradativa outras vezes com mudanças mais radicais, e remontam suas origens no passado da Antiguidade Clássica Greco-romana. O conhecimento atual do relevo, apesar de derivar de uma evolução, não tem relação direta com o passado da Antiguidade clássica, seja pela grande mudança nos conceitos utilizados, seja pelas explicações sobre os fenômenos observados. Dessa maneira podemos considerar que o conhecimento desse período sobre os fatos geomorfológicos/geológicos apresentam uma separação total do nosso conhecimento atual, e apesar de terem sido preservados parcialmente durante a Idade Média, principalmente nos mosteiros católicos, só foram retomados como um conhecimento válido no século XIV e XV com o Renascimento, quando são reavaliados (HARRINGTON, 1969).

A visão de ciência é extremamente variável ao longo da história. Na Antiguidade Clássica a Natureza é vista e sentida como uma unidade, de maneira holística e integrada entre os fenômenos naturais, a Filosofia torna-se a “mãe” de todas as ciências, o conhecimento é construído de maneira abrangente a partir dos questionamentos filosóficos, e matemáticos. O conhecimento sobre o relevo e a relação com os fenômenos superficiais podem ser divididos basicamente em três princípios, utilizado por uma série de filósofos desse período, e explicitados por Pitágoras (século VI a.c.). O primeiro fundamento é de que o tempo de existência da terra e do universo é um dado incomensurável, e muito maior do que o tempo de existência do homem; o segundo é o conceito da denudação, ou seja, que a paisagem tem uma contínua perda de massa pelo processo erosivo; e por fim a noção da conservação de massa, em que “nada vem do nada” (frase atribuída à Parmenides), algo próximo à noção moderna de Lavoiser, de que nada se perde e nada se cria, tudo se transforma (TINKLER, 1985).

Os estudos desse período sobre os fenômenos terrestre que afetam o relevo são de vários tipos. Existem importantes descrições sobre o vale e o delta do Nilo, feitas por Heródoto (484 - 426V a.c.); descrições sobre a capacidade de erosão dos rios e as diferentes áreas de sedimentação feitas na Ilíada de Homero (século IX a.c.), e também por Eratóstenes (276 - 196 a.c.); Platão (427 – 347 a.c.) realizou estudos sobre a estratigrafia encontradas em rochas sedimentares de bacias hidrográficas da Grécia.

Pode ser considerado que o pensamento mais influente sobre a natureza desse período que é legado a nossos tempos, está na obra de Aristóteles (384 – 322 a.c.), que apesar de não ter nenhum estudo específico sobre o relevo, congregou uma série de pensamentos da antiguidade, incluindo questões meteorológicas, que acabam criando um sistema fechado sobre os fenômenos naturais, que ele atribui uma formação cíclica no tempo. Além disso Aristóteles apresenta uma explicação sobre os terremotos, que seriam atribuídos aos ventos secos, produzidos no interior da terra. Outra importante contribuição vem da escola de filosofia Jônica, fundada por Thales de Mileto (624 – 565 a.c.) e que teve como membros Anaximandro (610 – 647 a.c.), Anaximenes (588 – 524 a.C.) , Heráclito (535 – 475 a.C.) , Anaxágoras (500 – 428 a.C.), entre outros. Entre os estudos que são atribuídos a esses pensadores, verifica-se a análise das modificações nas rochas, principalmente baseado no princípio de Thales, que propunha como elementos primários da natureza a água, o ar, a terra, que depois foi modificada por Empédocles (490 – 430 a.c.), que incluiu o fogo como elemento primário. Sendo que a associação da água com a terra produziria as modificações da paisagem terrestre. A filosofia e os pensamentos sobre a natureza da escola Jônica, tiveram uma continuidade com a Escola dos Atomistas, fundada por Demócrito (465 – 375 a.c.) e Leucipo de Mileto (470 – 400 a.c.), e que teve como membro Epicuro (342 – 270 a.c.), essa escola teve importante papel ao descrever a natureza como sendo constituída de partículas fundamentais e indivisíveis, os átomos. Alguns de seus escritos falam sobre a variação do nível do mar, e indicam que os oceanos estariam lentamente secando. Todo esse período da filosofia pré-socrática tem uma importância histórica por apresentar o início de um pensamento organizado sobre os fenômenos naturais que modificam a paisagem, sobre ciclos naturais. Porém esses estudos podem ser classificados como descritivos. A prática da verificação, e de testes para validação de suas ideias só começa a existir com grande força e influência no pensamento grego com Sócrates (469 – 399 a.c.), que nunca escreveu nenhum livro, e do qual conhecemos seu pensamento através de seus alunos, como Platão (428 – 348 a.C.), Xenofonte (430 – 355 a.C.). Com a busca da validação, existe também uma busca cada vez maior da mensuração mais precisa dos fatos. (HARRINGTON, 1969; TINKLER, 1985, GOHAU, 1987)

Durante o período de auge de Roma, a tradição grega é continuada e revista em muitos aspectos. A enciclopédia *Naturalis Historia* de Plínio, o velho (25 – 79 d.c.), de 37 volumes, apresenta pouco material sobre o conhecimento geológico da antiguidade,

os conhecimentos matemáticos, geodésicos e astronômicos foram bem mais descritos em sua obra, porém pouco se fala sobre o relevo e seus fenômenos. Em seus escritos, Sêneca (4 – 65 a.C.) deixou uma série de apontamentos sobre os fenômenos que ocorrem na superfície, analisando principalmente estudos de Aristóteles. Um de seus interesses era o regime de vazão dos rios, que apesar de estarem continuamente desaguando no mar, continuam com seu grande volume de água, mesmo sem chuvas, propondo a ideia de que parte da água é armazenada embaixo da terra. Outro assunto tratado, e que de certa maneira é uma constante na antiguidade são os terremotos, e as descrições da influência da altitude, analisado também por Estrabão (63 a.C. – 24 d.C.), sendo a teoria de Aristóteles (os terremotos sendo causados pelos ventos) ainda aceita nesse período. (TINKLER, 1985)

A Idade Média é um período muito longo da história, em que houve pouco avanço nos estudos das ciências da terra, principalmente na Alta Idade média (do fim do Império Romano em 476 d.c até por volta do início do segundo milênio – ano 1000), sendo as principais realizações científicas dos Árabes, que estavam no processo de expansão no Mediterrâneo, ao norte da África e Sul da Europa. Somente na baixa Idade Média (por volta do ano 1000 até o início da Idade Moderna, com a tomada de Constantinopla em 1453) houve avanço no pensamento filosófico em torno de pensadores como Tomás de Aquino (1224 – 1274) e Roger Bacon (1214 – 1294).

3.3 Modernidade

A Idade Moderna, inaugurada com o Renascimento, traz o momento de melhor contextualização histórica para os dias contemporâneos dos estudos sobre a Terra. Um corte epistemológico pode ser realizado nesse momento, em que o Renascimento busca jogar luz no pensamento da Antiguidade, porém dentro de uma estrutura social de produção de conhecimento completamente nova, fazendo com que um novo conhecimento seja produzido, numa ciência moderna.

Um dos mais importantes nomes desse período é Leonardo Da Vinci (1452 – 1519), que além de todos os importantes estudos sobre tecnologia, medicina e grandes obras de artes, realizou pesquisa na área de Geomorfologia Fluvial, fazendo análises sobre canais de drenagem sob o ponto de vista hidráulico e também sobre erosão, porém

ainda fortemente influenciado por questões práticas de engenharia. (ALEXANDER, 1982. CHORLEY; DUNN; BECKINSALE, 1965).

É nesse período em que surgem nomes seminais da ciência moderna, marcando o início da pesquisa da maneira como conhecemos hoje, que podem ser classificadas dentro de uma evolução contínua até os dias atuais, sem cortes epistemológicos tão radicais como os que nos separam da ciência da Antiguidade ou da Idade Média. Copérnico (1473 – 1543), Galileu Galilei (1564 – 1642), Kepler (1571 – 1630) e Newton (1642 – 1727), podem ser considerados como os grandes modificadores das práticas no estabelecimento da verdade através da ciência moderna, no estudo da Astronomia e da Física, sintetizando através da matemática uma série de observações realizadas ao longo de séculos, e estabelecendo princípios (principalmente Newton) que servem até hoje para explicar uma série de questões sobre fenômenos superficiais terrestres. (KUHN, 1996).

O último período antes do início da sistematização científica da Geologia no século XIX é chamado de Pós-renascentista, que segundo DAVIES (1968) apresenta uma clara diferenciação das outras etapas, seja pelas mudanças na forma de pensar as questões dos fenômenos naturais que influenciam a formação do relevo, seja pela realização de observações comparativas e extremamente detalhadas sobre os fenômenos geológicos, e pela elaboração das primeiras teorias sobre a dinâmica destes fenômenos. Essas teorias eram baseadas na cronologia bíblica, e deveriam seguir uma rígida sistematização indicada pela religião Cristã. Considerando que o conhecimento era produzido em grande parte nas Universidades, que eram centros de origem religiosa, surgidas desde o fim da Alta Idade Média, a religião torna-se uma importante instituição no papel de centralização de documentos e de formação, porém, o sistema de controle das verdades era em última instância, tarefa dos clérigos, não dos pensadores.

A teoria geológica bíblica se baseava em dois pressupostos que não poderiam ser questionados. O primeiro é relacionado à idade da Terra, que baseada nas escrituras não teria mais do que alguns milhares de anos, um dos estudos marcantes ao analisar essa questão é do Bispo James Ussher (1581 – 1656), que indica o início da terra em 23 de outubro de 4004 a.C., sendo o dilúvio em 7 de dezembro de 2349 a.C. (segundo o calendário Juliano), datas que foram incorporadas na edição da Bíblia do Rei James, de 1701. Esse fato é marcante em relação ao conhecimento da antiguidade, como em

Aristóteles, que propõe o tempo do universo eterno. O segundo pressuposto dessa teoria diz respeito ao dilúvio como o mais marcante fato geológico da Terra, o que explicaria a série de fósseis de conchas e animais marinhos encontrados em áreas continentais, explicação que também é encontrado no conhecimento da Antiguidade, que descreviam inundações massivas em seus estudos. No século XVII alguns grandes avanços são realizados em relação às ideias sobre os fósseis e os fenômenos erosivos. Um dos primeiros estudos comparativos sobre essa questão é de Nicolaus Steno (1638 – 1686), que ao analisar que fósseis terrestres eram morfologicamente semelhantes aos dentes de tubarão do mediterrâneo, elabora os três princípios da estratigrafia: a lei sobreposição, o princípio de horizontalidade original, e o da continuidade lateral. Além disso, também faz uma interpretação sobre a formação e evolução da crosta, em consonância com as interpretações bíblicas, baseado na ideia de que vales gerados pelo colapso causado pelo dilúvio, já que o interior da terra seria oco. Já no contexto da revolução científica, outros importantes nomes surgem, como o de Robert Hooke (1653 – 1703), conhecido cientista, membro da *Royal Society*, e pesquisador em diversas áreas da Física e da Biologia, cujos estudos sobre geologia publicados somente em 1705, incluindo textos que buscam explicar a relação dos terremotos com a geologia terrestre. Burnet (1635 – 1715) publica em 1684 a primeira parte do seu livro *Sacred Theory of the Earth*, sendo a segunda parte publicada em 1690, onde é explicitada a teoria da formação da Terra, a descrição da geologia pré-dilúvio e os efeitos pós dilúvio. Outro importante nome desse período é John Woodward (1665 – 1728), que também entende a história terrestre em seus fatos ligados ao dilúvio bíblico e acaba por estabelecer a cadeira de estudos geológicos na Universidade de Cambridge. (GATES, 2003)

O escocês James Hutton (1726 – 1797) é considerado por muitos como o pai da Geologia moderna, estabelecendo um novo padrão de teorias e de metodologia de pesquisa. Escreveu uma série de livros e artigos onde expõe suas ideias, sendo que um dos grandes estudos que sintetiza seu pensamento é o livro de John Playfair (1748 – 1819), outro importante geólogo que escreve *Illustrations of the Huttonian Theory of the Earth* (1802).

As publicações de Hutton que acabaram sendo compilados como *The Theory of Earth* foram realizadas em vários períodos, e umas das discussões importantes realizadas é comparação do funcionamento dos fenômenos na terra com uma máquina, inclusive em sua posição deísta, de entender os sistemas naturais como planos divinos.

Mesmo tendo essa visão religiosa, ele busca entender o livro do Gênese da Bíblia como uma alegoria, não representando a contagem de dias literal. Nessa mesma publicação é explicitada sua ideia sobre o uniformitarismo, conceito que acaba sendo agregado e utilizado até hoje para explicitar a noção de que as leis que regem os processos naturais de hoje são as mesmas do passado, chegando a conclusão de que o presente é a chave para o entendimento do passado. (KITTS, 1977)

Os estudos de Hutton marcam uma transição na ciência, que de certa maneira é utilizado pela historiografia para mostrar uma visão moderna. O século XIX é o início dessa nova etapa, marcado pela Segunda Revolução Industrial, que desde o final do século XVIII tem o carvão como a principal fonte de energia (sendo gradativamente substituído pelo petróleo ao longo do século XIX e principalmente o século XX). O Carvão fornece importantes evidências sobre o passado geológico, pois como rocha sedimentar, há uma análise estratigráfica remontando o acúmulo de sedimentos anteriores. Surge uma importante função econômica nesse período, que é a de encontrar o carvão, e das habilidades técnicas relacionadas a exploração das minas, que acaba evoluindo os conhecimentos sobre o interior da terra, solo, rochas, falhas e as transições. Esse conhecimento *in loco* é transposto para os mapas, que começavam a apresentar melhorias técnicas, em projeções, escalas e com definições mais próximas a realidade dos contornos litorâneo dos países. As técnicas de aquisição de dados de campo passam por poucas transformações, mesmo tornando-se mais acuradas, ainda eram basicamente as mesmas do século anterior. Como a utilização do clinômetro, ainda de maneira rudimentar (comparado a utilização atual), porém já com grande utilização na construção de mapas, auxiliada pelo compasso para plotar os pontos. A questão da determinação das altitudes ainda era um problema, a técnica barométrica era utilizada há bastante tempo, sendo inclusive aplicada por Playfair, mesmo com grandes imprecisões em certas condições climáticas, sua utilização como base comparativa era largamente utilizada. Essas técnicas chegaram a ser compiladas em manuais, como o *Manual of Scientific Enquiry: Prepared for the use of Her Majesty's Navy, and adapted to Travellers in General* (1849), que tem o capítulo de Geologia escrito por Charles Darwin, incluindo a descrição da utilização desse material de campo. O século XIX marca também o processo de institucionalização da ciência dentro de um corpo acadêmico, formalizado e organizado em torno de objetivos claros de divulgação do conhecimento, resolução de problemas práticos da sociedade e construção de um

sistema de ensino. Essa modificação foi ocorrendo aos poucos e teve alguns fatores que indicam essa mudança. Um dos primeiros fatores é a criação das sociedades científicas. Considerada a primeira organização desse tipo, a *Royal Society* de Londres foi fundada ainda em 1662, porém até o fim do século XVIII, não aparecem outras organizações desse tipo. Somente em 1783 surge a *Royal Society* de Edimburgo, e em 1807 forma-se o primeiro grupo destinado a estudos mais específicos com a *Geological Society*. Além desses grupos, até o início do século XIX a maior parte dos países da Europa ocidental já contava com suas academias nacionais, que aos poucos passam a serem influenciadas pelas transformações realizadas nas universidades modernas da Alemanha, com um novo sistema, numa renovação proposta por Wilhelm von Humboldt. (CHORLEY; DUNN; BECKINSALE, 1965).

Essa organização resulta numa nova etapa de produção do conhecimento, baseada em reuniões entre cientistas, debates, e publicações especializadas, realizados por esses grupos. Nesse momento começa a publicação dos primeiros periódicos científicos, que são importantes veículos para divulgação de propostas teóricas, como ocorrido com Hutton, que além de ter tido publicado seu livro *Theory of Earth* (1795), também teve publicado em artigos (1788) partes desse livro. Há também o crescimento das cidades, a concentração e geração de renda nessa nova fase industrial do capitalismo, novas tecnologias em uma série de áreas, combinam-se e acabam gerando uma enorme expansão num antigo nicho de mercado, os livros. Dessa maneira, começam a surgir e se popularizar os “textbooks”, livros introdutórios e que acabam por buscam reunir o conhecimento básico de suas áreas, voltado principalmente para cursos do ensino superior. A compilação das ideias geológicas e geomorfológicas ganha mais força, no intuito de formalizar teorias com maior apelo universal. Por último, a tradição se consolida na produção científica é o chamado Naturalismo, que coloca os cientistas em contato direto com o trabalho de campo, a experimentação é o foco da física e da química, porém é no campo que as ciências da terra nascem. Simon Palas (1741 – 1811), Horace Saussure (1740 -1799) e Jean Andre de Luc (1727 – 1817), são considerados grandes naturalistas de seu tempo, produziram descrições que foram utilizadas inclusive por Hutton em seu trabalho sobre Geologia. Leopold von Buch (1774 – 1853), Alexander von Humboldt (1769 – 1859) e Charles Darwin (1809 – 1882), são expoentes da pesquisa científica em suas detalhadas descrições, e em sua importância na criação de comunidades científicas. (GRANT, 2007)

O processo de individualização do conhecimento específico da Geomorfologia a partir da geologia é lento e gradual, e entre 1820 e 1880 ocorre uma série de fatos que colocam em movimento esse processo de separação, e identidade própria. Três importantes temas são seminais para esse entendimento: o progresso dos estudos em torno do uniformitarismo; as mudanças ocorridas no pensamento catastrofistas; e o desenvolvimento da glaciologia.

O mais importante geólogo depois de Hutton é Charles Lyell (1797 – 1875), que consegue influenciar a maior parte das análises teóricas a partir de suas publicações. O seu livro *Principles of Geology* foi publicado em 1830, fazendo um compendio extremamente completo sobre o pensamento geológico do Reino Unido e da Europa, principalmente continuando a tradição de Hutton e Playfair. A visão uniformitarista não é amplamente aceita num primeiro momento, pois nesse período existem outras linhas teóricas que buscam explicar os fatores geológicos. A visão diluvionista ainda tem grande força, porém a outra linha teórica que apresenta a concorrência direta é a do catastrofismo, que ao contrario da visão uniformitarista, que vê na questão fluvial uma melhor explicação sobre as mudanças de relevo, busca entender as grandes mudanças através de fenômenos extremos, e de grande impacto.

O livro de Lyell acaba tornando-se um divisor de água nesse debate, compilando uma série de descrições de fenômenos erosivos, paisagens, e também de vulcanismo e terremotos, sua busca era mostrar que a magnitude dos fenômenos varia conforme o tempo, e dessa maneira, incorpora algumas questões inerentes ao catastrofismo ao uniformitarismo. Por sua posição, Lyell acaba sendo largamente criticado por pesquisadores, chamados de, fluvialistas, que aceitavam o uniformitarismo como explicação única da modificação no relevo, principalmente nos debates sobre as formas dos vales (CUNNINGHAM, 1977). Essa posição peculiar de Lyell acaba fazendo com que suas colocações em torno do catastrofismo, exemplificando eventos extremos, sejam sempre bem documentadas.

In the later class are his speculations on the destruction which would accompany the final retreat of Niagara Falls into Lake Erie and the flood that this would precipitate onto the country below. In addition to the Lisbon earthquake, mentioned above, he documents the one that occurred in the Mississippi valley at New Madrid in 1812, and still the largest historical earthquake on record in the United States, with the

consequent creation of islands in the river, and lakes on the flood plain. (TINKLER, 1985, p. 87)

Dessa maneira, Lyell acaba formalizando uma posição “mediana” em torno da questão dos eventos extremos e do fluvialismo, deixando as duas posições como possíveis, mediante a análise dos fatores envolvidos, e do caso específico em estudo. A questão da elevação e da diminuição, do ganho ou da perda de massa, do relevo é uma das pedras fundamentais da discussão da Geologia nessa primeira metade do século XIX, e o livro de Lyell acaba ajudando ao incitar esse debate. Seu posicionamento passa a ser permanente em defesa do uniformitarismo, porém, sua posição em buscar outras formas de explicação em certos casos e em certos fenômenos específicos, amplia seu alcance. Uma discussão marcante em torno dessa questão é relacionada ao processo de denudação, já que numa perspectiva catastrófica, o tempo para remoção de material dos continentes é relativamente curto, porém para o uniformitarismo esse tempo seria de longa duração, e ainda utilizavam a explicação da teoria de Hutton:

[...] rocks form below the sea, and as they are uplifted above it the structural forms develop, and fissures and fractures then dictate the way in which either the sea, or subaerial erosion, develops the river pattern. In this way both diastrophism and erosion were intimately linked and, to a considerable extent, could develop independently in different parts of the country[...] (TINKLER, 1985, p. 90)

Um ponto em comum entre as duas visões é o fato de ambas desvalorizarem a importância do intemperismo como um agente importante do processo de denudação, algo que hoje é considerado um dos fundamentos básicos das teorias geomorfológicas de formação do relevo. Mesmo a visão uniformitarista, que valoriza o fenômeno erosivo do transporte de sedimentos, carrega pouca influência entre seus pesquisadores da importância do intemperismo. Somente na segunda metade do século XIX esse tema será colocado como fundamental para o entendimento do relevo, porém nesse período inicial, o intemperismo, apesar de não ser negado como um fator relevante, não era usado como base para explicação em ambas as teorias. (TINKER, 1985).

Um dos debates internos mais importantes do uniformitarismo é relacionado ao chamado fluvialismo, que buscava entender um aspecto de exceção da teoria geral de formação denudacional do relevo, é o caso dos vales não fluviais, como o vale do

Kingsclaire e do Thames no Reino Unido, os vales centrais da França, e as cataratas do Niágara. Os estudos de hidrodinâmica dos canais teve grande evolução durante o século XVIII principalmente dentro da engenharia civil, entre pesquisadores franceses, suíços e italianos. Um dos principais nomes desse período de Pierre Du Buat (1734 - 1809) (CHORLEY, 1965) que estabelece uma série de equações de análise dos rios, classificando-os de acordo com as idades humanas (Infantil, jovem, velho). Uma de suas contribuições mais importantes é análise da velocidade dos rios como resultado do equilíbrio entre a declividade e o tamanho do canal, podendo resultar então em remoção ou deposição de sedimentos. Lyell também realiza pesquisas nessa área, apesar de não haver citação direta em seus livros aos estudos realizados pela engenharia civil, ele acaba dando continuidade a certas ideias de Playfair, Hutton e John Robinson (colega de Playfair). Analisa a diferença de velocidade vertical e horizontal dos rios, e mantém a afirmação de que os sedimentos imersos em água perdem cerca de um terço de sua gravidade específica, e a velocidade de arrasto é diferente conforme a granulometria. Uma análise de Lyell sobre o motivo de todo esse sedimento retirado das áreas mais altas não fecharem os leitos dos rios nas áreas mais baixas é vista a seguir:

This evil is prevented by a general law regulation, the conduct of running water, that two equal streams do not occupy a bed of double surface. In proportion, therefore, as the whole fluid mass increases, the space which it occupies decreases relatively to the volume of the water; and hence there is a smaller proportion of the whole retarded by friction against the bottom and slides of the channel. The proportion unimpeded moves with greater velocity, so that the main current is often accelerated in the lower country, notwithstanding that the slope of the channel is lessened. It not infrequently happens... that two large rivers, after their junction, have only the surface which one of them had previously... By this beautiful adjustment, the water which drains the interior country is made to continually occupy less room as it approaches the sea[...] (LYELL, Apud TINKLER 1985, p. 94)

Segundo Davies (1968), havia uma corrente muito forte contrária a hipótese de que os vales poderiam ser inteiramente erodidos pelos rios, que elaboraram uma série de contraposições a teoria fluvial. Um desses argumentos é relacionado a formação dos lagos, que em certos casos, principalmente quando são muito profundos, não conseguem ser explicados apenas utilizando a teoria fluvial. Segundo Tinkler (1985),

existiam ao menos cinco teorias para explicar a formação de vales no século XIX: (1) origem desigual dos depósitos; (2) escavação pelos rios presentes no vale (Hutton/Playfair); (3) elevação diferencial ou subsidência regional daquela parte da crosta; (4) escavação causada pela retração súbita do mar formando os limites continentais atuais; (5) escavação causada pelo intenso dilúvio que varreu rapidamente grande parte da terra.

Uma das paisagens analisadas para refutar e discutir a questão fluvial é a catarata do Niágara, uma área com estudos realizados desde meados do século XVIII, e que apresenta uma grande dúvida sobre sua formação, numa disputa intensa entre os catastrofistas diluviais, e os uniformitaristas fluviais, que tinha uma intensa discussão sobre esse assunto, encabeçada por Lyell e Basil Hall, um dos primeiros a elaborar uma explicação e diagramas geomorfológicos sobre a formação da área, utilizando a argumentação de uma dissecação basicamente causada pela água, e por falhamento geológico. Lyell em seu livro aponta a formação do desfiladeiro, estimando uma taxa de recessão de 1 pé por ano, sendo que a formação da mesma ocorreu nos últimos 35.000 anos, causado pela erosão da queda d'água, mas cujo fator inicial para o processo é a glaciação e a regressão marinha. (TINKLER, 1985)

Esses debates em torno da eficiência do fluvialismo como explicação válida, perdura somente até meados do século XIX, já que depois de 1840 a teoria glacial entra com grande força no debate. Durante o século XIX a teoria catastrofista passa por uma evolução em seus conceitos e visões. Os grandes fenômenos catastróficos já eram usualmente descritos desde a antiguidade: inundações, erupções, terremotos, incêndios, tsunamis, entre outros, são fenômenos que influenciam muito a formação do relevo. Porém a construção dessa linha de pensamento na Era Moderna até o século XIX foi muito influenciado pela visão bíblica cristã, e acaba construindo sua teoria do relevo em torno do dilúvio universal, acabando por deixar os fenômenos catastróficos, com grande importância na interpretação do relevo com uma participação menor nas teorias.

Um dos autores com papel fundamental nesse processo de evolução é o escocês James Hall of Dunglass ² (1761 – 1832), sendo seu estudo mais importante *On the revolution on Earth Surface* publicado em 1815, concentrado na área de Edinburgo

² Importante salientar que existe um caso de Homônimo, que também trabalha com Geologia, é o americano James Hall que viveu de 1811 a 1898.

onde realiza uma série de análises sobre a capacidade da água em transportar grandes quantidades de materiais, em eventos como tsunamis. Suas conclusões sobre a superfícies polidas da região de estudos são extremamente acuradas e bem documentadas, fazendo uma das primeiras coletas de dados de rochas, que hoje interpretamos como sendo polidas e arranhadas por processos glaciais, e que foram descritas como sendo produto de ação diluvial. Essa interpretação acabou sendo assumida por William Buckland (1784 – 1856), que defende a maior parte de sua vida a teoria do dilúvio bíblico, baseada principalmente por Curvier (1769 – 1832). Mas a mudança mais importante desse período é realizada por Murchison (1792 – 1871), que junto com Lyell acabam conseguindo pavimentar a explicação da impossibilidade de um único fenômeno de dilúvio ter provocado as transformações terrestres, propondo dessa maneira uma interpretação da ocorrência de múltiplas inundações. Seus estudos resultaram em publicações sobre o período Siluriano e Devoniano, concentrando pesquisa sobre fósseis e depósitos sedimentares. (GRANT, 2007).

A segunda metade do século XIX marca uma mudança importante para a teoria geológica e geomorfológica, a partir da construção da Teoria das Eras Glaciais. Considerada uma das mais importantes formulações para a explicação dos fatos geomorfológicos, foi realizada através de uma mistura de coleta de dados, trabalhos de campo e uma grande dose de inspiração, resultando num momento único e sem comparação para a história da pesquisa da área das Ciências da Terra. Essa grande importância deve-se ao fato que a partir desse momento consegue-se uma explicação para todas as evidências relacionada a depósitos e formas não explicadas pela teoria uniformitarista puramente fluvial.

Segundo Chorley; Dunn; Beckinsale (1964); Tinkler (1985); Gohau, (1987), essa teoria foi sendo construída pelo conhecimento das geleiras alpinas, principalmente na Suíça e na França, e passou por quatro etapas principais entre o século XVIII e XIX. No primeiro momento há a preocupação com a descrição das geleiras, principais fenômenos, e a associação com as mudanças no relevo que elas provocam. Já num segundo estágio, há uma forte descrição de formas de relevo típicas de geleiras, porém que se encontravam há alguns quilômetros de distância do início dos glaciares. Esses dois primeiros períodos são típicos do século XVIII, Scheuchzer (1672 –1733) é o primeiro naturalista a fazer uma proposta teórica sobre a escavação causada pelo movimento das geleiras, devido ao processo de degelo. Pierre Martel (1706–1767), é o

primeiro a descrever a capacidade que as geleiras tem de mover grandes blocos de rocha, carregando-os para áreas fora dos limites atuais do gelo. Saussure (1740-1799) acaba fazendo uma série de descrições e apontamentos sobre a formação e a dinâmica das geleiras na Suíça, realizando muitos trabalhos de campo. Já o terceiro período é compreendido do final do século XVIII até por volta de 1830 e 1840, quando há a comprovações de depósitos e formas glaciais distantes algumas dezenas de quilômetros das geleiras, e por fim o quarto estágio, a partir de 1840 quando é colocada a hipótese de ter existido grandes geleiras em locais completamente ausentes de fenômenos glaciais.

Uma das grandes discussões da questão glacial se dá em torno dos chamados “blocos erráticos” (*erratics*), grandes blocos rochosos de origem alpina, porém que se localizam longe dessa área. Uma dessas áreas de estudo são as Montanhas Jura, localizada na área noroeste dos Alpes, entre França e Suíça, separando os rios Ródano e Reno. As montanhas Jura são compostas de Calcário, porém são encontrados em toda sua superfície grandes blocos de granito, alguns com até 2500 toneladas, que receberam o nome de “blocos erráticos”. Saussure analisa-os sob a perspectiva catastrofista, resultando de grandes desastres e inundações, assim como Jean Andre de Luc, que classifica-os como resultante de grandes explosões vulcânicas. Somente com Hutton e Playfair que as explicações tomam forma, e de certa maneira são aceitas até hoje, os blocos erráticos foram transportados por geleiras em períodos quando o gelo recobria essa área entre o maciço central do Mont Blanc e o Jura, carregando material granítico do primeiro para o segundo. Vários autores também seguiram essa interpretação, e começa um intenso debate acerca dos blocos erráticos, encontrados e descritos em outras várias áreas do entorno dos Alpes. Porém a evolução teórica só ocorre após uma série de cinco publicações entre 1836 e 1839, na *Edinburgh New Philosophical Journal* que teve com autores os suíços Luis Agassiz (1807 -1873) e Jean de Charpentier (1786 – 1855), resultado de uma viagem para a Escócia realizada em conjunto no verão de 1836. Nesses artigos é exposta a teoria de uma Era Glacial que havia coberto a maior parte do hemisfério norte com geleiras, explicando assim depósitos de morainas e blocos erráticos, rochas polidas e pavimentos estriados em áreas sem geleiras, como nas Ilhas britânicas. Um dos principais adeptos e divulgadores dessa teoria em língua inglesa foi William Buckland, que até então seguia os princípios teóricos bíblicos em suas pesquisas. A visita de Agassiz ao Reino Unido para conferências em 1840 foi a

partir de um convite de Buckland, que faz uma série de trabalhos de campo nos Planaltos escoceses. Num primeiro momento, Lyell também adere a essa proposta teórica, e nesse mesmo ano profere junto de Buckland e Agassiz a Teoria de formação glacial nas Ilhas Britânicas num encontro geológico em Londres. (KENNEDY, 2006)

Somente a partir de 1863 começam a ser apresentados estudos considerados definitivos na defesa da teoria de uma Era Glacial. Um desses primeiros artigos é de Archibald Geikie (1835 – 1924) que comprova a impossibilidade dos depósitos na Escócia serem de origem marinha, e posteriormente seu irmão James Geikie (1839 – 1915) publica o livro *The Great Ice Age* em 1874. Esse livro é considerado um marco para a teoria Glacial, com a apresentação de mapas e dados sobre glaciação nas Ilhas Britânicas, Escandinávia, Suíça, Itália, Canadá e Estados Unidos, e também sobre o efeito do rebaixamento de nível do mar, primeiramente descrito por Thomas Francis Jamieson (1829-1913). Na segunda edição de seu livro, Geikie é enfático em negar a teoria de Lyell sobre a explicação da submergência marinha, além disso, apresenta as teorias de seu amigo, James Croll (1821 – 1890), que analisa o fenômeno da variação da excentricidade da órbita terrestre e sua influência nas mudanças climáticas, sendo uma das causas da diminuição drástica da temperatura que resulta nas Eras Glaciais, e no aumento de temperatura nos Interglaciais. O primeiro cientista a apresentar essa teoria de um controle astronômico dos movimentos da Terra sobre o clima terrestre foi Joseph Alphonse Adhémar (1797–1862), ambos (Adhémar e Croll) serviram de base para a teoria dos ciclos astronômicos proposta por Milutin Milanković (1879 – 1958), conhecida genericamente por ciclos de Milankovich. Na terceira edição de seu livro, Geikie apresenta a proposta teórica de ter ocorrido ao menos seis grandes glaciações, separadas por períodos interglaciais. (KENNEDY, 2006; GATES, 2003).

A Europa é o centro de profusão da ciência moderna, de onde surgiram as principais teorias geológicas e geomorfológicas. Pesquisadores de vários países estiveram envolvidos em grandes debates e na construção de linhas de pesquisa e linhas de explicação sobre as formas do relevo, principalmente na Europa ocidental. Porém no final do século XVIII tem início a formação de um novo centro de difusão científica, os Estados Unidos. Projetando sua evolução política e econômica com a Guerra de Independência (1775 – 1783), e estabelecendo sua união interna após a Guerra de Secessão (1861 – 1865), a pesquisa científica foi amplamente incentivada.

Principalmente com a fundação de Universidades ainda durante o período colonial (nas colônias do Norte, de povoamento, com maior liberdade).

Até 1818, com a publicação do primeiro jornal de divulgação científica dos Estados Unidos, o *The American Journal of Science*, fundado por Benjamin Silliman, as teorias mais aceitas eram ligados aos processos diluviais, tais como propunha Lewis Evans (1700 – 1756), considerado um dos primeiros pesquisadores da área da Geologia na América do Norte, sendo autor do *Map of the Middle British Colonies*, contendo informações geológicas que auxiliariam bastante as pesquisas posteriores feitas principalmente nos Apalaches (WHITE, 1978).

Dessa maneira, a evolução do pensamento nos Estados Unidos ainda não havia aproveitado de toda a evolução ocorrida na Europa:

The heroic Age of Geology at the beginning of nineteenth century in Britain and Europe saw only pale reflections in North America, and in the Study of Landforms there was no recognition of the work of Hutton and Playfair; dilluvialism ruled supreme. (TINKLER, 1985, p. 136).

Somente no início do século XIX começam a aparecer cientistas que buscam um melhor entendimento das principais ideias divulgadas na Europa. Um importante passo no intercambio de ideias entre os dois centros é a publicação em 1830 do livro *Principles os Geology*, e a posterior visita de seu autor, Charles Lyell, entre 1841 e 1842 nos Estados Unidos e Canadá. Nessa visita, Lyell realizou uma série de conferencias em Boston, Nova York e Philadelphia, além de fazer uma série de trabalhos de campo. Um dos grandes passos para a evolução do conhecimento geológico americano foram as pesquisas financiadas pelo governo, que consistiam em trabalhos de campo para reconhecimento e busca de dados sobre o território, principalmente no período do expansão para o oeste americano, após a guerra civil. Áreas como a bacia do rio Mississipi, os cânions do colorado, e as montanhas rochosas. No início sob a tutela de uma expansão militarizada é relevante a contribuição de John Wesley Powell, que realizou duas grandes viagens pelo Rio Colorado na área do Grand Canyon (em 1869 e 1871), sendo que seus principais resultados são publicados numa série de artigos que acabam versando principalmente sobre os mecanismo do fenômeno erosivo, uma busca de classificação do relevo e o desenvolvimento de seu principal

conceito teórico, o nível de base. O nível de base é um conceito utilizado até hoje, muito popularizado por Davis, e que pode ser definido como “...a limit to progressive denudation such that ‘no valley can be eroded below the level of the principal stream, which carries away the products of its surface degradation’.” (TINKLER, 1985: 142).

Após 1879 as missões geológicas passam a ser realizadas pela recém fundada *United States of Geological Survey* (USGS), que gradativamente torna-se a principal instituição de pesquisa e divulgação sobre a Geologia e Geomorfologia nos Estados unidos. Um dos assistentes de Powell em seus trabalhos foi o geólogo Grove Karl Gilbert (1843 – 1918), cujos trabalhos são fundamentais para a geomorfologia americana, embora não tenha seguido carreira acadêmica, e não tenha formalizado uma “escola” a partir de seus estudos, na segunda metade do século XX muitos de seus trabalhos foram “redescobertos” e alçados a uma importância única para a geomorfologia. Uma das noções apresentadas por Gilbert de grande relevância é relacionada a questões isostáticas, sendo considerado o primeiro a reconhecer a aplicabilidade do conceito de equilíbrio dinâmico, que é melhor difundida somente meio século depois. Além disso, Gilbert enfatiza a importância de realizar os estudos sobre os fenômenos e formas do presente em detrimento da busca pelo passado geológico, uma tendência que somente é reforçada também na segunda metade do século XX. (KENNEDY, 2006)

A visão de Gilbert sobre a evolução do relevo era dominado por um dos principais paradigmas do século XIX, a Termodinâmica, estabelecida a partir dos trabalhos de cientistas como Sadi Carnot (1796 – 1832), Willian Thompson, também chamado de Lord Kelvin (1824 – 1907), Willard Gibbs (1839 -1903), entre outros. O modelo desenvolvido por Gilbert ao longo de seus trabalhos é baseado na conservação de energia, um princípio que faz parte da primeira lei da termodinâmica, aplicado principalmente para a análise do perfil de equilíbrio dos rios³. (BAKER;PYNE, 1978)

Os trabalhos de Gilbert são focados na chamada Geomorfologia Dinâmica, podendo ser considerado um dos fundadores desse tipo de estudo (PYNE, 1975), ao realizar trabalhos extremamente detalhados sobre os fenômenos físicos e químicos que dominam a produção do relevo através da dinâmica fluvial, em Geomorfologia Costeira, e em Geomorfologia Glacial. Seus estudos foram voltados para uma produção técnica

³ Busca estabelecer o padrão de equilíbrio longitudinal de um rio, utilizando dados de erosão e sedimentação para verificar um possível estado estacionário de um curso de água.

da engenharia, sendo pouco difundido, sendo inclusive utilizado por Davis em alguns de seus trabalhos, porém de maneira pouco aprofundada, apenas como elemento de citação

[...] his philosophy of dynamics geomorphology was soon to suffer a temporary, if prolonged, eclipse. Compared with the oversimplified model on Davis's cycle of erosion, which was explicitly constructed as a teaching device. Gilbert's geomorphic model was to a large extent implicit in his more extensive scientific monographs that were ostensibly concerned with more specialist matters. (CHORLEY, BECKINSALE, 1980)

A figura de Gilbert não é tão difundida e conhecida no século XIX, e só vai apresentar maior relevância no cenário acadêmica após a década de 50, quando alguns de seus estudos são reanalisados e utilizados em grande medida pela geração da Geomorfologia fluvial americana, numa inversão da importância que havia até então entre Gilbert e Davis.

4. SOBRE PERMANÊNCIAS E MUDANÇAS

4.1 Raízes da Geomorfologia Americana

O contexto do fim do século XIX para a ciência em geral, e especificamente para a Geomorfologia é extremamente elucidativo sobre a sua evolução. A lenta construção de uma base teórica iniciado por Hutton já estava completamente sedimentada na formação acadêmica dos Geólogos, cujas explicações eram bem difundidas, principalmente sobre as mudanças climáticas, glaciações, os movimentos da crosta (principalmente a epirogênese) e o vulcanismo. Havia uma base teórica farta para a elaboração da teoria que é considerada como a primeira puramente geomorfológica, o Ciclo Geográfico de William Morris Davis (1850 – 1934).

A obra de Davis é vasta, e somente a análise de seus escritos seria tarefa para uma pesquisa a parte, seja pela quantidade ou pela influência que ele causou no mundo científico, e principalmente na Geografia e Geologia Americana. Uma grande parte de sua interpretação é resultado de pesquisas e análises dos rios e vales fluviais na Pennsylvania, uma área de clima temperado úmido nos Apalaches dos Estados Unidos. As ideias centrais do seu Ciclo Geográfico foram publicadas em artigos em 1884, 1885, e 1889, mas são formalmente anunciadas e divulgadas em larga escala a partir de 1899 no seu artigo “The Geographical Cycle”, que não traz uma interpretação completamente nova sobre o relevo, mas consegue unir em uma só teoria uma série de interpretações esparsas, como as pesquisas de Gilbert sobre erosão no oeste americano, a noção de nível de base de Powell, noções de epirogênese, e congregando em uma nova terminologia: “The complete cycle of River Life: Youth, Adolescence, Maturity and Old Age”. (DAVIS, 1889, p.203).

O ciclo geográfico, apesar de seu caráter acadêmico e de Davis ser um homem voltado para a pesquisa, tinha uma óbvia qualidade pedagógica, o que também ajudou muito sua propagação como um modelo amplamente aceito. A construção de uma teoria é complexa e envolve muitas etapas, sendo que o modelo criado por Davis não é uma simples classificação de formas, mas sim um esquema de inter-relação entre diversos

fenômenos que compõe a explicação de diversas formas do relevo, de acordo com informações da paisagem e da geologia.

[...] the scheme of the cycle is not meant to include any actual examples at all, because it is by intention a scheme of imagination and not a matter for observation; yet it should be accompanied, tested, and corrected by a collection of factual examples match just as many of its elements as possible. (DAVIS, 1909 apud CHORLEY, 1965, p.23)

A teoria davisiana deve ser considerada muito mais próxima de uma concepção filosófica do que um modelo de processos físicos. Seu Ciclo Geográfico é um modelo, que acaba sendo em grande medida aceito como explicação geral do modelado do relevo pela ação fluvial, e é composto por pelo menos 3 importantes fases, a de juventude, quando o relevo ainda apresenta uma topografia alta, com rios com canais ainda pouco proeminentes (dividia em infância e adolescência), a segunda fase é a maturidade, quando o trabalho dos rios realizou efetivamente erosão no relevo, aumentando os canais em profundidade e largura, e chega-se a uma terceira fase que é a de senilidade, quando forma-se o peneplano, uma área caracterizada por sua topografia plana, resultado da ação do sistema fluvial, o ciclo pode ter um reinício a qualquer momento, com a ocorrência de fenômenos tectônicos, previstos por Davis como sendo rápidos e de grande intensidade. (CHORLEY, 1965).

Outro importante aspecto da teoria diz respeito a cronologia de denudação, uma característica intrínseca ao método de explicação do relevo proposto por Davis:

Their aim was to identify the sequence of stages of erosional development that demonstrated how contemporary landscape had been sculptured from hypothetical initial fairly uniform and featureless topographies... sought to identify evidences of past planation surfaces and erosional levels in a landscape, in whatever way they formed, and to place them in a time sequence. (GOUDIE, 2011, p.28)

Esse é o principal motivo para a identificação dessa teoria como sendo de característica “histórica”, pois busca entender dentro de um padrão evolutivo as sequencias de transformação do relevo pela denudação, refazendo sua história. Outro importante aspecto de contextualização da formulação da teoria de Davis é a

efervescência do meio intelectual da época (segunda metade do século XIX) com a teoria da evolução de Darwin e Wallace, que passa a ser discutida e aplicada também fora da biologia. Davis é influenciado dessa maneira, elaborando sua teoria como uma evolução do relevo, implicando a interpretação dos processos envolvidos numa proposta de mudanças irreversível e inevitável de um estágio ao outro, em uma contínua sequência de transformações, inclusive nomeando os períodos do ciclo com etapas da vida. Davis também teve uma grande capacidade em realizar e refazer suas propostas para o ciclo geográfico, modificando sua visão sobre a peneplanação e o estágio de juventude (em artigo de 1922), reconhecendo as grandes diferenças entre a análise do ciclo em ambientes úmidos e áridos (em artigo de 1930), e inserindo análises sobre “sub-ciclos”, aplicados a ambientes áridos e também glaciais (KENNEDY, 2006).

Segundo HIGGINS (1975), o sistema de Davis tornou-se tão difundido e utilizado, apesar de todas as críticas aplicadas, por uma série de motivos, como a sua simplicidade na apresentação, o que torna-o facilmente assimilável e utilizado nas salas de aula; suas explicações são sempre fartamente baseadas em uma grande quantidade de observações de campo, sempre buscando contextualizar sua explicação com algum dado real; ele compila uma série de conhecimentos geológicos já amplamente aceitos, e que de certa maneira não haviam sido relacionados em uma teoria única, preenchendo um vazio deixado desde as grandes teorias de Hutton e Lyell; ele busca ser racional, embasado no paradigma presente de seu tempo (a evolução); e por ser cíclico, ele não precisa de um início ou um fim, é um processo contínuo na terra, funcionando quase como um dado natural sobre o funcionamento do planeta.

A construção de sua teoria envolveu a utilização de termos em uma forma mais precisa, auxiliando a popularizar uma terminologia, principalmente com os “ciclos” (tema central de seus estudos); o “Peneplano” (estágio final do relevo em seu ciclo); a aplicação do termo equilíbrio (*grade*) aos rios, e as análises do perfil longitudinal. Todos os termos já eram utilizados, porém sem uma sistematização, dessa maneira, pode-se entender como a formalização de uma terminologia nova, ou pelo menos, uma que seja mais específica e direcionada para certos pesquisadores da Geomorfologia, termos voltados para uma análise morfológica em detrimento da tradição puramente geológica, inicia-se dessa maneira um movimento ainda muito prematuro de separação entre a Geomorfologia e a Geologia.

A divulgação e inserção da terminologia e teoria de Davis no meio acadêmico ocorreram de maneira muito heterogênea, apesar da aparente rápida aceitação, muitos cientistas fizeram duras críticas à utilização do modelo. A França é um dos primeiros países a abraçar as ideias davisianas, que eram extremamente bem avaliadas em artigos de Albert-Félix de Lapparent (1905–1975) e principalmente na classe da nascente Geografia lablachiana, com Emmanuel De Martonne (1873 – 1955), Emmanuel de Margerie (1862 – 1953), e Henri Baulig (1877 – 1962). Davis realiza uma série de leituras na Sorbonne entre 1911 e 1912, ajudando a aplacar sua influência. O Reino Unido também apresenta forte receptividade para suas ideias, onde é utilizado em artigos, inclusive de Halford Mackinder. Depois da Primeira Guerra Mundial, sua aceitação é quase plena nas universidades, e em 1939 é apresentado um dos principais estudos utilizando os preceitos Davisianos, *Structure, Surface and Drainage in South-East England*, de Wooldrige e Linton. Essa influência é levada também para outros países do império britânico, como a Nova Zelândia e Austrália com Charles Cotton. Davis consegue inserção de sua visão teórica até mesmo no Japão, após realizar uma série de viagens para a Europa com Yamasaki e Tsujimura da Universidade de Tokyo, sendo seus livros de elementos básicos de Geografia Física traduzidos para o japonês em 1930. (TINKLER, 1985).

Nos Estados Unidos, onde Davis era professor da Universidade de Harvard, e ocupava os cargos de presidente da *Geological Society of America* e da Association of American Geographers (da qual foi fundador), sua influência era enorme, pesquisadores como Bowman, Salisbury Atwood e Fenneman eram defensores e aplicadores de sua teoria. Mesmo quando recebia críticas, Davis sabia assumir e modificar alguns pontos de sua teoria, ajudando assim a aumentar a longevidade de seu esquema. Foram várias as adaptações feitas a sua teoria “pura”. Uma de suas mudanças é em relação à erosão glacial, inicialmente subestimada, mas que em 1906 aparece em um artigo sobre *The sculpture of Mountains by Glaciers*, ou a ideia de “ciclo costeiro”, aplicado por Gulliver (1899) e Johnson (1919). Davis em 1905 publica o artigo *The Geographical Cycle in Arid Climates*, numa adaptação que parte de uma crítica de Passarge aos problemas da aplicação do sua base teórica nesses ambientes. Na década de 20, Davis realiza outra adaptação utilizando o conceito de “pedimento” para essas áreas, baseado em pesquisas de McGee (1897), Lawson (1915) e Bryan (1922). Na área dos trópicos úmidos, Wayland (1933) é um dos primeiros a realizar um estudo aplicando ideias Davisianas, e

acaba criando um termo específico sobre a morfologia a partir de suas análises cíclicas, o “etchplano” (CHORLEY; BECKINSALE; DUNN, 1973).

O país que praticamente rechaçou o esquema Davisiano por inteiro foi a Alemanha. Passarge, Hettner, Albrecht e Walter Penck escreveram vários artigos críticos a essa proposta. Hettner em 1921 publica o livro *The surface Features of the Earth*, especificamente para rechaçar a visão Davisiana, e alertar os pesquisadores alemães sobre os problemas que ela carregaria. O desenvolvimento acadêmico da Geomorfologia na Alemanha segue uma construção teórica que aos poucos vai se individualizando de uma linha Anglo-Americana. A Geomorfologia Alemã teve uma forte influência da tradição dos naturalistas, como Humboldt e Goethe, que introduz a ideia de morfologia na análise do espaço, e volta-se para o estudo da morfologia da paisagem, que segundo Abreu (1982, p.21 e 22):

As posturas naturalistas valorizadas pela herança de Goethe e de Humboldt, imprimiram um direcionamento mais para a observação e análise dos fenômenos em um contexto onde a Geomorfologia se relacionava de maneira mais intensa principalmente com a petrografia, química de solo, hidrografia e climatologia. Logo no início a cartografia é mobilizada como um dos instrumentos fundamentais para o pesquisador, o qual tem na observação o centro de seu interesse.

Na Alemanha, no final do século XIX, surge uma linha de pesquisa nova na interpretação física do Mundo, principalmente com Supan (1884) e Koepen (1901), que refletem sobre a possibilidade da classificação de regiões climáticas, baseados na Fisiografia, Biogeografia e dados climáticos. As pesquisas da Geomorfologia voltam-se cada vez mais para as influências do clima na transformação do relevo, o que viria a ser genericamente chamado de Geomorfologia Climática. Um dos primeiros nomes dessa linha foi de Albrecht Penck, que busca em suas pesquisas entender se os diferentes climas poderiam criar diferentes tipos de processos, e tipos de relevo. Em sua pesquisa existe o reconhecimento de diversos ambientes, que produzem fenômenos em regimes: úmido, nival, e árido. Há também uma atenção especial aos casos de transição (como o regime periglacial e o semi-árido) e a formação cárstica. (CHORLEY; BECKINSALE; DUNN, 1973; ABREU, 1982.). Sua atenção é muito maior em relação aos processos do

que as formas, sendo dessa maneira: “... Penck deserves equal recognition with Gilbert as a founder of the modern school of process geomorphology” (TINKLER, 1985: 155).

As suas publicações incompletas de Penck (devido a sua morte aos 35 anos, não terminou nem publicou em vida seus trabalhos, cabendo a seu pai realizar esse trabalho) foram lidas por Davis, que acreditava terem grande validade e proximidade com suas ideias, apesar de pontuais discordâncias, como em relação a retração das “declividades”, que foram mal interpretadas por Davis, que as aplicou ao ambiente úmido, e não ao árido como pensada inicialmente por Penck. (ABREU, 1983; GAMA; DIMUSCIO, s.d.)

Atualmente é mais fácil rechaçar o esquema davisiano, utilizando-se da Tectônica de Placas, que reina como padrão absoluto nas explicações sobre as mudanças estruturais no relevo. Davis utilizava em seu ciclo a visão do “rejuvenescimento” principalmente provocado pela isostasia, a perda de material, faz a crosta subir lentamente. Os limites de placas hoje são a chave do entendimento de que a crosta está continuamente se formando e sendo destruída em certas áreas, provocando além da isostasia e do movimento epirogenético, a orogênese. A obra de Davis é vasta e deve ser analisada sem preconceitos e rasas atribuições, como se ao chamar alguém de estar sendo “davisiano”, estivesse buscando detratar os argumentos de alguém e ofender o interlocutor.

Mesmo com um arcabouço teórico favorável, com todas as modificações realizadas por Davis, e com uma grande quantidade de geomorfólogos davisianos inserido em grandes universidades pelo mundo, as críticas foram intensas e expuseram as deficiências desse modelo perante as novas perguntas feitas num novo tempo. O século XX do pós-guerra busca respostas objetivas, claras, são perguntas que buscam saber muito mais sobre dados físicos e absolutos do que sobre o funcionamento e sua história. O ciclo de Davis entrou em colapso já que nessa nova etapa do século XX:

A geographer does not want to know that a stream is “mature” but what discharges have been recorded for it, not that a river terrace may possibly represent an interglacial event but information regarding its dimensions and composition, not a slope form may indicate the poly—cyclic origin of the valley but details of its geometry and soil characteristics. (CHORLEY, 1965: 35-36)

4.2 – A Geomorfologia quantitativa

O fenômeno em estudo é a transformação ocorrida na Geomorfologia a partir de meados do século XX, iniciada no fim dos anos 40, e que teve seu auge na década de 50, principalmente nos países anglo-saxões, principalmente Estados Unidos, e em menor medida, alguns pesquisadores de países europeus que tentaram fazer essa difusão como Reino Unido, Alemanha e Suécia. A teoria de Davis passa por um rápido declínio em meados do século XX, quando uma geração de pesquisadores, principalmente americanos e britânicos, passa a questionar seus princípios gerais e principalmente a dinâmica das pesquisas realizadas até então. Esse momento é considerado como um período de crise, que apresenta uma ruptura epistemológica, resultado da construção de um novo paradigma para a geomorfologia (ABREU, 1982, 1983; VITTE, 2009, 2011).

Uma primeira questão é a denominação desse fenômeno, já que a literatura da área não é unívoca, podendo receber alguns nomes diferentes. A identificação desse objeto pode receber o nome de “Geomorfologia de processos” (RHOADS and THORN, 2006), devido sua grande ênfase em análise dos processos geomórficos; também é chamada de “Geomorfologia Moderna” (STODDART, 1997), seguindo o sentido de calcar sua importância fundante de uma nova fase para a pesquisa; outra nomenclatura importante, que acaba fixando mais uma de suas características do que nomeando o fenômeno em si é *Reductionist revolution* (KENNEDY, 2006; CHURCH, 2010); Porém a nomenclatura mais utilizada (usada ainda hoje em alguns cursos e matéria em universidades americanas), e de certa maneira mais polêmica, é a denominação de “Geomorfologia Quantitativa” (MORISAWA, 1988; STRAHLER, 1992; CHORLEY, 2008). A dificuldade também está no fato que muitas vezes um mesmo autor utiliza duas denominações no mesmo texto, tentando enfatizar alguma característica de seu interesse de análise, como em STRAHLER (1992), que utiliza o binômio Geomorfologia dinâmica/quantitativa.

Um dos sentidos em chamar essa transformação de *Reductionist Revolution*, vem do fato de que essa abordagem valorizou a visão da mecânica newtoniana, optando por uma série de práticas de pesquisa em relação ao relevo e aos processos geomorfológicos, que reduzem a realidade a uma série de leis, em uma interpretação fortemente influenciada pelo positivismo.

“What I mean by reduction is the attempt to isolate each independent causative or process variable of the several or many that act in concert to explain a landform. We study each two-variable function in isolation of others, then line them up in a multivariate equation to determine the contribution that each makes to the form we observe.” (STRAHLER, 1992: 75-76)

Essa transformação foi embasada em uma série de mudanças, que ocorriam na ciência na segunda metade do século XX, tais como o aumento da capacidade e acuidade de medições e datações, cada vez mais precisas; a mudança geral na aceitação da teoria da Tectônica de Placas como explicação fundamental para a evolução do relevo; a ênfase nos impactos causados pelas frequentes mudanças climáticas no ambiente como um todo, e também no relevo; e as evidências sobre processos geomorfológicos vindo da observação de outros planetas do sistema solar, que ajudam na criação de uma teoria mais generalista. (KENNEDY, 2006).

A diversidade de nomes de acordo com autores diferentes que analisam um processo é comum, porém, nesse caso, a dificuldade de criar uma nomenclatura usual e amplamente aceita advém da própria natureza das mudanças ocorridas nesse período, cheio de aspectos positivos e negativos. Porém há uma concordância em todos os termos, já que o aspecto que ajuda em sua definição, com certeza é sua natureza quantitativa, sendo que o nome em si é carregado de polêmica, assim como é a denominação “Geografia quantitativa,. É interessante notar que os nomes na língua inglesa são diferentes, *Theoretical Geography* e *Quantitative Geomorphology*, e acabam sendo cristalizados em português, ambas como “quantitativas”. Uma reflexão importante é que não é somente nesse momento que os cientistas ligados à geomorfologia começaram a utilização de métodos quantitativos, esse tipo de análise é antiga, e esteve presente praticamente durante toda a história desse conhecimento. Deve-se então interpretar que a nomenclatura não busca mostrar uma exclusividade na utilização de métodos quantitativos, e sim, mostrar a mudança de tendência ocorrida nesse momento, de uma Geomorfologia dominada até então pela tradição davisiana, mais descritiva, fazendo o uso de categorias como a de fisiologia da paisagem, e da busca de explicações de casos, sempre analisados sob a luz da grande teoria de Davis. A mudança de tradição é enorme, e a nova ênfase é muito mais no aspecto quantitativo, no entendimento das várias dinâmicas geomorfológicas em suas características individuais,

do que na busca de uma grande teoria explicadora do relevo, a busca agora se dá para o entendimento dos fenômenos que controlam o modelado do relevo.

A nomenclatura, “quantitativa”, pode ser posta em discussão verificando-se outras tendências que surgem também no pós guerra, como os trabalhos de SCHEIDEGGER (1961), que em sua *Theoretical geomorphology* enfatiza um estudo diferenciado da tradição que se consolidava, numa análise quase completamente voltado para uma morfometria pura e teórica, em uma linguagem matemática, e pouco acessível, que pouco evolui dentro da tradição geomorfológica.

A Geomorfologia quantitativa representa uma das grandes linhas de pesquisa da segunda metade do século XX, enfatizando uma metodologia que hoje é muitas vezes predominante em relação a uma “velha geomorfologia”. Quase toda a sua base de pesquisas foi principalmente realizada na área fluvial, onde a ligação com a Engenharia e a Geologia foi enorme, num grande projeto interdisciplinar que resulta numa bem acabada linha de influencia para muitos projetos e trabalhos.

Uma contextualização importante desse período, que nos ajuda a entender alguns dos motivos que levaram ao desenvolvimento dessa estrutura que consolida uma nova linha de pesquisas em torno da análise quantitativa é a segunda Guerra mundial, que é um fato marcante para a história do mundo, um divisor de águas no século XX em relação a geopolítica, economia, costumes, cultura, etc. Entre 1939 e 1945 a Europa, Ásia e Norte da África passaram por sangrentas batalhas, a Segunda Guerra marca também o início da Guerra Fria, em que até 1991, existe como uma contínua relação estremecida das forças capitalistas e socialistas, que investem de maneira pesada em tecnologia. As grandes influências da guerra na tecnologia são largamente explicitadas, e em grande medida seu uso foi direto nas ciências da Terra, como no caso do desenvolvimento de foguetes cada vez mais potentes que possibilitaram a colocação de satélites em órbita (sendo o Sputnik o primeiro a ser lançado em 1957), modificando completamente os estudos e pesquisas até então realizados com a introdução das imagens de satélites e radares na identificação e mapeamento de feições geomorfológicas. (HOBBSAWM, 2011).

O período da Segunda Guerra e a Guerra Fria estabelece uma questão muito clara para os cientistas, a necessidade de respostas práticas e pragmáticas, que fossem úteis para os Estados em suas questões bélicas, mas também para a organização interna

de sua sociedade. Há uma mudança clara em relação às práticas científicas, e também ao financiamento proposto pelos Estados, que passam a deixar de valorizar certas áreas consideradas pouco úteis para esse período. De certa maneira essa desvalorização da Filosofia, Artes, e Ciências humanas (excluindo aí a parte da linguística, muito útil para a programação de computadores e a economia e outras ciências humanas que usam largamente a matemática) ocorre até os dias atuais, essa tendência iniciada com força no período de guerra, acabou tornando-se padrão de investimento em pesquisas, aquilo que dá maior retorno, financeiro ou tecnológico, é mais valorizado; aquilo que oferece retorno apenas social ou intelectual é deixado de lado. (RITTER, 1988; CHORLEY, 2008)

A Geografia apresenta-se nesse contexto de maneira bem heterogênea. Marcado o início da chamada *New Geography*, com suas bases construídas no Empirismo Lógico (neopositivismo), teve grande inserção nessa nova visão de ciência produtivista, com o uso e desenvolvimento de modelos e novas metodologias mais quantitativos. A Geomorfologia também passa por esse processo, culminando na criação de uma série de eventos que evidenciam essa nova fase, marcada por uma busca da aplicação da análise de sistemas, métodos estatísticos e a construção de modelos matemáticos, a expansão dos estudos ambientais (também realizado pela Engenharia em outras ciências da terra) e a utilização de mapas com maior precisão, de escalas maiores e com mais detalhes (TINKLER, 1985).

De maneira geral, todas essas mudanças e evoluções tem relação direta com sua aplicação, principalmente militar, a busca de precisão maior nos mapas é uma clara evidência desse processo, ao buscar melhores bases para os ataques, descobrir bases militares inimigas, estudar e analisar melhores pontos para construções, organizar o espaço para planejar sua defesa, entre outras tantas utilidades que o espaço apresenta para a guerra, bem analisado pela Geografia, em seu sentido geopolítico de que a dominação dos territórios passa com certeza pelo conhecimento aprofundado do espaço (LACOSTE, 1973).

A principal influência da Segunda Guerra Mundial nas ciências pode ser definida como uma mudança da destinação das verbas de pesquisa. Se há mais interesse em certas áreas, a verba destinada será muito maior, possibilitando pesquisas e atingindo resultados práticos. Essa mudança atinge diretamente a Geomorfologia, há um

enorme remanejamento de verbas para que os setores mais úteis (para a guerra) fossem mais estudados e desenvolvidos, tal como a cartografia.

Pearl Harbour, December 7 1941, brought many abrupt changes in academic programmes and lifestyles. Field work and teaching field trips were severely curtailed by gasoline rationing. Graduate enrolments fell off drastically. My lectureship at Columbia continued until 1944, but much of my teaching effort in the war years was diverted to Columbia courses in military cartography for employees of the Army Map Service and to a geomorphology course for faculty officers of the Department of Military Topography and Graphics at the US Military Academy in West Point. (STRAHLER, 1992, p. 67)

Dessa maneira, um novo padrão é estabelecido na ciência, sendo um marco da chamada ciência moderna, numa interpretação muito mais voltada para as práticas científicas do que para as teorias produzido, valorizando mais a forma do que o conteúdo. A Geomorfologia e a Geografia abrem a década de 50 numa intensa transformação, que modificará completamente aquilo que vinha sendo feito, resquícios ainda do final do século XIX, da institucionalização da Geografia e da predominância de Davis.

4.2.1 A INFLUENCIA DE HORTON E MACKIN

Existe uma visão majoritária, quase um consenso, que o autor mais importante para o início do processo de renovação da geomorfologia foi o engenheiro hidráulico, membro da USGS, Robert Elmer Horton (1875 – 1945). (LEOPOLD at All, 1964; SALISBURY, 1971; KENNEDY, 1978, 1992; DURY, 1983; MORISAWA, 1985; CHORLEY, 1995, 2008; RHOADS and THORN, 2011).

Horton nasceu em 1875 em Michigan, se formou em 1897 como bacharel em ciências no Albion College, e entrou em 1900 na USGS, onde fez carreira como engenheiro e entre 1896 e 1945 teve cerca de 80 publicações (considerando que algumas de suas publicações foram póstumas) direcionadas para a área da hidráulica. Seus estudos tiveram como principal preocupação a análise do *runoff* e enchentes, buscando entender como a água dos lençóis freáticos e as chuvas influenciam no controle desse sistema. Sua sistematização de vários processos físicos, fez com que

tivesse papel importante para a criação de metodologias de análise, que buscam utilizar um complexo sistema, separado em diversos elementos que controlam o sistema hidráulico, tais como infiltração, evaporação, interceptação, transpiração, escoamento superficial, escoamento subsuperficial, entre outros. (LEOPOLD, 1974, HALL, 1987; PAYTNER, s.d.).

O resultado principal de seu trabalho é um grande artigo, resumindo várias de suas contribuições e estudos, publicado no *Bulletin of Geological Society of America*, em março 1945, um mês antes de sua morte em 22 de abril de 1945. Nesse artigo Horton utiliza da Lei de Playfair, com princípios hidrofísicos, que mesmo simples, são conjugados e utilizados a para a compressão da ordem e importância dos canais de drenagem e interflúvios na hierarquia de rios (MORISAWA, 1985; CHORLEY, 1995). Apresentou uma base de descrição morfométrica segura e exata, um novo tipo de análise sobre áreas erodidas por sistemas fluviais, e teve uma nova interpretação sobre o sistema de canais e ordem de bacias, desenvolvendo quatro leis/princípios nessa área. Embora não haja um consenso sobre a utilização do termo “lei” para o desenvolvimento realizado por Horton, o mesmo utiliza-se dessa terminologia em alguns casos, sendo que hoje é comum a apresentação das “leis de Horton” em trabalhos de Hidrografia e Hidrologia, a utilização de “princípios” ao invés de leis também é comum, e demonstra uma atitude mais modesta em relação a sua importância, que sofreu diversas influências e modificações após sua morte. (CHORLEY, 2006)

A contribuição de Horton pode ser sumarizada na elaboração de quatro leis/básicas da questão hidrodinâmica (HORTON, 1945; SCHEIDEGGER, 1968; PAYTNER; KIRCHNER, 1993; CHORLEY, 1995). Fazendo extenso estudo sobre a medição de variados índices hídricos (comprimento, área e forma da bacia), chega-se às seguintes formulações: do número de canais; do comprimento de canais; da declividade de canais; e da área da bacia de canais.

O trabalho de HORTON (1945) acaba realizando uma compilação de diversos outros escritos seus, da maneira que de 32 referências do texto, nove são para seus trabalhos anteriores. Doze desses referências são para pesquisadores de agências governamentais, como o *US soil conservation*, engenheiros e físicos. Poucas são referências à geomorfologia tradicional, há uma única referência à Davis, uma à Wooldridge e Morgan, uma à Cotton (ambos seguidores das teorias de Davis), e duas

referencias à G.K. Gilbert. Existe uma forte interação com a tradição que Gilbert não conseguiu estabelecer de maneira majoritária no pensamento geomorfológico, de enfatizar os processos na formação do relevo, sendo solapsado por Davis.

It is abundant clear that Horton's approach to geomorphology was almost wholly original and owed little to previous geomorphic scholars. His obvious affinity with the work of Gibert was largely intuitive, steaming from their background in engineering science. (CHORLEY, 1995: 533)

Em seus objetivos gerais, Horton mostra que a tradição Davisiana, até então plena nos estudos geomorfológicos americanos, não oferecia as respostas que ele procurava, mais exatas, e com maior peso em relação aos processos. Sua busca em análises matemáticas, com largo uso da Geométrica não era dominante na Geomorfologia.

In spite of the general renaissance of science in the present century, physiography as related in particular to the development of land forms by erosional and gradational processes still remains largely qualitative. Stream basins and their drainage basins are described as "youthful," "mature," "old," "poorly drained," or "well drained," without specific information as to how, how much, or why. This is probably the result largely of lack of adequate tools with which to work, and these tools must be of two kinds: measuring tools and operating tools. (HORTON, 1945: 281)

Ainda era largamente utilizada as denominações do relevo como jovem ou maduro, propostas por Davis, inseridos em um tipo de pesquisa que não resultava nos dados buscados por Horton, principalmente na temática de estudos hídricos, principalmente relacionados à drenagem e bacias hidrográficas, sendo o objetivo principal de seu trabalho:

One purpose of this paper is to describe two sets of tools which permit an attack on the problems of the development of land forms, particularly drainage basins and their stream nets, along quantitative lines. An effort will be made to show how the problem of erosional morphology may be approached quantitatively, and even in this

respect only the effects of surface runoff will be considered in detail.
(HORTON, 1945, p.281)

O trabalho foi dividido em cinco partes. A primeira parte (e mais extensa), chamada de *Quantitative physiographic factors*, cuida da análise de questões topográficas e geométricas na análise de terrenos dissecados pelo sistema fluvial, funcionando como uma grande introdução, explicitando os parâmetros utilizados, e sua forma de medição.

Um dos principais objetos de medida utilizada por Horton foi o ordenamento de canais, baseado numa ideia do engenheiro hidráulico Gravelius (CHORLEY, 1995: 535), nesse sistema de classificação dos canais de uma bacia hidrográfica, os canais de primeira ordem todos os que não possuem rios tributários, os canais de segunda ordem são aqueles que apresentam rios tributários de primeira ordem apenas, os canais de terceira ordem recebem rios tributários de segunda ordem, ou de primeira ordem, os rios de quarta ordem recebem tributários de todas as ordem inferiores, e assim sucessivamente. Uma forte crítica recebida por Horton sobre essa análise que segue alguns critérios subjetivos, é em relação ao estabelecimento de um rio principal, que é sempre o rio de maior ordem, e acaba recebendo essa ordenação em toda sua extensão.

A segunda parte do trabalho é intitulada *Infiltration theory of surface runoff*, e basicamente vai analisar a composição de equações sobre o controle do *Runoff*, através da água proveniente de infiltração, proposto por Horton em trabalhos anteriores. Essa teoria é baseada em dois aspectos fundamentais. Primeiro, há um limite máximo para a absorção de água em todos os solos. Segundo, o processo de *runoff*, tem uma relação direta entre a profundidade no solo de água acumulada. (HORTON, 1945). Essa questão foi trabalhada por Horton antes de 1945, principalmente em um artigo de 1933, e de maneira geral configura um entendimento que as condições gerais do solo e a precipitação controlam esse tipo de escoamento superficial. Dessa maneira, buscou estabelecer limites máximos de precipitação, e os limites mínimos de infiltração, em certas regiões de estudo (principalmente o nordeste dos Estados Unidos, área em que viveu e trabalhou), que pudessem causar esse *runoff*. Essa teoria rendeu a nomenclatura na identificação desse fenômeno como escoamento hortoniano (KIRKBY e CHORLEY, 1967), que ocorre quando a precipitação em uma bacia superar o limite da capacidade de infiltração desse lugar.

A terceira parte do artigo volta-se para a investigação das questões erosivas, causadas pelo escoamento superficial, chamado de *surface erosion by Overland flow*. Horton busca entender a erosão que pode ser mensurada, a erosão exclusivamente resultante do *runoff*, e sua influencia no desenvolvimento dos canais. Para isso, utiliza uma aproximação com textos de G.K. Gilbert e usa a formula de Duboys (de 1879) para mostrar a força necessária para deslocamento do material pedológico, pelo escoamento superficial em determinada distancia.

A quarta parte do trabalho, *Origin and development of stream systems and their valleys by aqueous erosion*, Horton busca fazer uma análise genética sobre a formação dos rios e bacias hidrográficas, fazendo uma progressão de elementos de uma escala micro até chegar a seu objeto, numa escala macro. Usando-se de suas análises sobre erosão, e os efeitos do escoamento superficial causado pelo *runoff*, estabelece um modelo de evolução de vale fluvial, e também de desenvolvimento da rede de drenagem em uma bacia hidrográfica. Outra identificação importante é a de *Epicycles of erosion*, relacionando o rejuvenescimento de canais com certas fases da erosão do solo, causada pela diferença da resistência do material da parte superficial e subsuperficial, que modificaria então a potencialidade da erosão.

Para finalizar seu trabalho, há um grande esforço para fazer uma análise voltada para uma ampla interpretação sobre a relação geral entre o seu modelo hidrofísico, e a evolução geral do relevo. Denominado *Drainage-basin topography*, nessa parte, reforça suas interpretações na análise sobre densidade de drenagem e na geometria dos vales. É nessa última parte em que Horton é mais evidente em suas críticas aos aspectos hidrológicos no modelo evolução do relevo proposto por Davis. Enfatizando a abordagem hidrofísica, com a influência quase exclusiva do escoamento superficial, consegue chegar num modelo de evolução, sem utilização das etapas tradicionalmente propostas por Davis, calcadas numa interpretação mais dependente da Geologia e eventos de maior escala:

In discussions of the Davis erosion cycle the cycle is in effect assumed to begin after the development of at least a partial stream system. The initial development of streams is considered to be either fortuitous or governed by antecedent geologic structures and is largely taken for granted(...) The author has considered stream development and drainage-basin topography wholly from the viewpoint of the operation

of hydrophysical processes. In the Davis theory the same subject is treated largely with reference to the effects of antecedent geologic conditions and subsequent geologic changes. The two views bear much the same relation as two pictures of the same object taken in different lights—the results are not necessarily in conflict; each supplements the other. The hydrophysical concept appears to be more fundamental because it carries back to the original, newly exposed surface. In comparing the two viewpoints much depends on the meanings given to the words "youth," "youthful," "maturity," and "peneplain." (HORTON, 1945, p.366-367)

Suas críticas ao modelo de Davis também se direcionaram a interpretação e extensiva utilização que se fazia do termo “peneplano”, sendo que:

The term "peneplain" seems inappropriate. The ultimate surface of erosion within a main basin boundary is neither "almost a plane," as the prefix "pene" implies, nor is it usually as close to being a plane as was the original surface area from which it has been derived.(...) The whole concept of ultimate development of a peneplain appears to be founded on the idea that grading of interior divides continues indefinitely and is accomplished by the streams they separate, whereas in the case of the hydrophysical concept the gradation is already, for the most part, accomplished when the adjacent streams originate. (HORTON, 1954, p.368).

E conclui sua comparação entre o modelo hidrofísico e o modelo de Davis dizendo que:

As regards advanced stages of erosional development of a drainage basin the principal differences between the Davis concept and the hydrophysical concept seem to be that the former does not provide any definite end point of erosional development, whereas the hydrophysical concept does provide a definite end point for both stream and valley development. (HORTON, 1945, p. 369)

O modelo de Horton, exposto nesse artigo, teve uma aceitação quase imediata, e tornou-se uma das mais importantes bases para a pesquisa subsequente, e muito de seu sucesso deve-se a sua abertura em relação à atividade científica, afastando-se da

geomorfologia tradicional, muito mais conectada com o suporte geológico, fez uma grande integração com a Física, Engenharia, Pedologia, entre outros ramos. Dessa maneira, pode-se dizer que um dos grandes resultados da abordagem hidrofísica proposta por Horton foi o rápido declínio da influencia de Davis como único modelo de pesquisa e explicação, abrindo caminho para uma nova geração de pesquisadores da Geomorfologia. (MORISAWA, 1985; CHORLEY, 1995). Sobre Horton:

[...] advocated a move from qualitative to quantitative approaches in the study of landform. He proposed quantitative tools and techniques by which we could analyze the landscapes around us. His paper not only stimulated statistical and mathematical approaches to geomorphic research and description but raised fundamental question such as the randomness or determinism of surface process. (MORISAWA, 1988: 1016)

Horton utiliza como fundamento de sua análise, certos dados quantitativos que serão base para formulação de seus princípios/leis, entre esses dados, os mais utilizados são a ordem de canais, densidade de drenagem, e a frequência de canais. São quatro leis/princípios apresentadas por Horton em seu trabalho (1945). A primeira trata do número de canais de uma ordem ($N_u = R_b^{s-u}$)⁴, que através da taxa de bifurcação estabelece que a partir de um canal de maior ordem (mais elevador) há um crescimento em progressão geométrica de canais de ordem mais baixa, partindo dele ($N = R_b^{s-1} / R_b^{-1}$). A segunda lei trata do tamanho dos canais, que ao se bifurcarem tendem a aumentar

⁴ Símbolos usados nas fórmulas:

u uma determinada ordem

S mais alta ordem

N número de canais

N_u número de fluxos de ordem, u

R_B raio de bifurcação

L_a tamanho médio de todos os canais

L_j tamanho médio de canais de primeira ordem

R₁ Proporção de comprimento de canais

A_u área média de uma bacia de ordem, u

A_j área média de uma bacia de primeira ordem

R_a raio da área de bacia

S_u gradiente médio de um canal de ordem, u

S_j gradiente médio de um canal de primeira ordem

Rg raio médio do gradiente de canal de uma bacia de ordem, u

em progressão geométrica ($L_a = L_j R_L^{u-1}$). A terceira lei é relacionada a declividade dos canais, e expressa a relação entre a declividade média dos canais de certa ordem com a declividade média dos canais de ordem imediatamente superior ($S_u = S_j R_g^{s-u}$). A quarta lei trata da área total das bacias hidrográficas ($A_u = A_j R_a^{u-1}$) (MORISAWA, 1988).

Uma influência também muito importante para o estabelecimento da análise hidrofísica nos anos 50 foram os trabalhos do Geólogo Joseph Hoover Mackin (1905 – 1968), que se debruçou sobre alguns problemas clássicos da área, principalmente a questão dos fatores de controle da velocidade da água nos canais, e com maior atenção o conceito de *grade*. Esse conceito vem sendo construído desde a constituição da Geomorfologia moderna, passando pela definição de vários autores, e que de maneira geral define a regulação entre a sedimentação e a erosão causada pelos rios.

Since the end of the seventeenth century, engineers had been concerned with the regulation of natural rivers or with the construction and operation of artificial channels which would exhibit stability of geometry. This stability or equilibrium, which came to be termed ‘grade’, was thought to occur when significant features of hydraulic geometry remained more or less constant over a recognized period of time or were subject to oscillation only within a narrow range. (CHORLEY, 2000, p.564)

Seu artigo de maior importância de 1948, também foi publicado no *Geological Society of America Bulletin*, assim como o de Horton, sendo de grande influência em estudos posteriores da área, auxiliando uma discussão intensa que ocorre até hoje, sobre a análise fluvial do equilíbrio.

4.2.2 A ESCOLA DE COLUMBIA

Dentro da história das ideias e do conhecimento, a fixação de uma nova linha teórica, de uma proposta metodológica, de certos tipos de pesquisa depende muito do ambiente onde está ocorrendo essa transformação. A Universidade é o *locus* primordial para acontecer uma expansão de uma nova proposta que mexa profundamente com convicções e regimes de verdades (embora não seja o único, há escolas, mudanças

jurídicas, o senado, e outros elementos de controle do Estado que também tem esse poder).

Após a renovação iniciada por Horton, um segundo passo importante é sua divulgação, sendo desenvolvido dentro da academia, e nesse caso, a principal Universidade foi a Columbia, localizada em Nova York. O principal professor da Columbia a conduzir esse processo renovador na Geomorfologia, principalmente dentro do curso de Geologia foi Arthur Newel Strahler (1918 – 2002), um dos últimos alunos de Phd de D.W. Johnson, um dos seguidores mais importantes e também antigo aluno de W.M. Davis. Strahler e alguns de seus alunos escreveram artigos importantes para estabelecer e aprofundar as técnicas e princípios de Horton, fixando sua linha de pesquisa na questão hidrológica e hidrofísica na abordagem geomorfológica. Além disso, também apresenta um passo importante ao aprofundar e inserir análises estatísticas no estudo da Geomorfologia (Análise de distribuição de frequência, média amostral, análise de variação, regressão linear, regressão não linear e correlação), provocando uma influência na Geografia e na Geologia, que nos anos 60 apresentam uma série de autores cujo tema dos livros é exatamente a aplicação da estatística nessas ciências. (TATE; PARSONS; POWELL, 2004).

Porém o legado mais importante de Strahler foi a formação de um forte grupo de alunos que seguindo seus passos, aplicavam essa nova filosofia de pesquisa e ajudaram a construir essa nova linha de pesquisa. Na orientação de *PhD's*, vários de seus alunos se notabilizaram na propagação de suas ideias e método, sendo considerados também grandes referências na área. Dos nove alunos que teve, podemos destacar, Marie Morisawa (que defendeu em 1960 o *PhD* sobre análise quantitativa dos canais na Pennsylvania), Mark Melton (cujas temáticas da pesquisa era a análise quantitativa da relação entre elementos do clima e a geomorfologia, defendida em 1957), Richard Chorley (britânico que esteve nos EUA entre 1951 e 1957 realizando seu *PhD* com Strahler, e um dos principais divulgadores das novas ideias no Reino Unido), e Stanley Schumm (realizando sua pesquisa sobre erosão e o escoamento superficial em resquílios de *Badlands* em New Jersey). (STRAHLER, 1992; KENNEDY, 2006).

Segundo STRAHLER (1992), as transformações ocorridas nos anos 50 na Geomorfologia podem ser consideradas como um novo paradigma na área, pois estabelecem um novo padrão de aplicação e de pesquisas dentro da matéria, com uma

nova abordagem quantitativa/dinâmica, em substituição ao modelo davisiano, qualitativo/histórico.

The branch of modern geomorphology dealing with process and form – dynamics and morphology – might be thought as a new paradigm. It succeeded an earlier paradigm that we can describe as qualitative/descriptive geomorphology; commonly expressed as the triad structure/process/stage. Carefully avoiding Thomas S Kuhn's awesome term "scientific revolution", but keeping his concept of clearly marked change of pattern, a geomorphology that was to be both dynamic and quantitative in its treatment of landforms can be at least identified as a new paradigm[...] (STRAHLER, 1992, p. 65).

Strahler defende sua tese de doutorado no departamento de Geologia na Universidade de Columbia em 1945, sob a supervisão de Douglas Johnson. Sua temática é relacionada ao desenvolvimento dos canais nos dobramentos apalachianos da Pennsylvania,, porém ainda sob uma abordagem pouco dinâmica. É a partir de 1945 que as mudanças começam a ocorrer, após a leitura do artigo publicado por HORTON (1945), "I realized, was a gold of mine of fluvial process concept... this was a remarkable interdisciplinary transfer of information from hydrology, a geophysical area of knowledge, to a geomorphology largely rooted in geological concepts." (STRAHLER, 1992, p. 69). Seu próximo passo foi um maior aprofundamento de relações com o departamento de engenharia da Columbia, passando a fazer cursos de pós-graduação para aprender mais sobre as matérias de hidrologia, mecânica de solos e mecânica de fluidos.

Somente a partir de 1950 que Strahler começa a publicar seus primeiros artigos focados nessa nova abordagem da Geomorfologia, depois de longos períodos estudando também a área da matemática (principalmente estatística). É interessante notar que durante esse período de mudanças e estudos, Strahler continua a dar suas aulas e seminários em Geomorfologia seguindo a abordagem davisiana, histórica. Somente a partir de 1948 inicia sua primeira orientação de um aluno de *PhD* (Donald R. Coates) na temática da morfometria de bacias de drenagem sob essa nova ótica. A partir dos anos 50, consegue firmar uma parceria, e uma das organizações responsáveis pelo financiamento de sua pesquisa e de seus alunos entre as décadas de 50 e 60 foi a *Geography Branch of the office of Naval research* (ONR), possibilitando a construção

de laboratório e auxiliando os trabalhos de campos, passando de uma pesquisa puramente teórica para uma aplicação mais prática. (STRAHLER, 1992)

Os anos 50 foram profícuos para Strahler, com a publicação de 9 artigos. Iniciando esse novo período, STRAHLER (1950) realiza uma profunda interpretação sobre a representatividade do modelo do ciclo denudacional de Davis em áreas úmidas, visto sob os olhos dos anos 50 e sua intensa transformação. Fazendo referências a G.K Gilbert, como antecessor e iniciador desse tipo de abordagem quantitativa, e também de Walter Penck como importante fonte de contraposição a Davis, já que:

Plate tectonics allow us now to design models in which continuous crustal rise over subduction margins might for long periods hold the system close to a dynamics equilibrium with time-independent morphology. Davis did not suggest such a model, but Walter Penck...with his *gleichformige Entwicklung* (uniform development) did so long before plate tectonics arrived on the scene. (STRAHLER, 1992, p. 72).

A influência de Gilbert não é somente na abordagem metodológica, porém também em relação a visão teórica em torno da função da abordagem de sistemas abertos na pesquisa sobre ambientes naturais, essa é uma importante contribuição, que é esmiuçada e propagada por Strahler e seu grupo, principalmente por CHORLEY (1962). Uma evolução dessa ideia de sistema aberto é a tentativa de aplicação da teoria dos sistemas, proposta por Ludwig Von Bertalanffy na década de 50, numa proposta filosófica de interpretação da Terra como um sistema aberto, busca estabelecer um paradigma de que as pesquisas devem levar em conta a multiplicidade dos fenômenos em sua totalidade, não sendo vislumbrados apenas em si, mas em um contexto maior, em que há um amplo encadeamento entre os elementos, ligados pela troca de matéria e energia. (CHORLEY; KENNEDY, 1971).

Essa abordagem teórica não é aplicada de maneira ampla no meio acadêmico, e apresenta certa resistência, mesmo dentro de grupos próximos, tal como o *USGS*. Segundo LEOPOLD & LANGBEIN (1962), a visão de entropia proposta pela termodinâmica da física clássica ainda era a melhor abordagem possível para o desenvolvimento das pesquisas na área, principalmente para seus propósitos, mais práticos, voltados para a Geologia de uma instituição governamental, que tem pouca

necessidade de estudos teóricos puros. Segundo MONTEIRO (2001b), as dificuldades de estabelecer e aplicar as propostas de pesquisa nessa linha teórica são enormes, e inviabilizam sua propagação como um padrão, apesar de sua facilidade de entendimento sobre o funcionamento dos sistemas naturais terrestres, os sistemas são ótimos para questões didáticas, mas complexos de aplicar em pesquisa.

A apresentação de Strahler sobre sua visão das transformações na Geologia (STRAHLER, 1952), busca a aplicação de um termo da Filosofia da ciência para a Geomorfologia da época, classificando-a como reducionista, ou positivista. Há uma distinção entre duas abordagens clássicas na Geomorfologia, sendo uma histórica (*timebound*) e outra reducionista (*timeless*). A primeira trata da descrição de eventos e fenômenos que de certa maneira encontram-se fixos no tempo, buscando refazer a sequência de acontecimentos que resultaram nele, relacionando-o a possíveis causas. A segunda também busca o entendimento dos eventos, porém, reduzindo a natureza em uma coleção de leis, com proposições universais. Dessa maneira:

geomorphic processes are driven by two classes of physical stresses (gravitational, molecular) acting upon earth materials having certain characteristic properties (elastic solid, plastic solid, fluid), and yielding in an appropriate manner (strain as rupture, plastic flow, or fluid flow), to generate distinctive landform types. (STRAHLER, 1992, p. 75).

Outra importante contribuição de Strahler é referente aos estudos das leis/princípios de Horton, principalmente em relação ao estabelecimento um sistema de ordenamento de canais. Strahler (1952b) faz algumas modificações e indica possíveis mudanças nesse sistema, mas é somente em 1957 que é publicado um artigo completo estabelecendo um novo sistema de classificação (STRAHLER, 1957). Durante os anos 50 e 60 o reconhecimento de seu sistema de classificações e ordenamento de canais é enorme, não só na Geomorfologia, mas também há análises baseadas em seus estudos no campo da Biologia e da Informática (STRAHLER, 1992).

Em relação à classificação das ordens de drenagem de uma bacia, são considerados os canais de primeira ordem aqueles sem rios tributários, os rios de segunda ordem aparecem quando há a confluência de dois rios de primeira ordem, já os canais de terceira ordem ocorrem quando há a confluência de dois rios de segunda

ordem, e assim sucessivamente, sendo que os rios só podem receber afluentes de ordem inferior a sua, sendo que o rio principal não é um elemento tão importante quanto na classificação de Horton, e dessa maneira não recebe uma ordenação única em toda sua extensão. (STRAHLER, 1952b, 1957).

Para Strahler, apesar dessa nova tradição representar um rompimento com Davis e a análise histórica da Geomorfologia, a pesquisa mais completa deveria aliar uma forte esquema dinâmico e quantitativo, além de estar também embasada em fortes conceitos históricos que representem a evolução do relevo, de tal maneira que:

Thus historical-regional geomorphic treatment cannot be divorced from dynamic investigations. The difference in the two types lies in the proportion of each one involved, for neither can successfully be pursued independently of the other (STRAHLER, 1952a, p. 925)

4.2.3 O DESENVOLVIMENTO NA USGS

Outro grupo importante na formulação e renovação metodológica da Geomorfologia nos anos 50 foi o *Water Resources Division*, do *USGS*, conduzido pela liderança de Luna Leopold, uma importante figura de agregação (assim como foi Strahler), contando com a parceria de Wolman Miller, Lengbein, Maddock, entre outros contribuintes. Luna Leopold (1915 – 2006) era filho de um importante naturalista americano da época, Aldo Leopold, e teve sua formação conduzida para as ciências naturais, formando-se em 1936 em Engenharia civil pela *University of Wisconsin, Madison*; faz o mestrado em Meteorologia física, na Universidade da Califórnia, Los Angeles (1944); e realiza seu *PhD* em Geologia em Harvard (1950). Trabalhou no *U.S. Soil Conservation Service* entre 1937 e 1940, quando se alista no serviço militar na área do serviço meteorológico da aeronáutica, servindo como meteorologista nas bases do Havaí, em 1950 é contratado pelo *USGS* como engenheiro hidráulico, ficando a maior parte de sua carreira aí, até 1972, quando entra no quadro docente da área de Geologia da Universidade da Califórnia, em Berkeley, de onde se aposenta em 1986. (KENNEDY, 2006)

Trabalhando com geometria hidráulica e conceitos básicos sobre o comportamento dos rios (a maior parte estabelecidos desde o século XVIII), pode-se comparar a atuação

de Luna Leopold e o grupo do USGS com a escola de Columbia e Strahler. Os dois eram figuras centrais com grande poder de agregação de pesquisadores, porém Strahler trabalhou muito mais com a questão do escoamento superficial nos interflúvios, e as bacias hidrográficas. Leopold sempre teve mais interesse com o controle geométrico da hidráulica dos canais, sendo uma de suas principais influências os trabalhos de Mackin, que faz a análise de dois importantes conceitos qualitativos em seus textos, que são duas variáveis independentes que controlam a geometria hidráulica, a descarga, e a característica dos materiais formadores dos leitos e margens.

Grande parte das pesquisas resultou em publicações de textos em parceria entre os pesquisadores, quase todos com a participação de Luna Leopold, e é durante a década de 50 e começo dos anos 60 que essas publicações se realizam. Leopold e Maddock (1953) iniciam essa série, num artigo que marca a área de estudos da Geometria hidráulica ao estabeleceram uma metodologia de pesquisas própria para a área. Wolman (1955) propõe uma medição indireta do coeficiente de Manning, indicando que o estado de equilíbrio pode ser facilmente mantido por um ajuste na seção transversal do rio ou por sua inclinação. A série de textos continua com Leopold e Miller (1956), Leopold e Wolman (1957), Wolman e Leopold (1957), entre outros textos na década de 50.

Servindo de base para uma profunda análise sobre a prática e as dificuldades da pesquisa na Geomorfologia, Leopold e Langbein (1963), acabam definindo o uso da indeterminação e a associação como base para a prática da Geomorfologia enquanto ciência:

By indeterminacy in the present context we refer to those situations in which the applicable physical laws may be satisfied by a large number of combinations of values of interdependent variables. As a result, a number of individual cases will differ among themselves, although their average is reproducible in different samples. Any individual case, then, cannot be forecast or specified except in a statistical sense. The result of an individual case is indeterminate. (LEOPOLD e LANGBEIN, 1963, p. 189).

A indeterminação, ou incerteza (segundo tradução de CHRISTOFOLETTI, 2001) dessa maneira é uma parte integrante da pesquisa, com a aplicação de leis físicas em casos práticos, empíricos, haverá uma diferença entre o trabalho de uma teoria, que

funciona na maior parte dos casos, mas pode apresentar algum resultado inesperado em casos individuais, indeterminados, sem que isso invalide a teoria, e sim auxilie a pesquisa. Há um descompasso entre os instrumentos de coleta de dados, cada vez mais exatos, precisos e cheios de novas tecnologias, e nossa capacidade em realizar novas explicações dentro desse novo padrão que começa a surgir: “Thus it appears that in geomorphologic systems the ability to measure may always exceed ability to forecast or explain.”. (LEOPOLD e LANGBEIN, 1963, p. 191). Essa visão é condizente com a nova fase que a filosofia começa a viver a partir da década de 60 e principalmente nos anos 70, com o surgimento de trabalhos de Ilya Prigogine, Paul Feyerabend e outros autores que iniciam a lenta contestação dos princípios do positivismo, principalmente sobre a relativização dos regimes de verdade como base para a ciência.

A estrutura de pesquisa e publicação de artigos do grupo da USGS, e principalmente da figura de Luna Leopold, acabam apresentando uma maior influencia na área do que o grupo de Columbia. É importante notar que Leopold teve sua fase mais produtiva com artigos técnicos na década de 60, mas entre 1972 e 1986 esteve como professor da Universidade da California Berkeley, também realizando um importante contato com alunos, auxiliando a formação de um grupo em torno de suas ideias, sendo que:

Leopold's influence has been very important and his approach has certainly come to dominate in studies of rivers...Leopold's generally rather narrow, engineering-based, approach has fitted late twentieth century concerns more closely than Strahler's broader-based work. Despite the lack of many direct academic descendents, Leopold's view of the river and the fluvial landscape has largely prevailed (KENNEDY, 2006, p. 110).

Dentro dos estudos fluviais, Leopold apresentou respostas mais importantes para a prática dos estudos e pesquisas da comunidade científica da geomorfologia, principalmente por sua base teórica em torno da termodinâmica, de sistemas fechados, apresentando uma maior segurança de trabalho, com fórmulas mais simples e objetivas.

4.2.4 AS TRANSFORMAÇÕES POSTERIORES

Para uma completa análise sobre o impacto que essa geração de 1950 teve na Geomorfologia e na Geografia é imprescindível uma visão sobre o que ocorre hoje. Mesmo os anos subsequentes (décadas de 70 até hoje) não sendo objeto de pesquisa é necessária uma visão sobre esse período, para que essa temática possa ser explicada de maneira mais completa.

Existem no mínimo duas formas consolidadas para a realização de uma pesquisa que busca analisar a evolução histórica e os impactos de uma linha teórica, podendo ser uma pesquisa quantitativa ou qualitativa. No presente trabalho buscamos fazer uma análise qualitativa sobre os fatos, aprofundando a busca de respostas para os questionamentos através de textos e reflexões que visam muito mais a questão teórica e reflexiva. Porém dentro da bibliografia analisada, existem pesquisas que aplicam metodologias quantitativas para fazer a análise histórica, e dessa maneira, a utilização de fontes e pesquisa quantitativas enriquece ainda mais as conclusões, e dão um suporte importante para validação das mesmas.

Uma das maneiras quantitativas de verificar o impacto e a importância dos autores para a comunidade científica é a análise dos meios de publicação dessas pesquisas, principalmente focados nos periódicos. Existem outros meios de publicação e divulgação científica além dos periódicos, tais como os encontros científicos, onde são apresentados e em alguns casos publicados em anais os trabalhos mais importantes. Para um efeito de comparação, os encontros internacionais da IAG (*International Association of Geomorphologists*), que ocorrem a cada quatro anos, em seu evento de 2013 reuniu 1542 participantes, de 74 países diferentes (IAG, 2014). Apesar da importância que representam, a quantidade de trabalhos apresentados nesses eventos as vezes inviabiliza uma pesquisa sobre o assunto, até pela dificuldade de obtenção de todo material, mas principalmente, pela medição de qual o impacto esses trabalhos apresentados tem na comunidade científica, pois essa medição só ocorrerá se os mesmos forem publicados. E nesse sentido os periódicos apresentam formas mais coesas e seguras para medir essas variáveis, que é desenvolvido em sistemas internacionais de classificação, por exemplo, medindo seu fator de impacto (JCR) ou fazendo um ranking dessas publicações (SJR), entre outros.

No Brasil existe o sistema de classificação de periódicos proposto pela CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior), chamado de Webqualis. Nesse sistema, a área de Geografia adotou como metodologia de classificação o chamado “índice h”, sendo que: “O programa “Publish or Perish”, calcula o índice h (além de outros) por meio do Google Acadêmico. Não é o melhor instrumento, porém é o único que mede, de alguma forma, o grau de impacto de periódicos não indexados como os da Geografia” (CAPES, 2013, p. 24). Além desse critério, os periódicos são avaliados pelos coordenadores de área (modificados a cada três anos) e pelos docentes dos programas de pós-graduação do Brasil.

Dentre os principais periódicos da área de Geografia e Geociências, podem ser citadas poucas revistas especializadas em Geomorfologia, tais como a *Catena* e a *Geomorphology*, ambas classificadas como Qualis A1, o melhor nível de avaliação proposto. Sobre o periódico *Geomorphology*, DOYLE (2005), pesquisou toda a bibliografia nos artigos publicados entre 1995 e 2004, e classificou as referências pela quantidade de vezes que apareciam. Os resultados são interessantes, e dão uma base para importantes reflexões. Num total de 45.201 referências bibliográficas, são ao todo 31.696 trabalhos diferentes, ou seja, muitos desses trabalhos aparecem citados em artigos diferentes. Dessas referências, 79,6% (29.162) são citadas apenas uma única vez, 12,4% (4543) são citadas duas vezes, e somente 0,07% (22) são citados mais de 20 vezes. Esse volume de trabalhos foi dividido entre artigos e livros, e resultou em dois ranqueamentos entre os 10 trabalhos mais citados.

TABELA 1

Citações de volumes completos (livros)		
Quantidade de citações	ISI index da citação	Referência
48	661	Schumm (1977). The fluvial system
42	1242	Bagnold (1941). The physics of blown sand and desert dunes
39	1277	Leopold et al. (1964). Fluvial processes in geomorphology
38	257	Bull (1991). Geomorphic response to climatic change
33	287	Knigton (1984). Fluvial forms and processes
31	366	Carson and Kirkby (1972). Hillslope form and process
27	671	Birkeland (1984). Soils and Geomorphology
27	192	Pye and Tsoar (1990). Aeolian sand and sand dunes
27	134	Selby (1993). Hillslope materials and processes
22	268	Greeley and Iversen (1985). Wind as a geological process

Fonte: DOYLE, 2005.

Tabela 2

Citações de artigos		
Quantidade de citações	ISI index da citação	Referência
30	280	Varnes (1978). Slope movement types and processes
27	773	Horton (1945). Erosional development of streams and their drainage basins: hydrophysical approach to quantitative morphology
26	349	Wolman (1954). A method of sampling coarse river-bed material
26	184	Wolman and Gerson (1978). Relative scales of time and effectiveness of climate in watershed geomorphology
25	211	Keller and Swanson (1979). Effects of large organic material on channel form and fluvial process
25	100	Nanson and Croke (1992). A genetic classification of floodplains
22	503	Leopold and Maddock (1953). The hydraulic geometry of stream channels and some physiographic implications
22	345	Wolman and Miller (1960). Magnitude and frequency of forces in geomorphic processes
22	185	Wolman and Leopold (1957). River flood plains: some observations on their formation
22	132	Schumm (1973). Geomorphic thresholds and complex response of drainage basins

Fonte: DOYLE, 2005.

Entre os dez livros mais citados (tabela 1), três são sobre processos fluviais, incluindo aí o primeiro, o terceiro e o quinto da lista. Outros três são sobre processos dunares e erosão eólica, mais dois sobre processos em encostas, um sobre processos de mudanças climáticas e Geomorfologia e outra sobre solos e Geomorfologia. Já entre os artigos mais citados (tabela 2), apenas dois não se referem especificamente a assuntos fluviais, são dois artigos sobre fenômenos de encosta (incluindo aí o artigo mais citado nessa lista), logo, entre os 10 artigos mais citados, 8 são sobre a temática fluvial.

Entre os autores, 4 aparecem nas duas listas. Luna Leopold, M. Gordon Wolman, John P. Miller e Stanley Schumm. Sendo que os três primeiros fizeram parte do USGS. É também interessante notar que o segundo artigo mais citado é de autoria de Robert Horton, publicado em 1945, e considerado o primeiro estudo direcionado para a aplicação da geomorfologia fluvial a abrir o caminho para a estruturação dessa nova área metodologia da Geomorfologia.

Outra pesquisa semelhante realizada por DORM (2002), utilizou como base o índice ISI (Institute for Scientific Information), metodologia criada em 1960 por Eugene

Garfield para medir a produção bibliográfica por área de pesquisa. É interessante notar que a pesquisa de DOYLE (2005) também expõe os dados ISI dos artigos e livros citados, porém utiliza para classificação os dados do período pesquisado, fazendo então uma mostra mais selecionada, de um grupo mais fechado de pesquisadores, que publicam em somente um periódico. Já DORM (2002) faz uma pesquisa mais ampla, em que foram compilados todos os artigos de Geomorfologia com mais de 20 citações entre 1975 e 2000, sem distinção de qual periódico participa, ou separação entre estes e os livros.

Os resultados de ambas as pesquisas são semelhantes, já que o assunto principal, relacionado a processos fluviais, aparece como dominante nos dois. Segundo DORM (2002), na classificação por assuntos, os processos fluviais estão em primeiro lugar em quantidade de citações (47), e há a separação da temática de análises de Bacias hidrográficas, que aparece em quarto lugar (32).

Tabela 3

Tema	Citações
Fluvial processes and landforms	47
Riparian – biological emphasis	42
Landscape evolution	39
Drainage basin studies	32
Tectonics	31
Slope	27
Glacial	19
Coastal	18
Planetary	15
Soil	14
Dating methods	11
Biogeomorphology	10
Aeolian	6
Climate change emphasis	4
Weathering	4
Forestry	2
General geomorphology	3
Lacustrine and marine	2
Volcanic	1
Economic geology	1

Fonte: DORM, 2002

A separação dos assuntos realizada pode ser repensada de acordo com a intensão do pesquisador, apesar de haver linhas gerais dos assuntos clássicos da Geomorfologia, de acordo com cada autor, certas mudanças podem acontecer, juntando estudos, ou separando áreas de pesquisa. A separação ocorrida nesse caso é motivada, pois, apesar

de serem ambas temáticas sobre questões hidrográficas, a ênfase é diferente. Em processos fluviais (*Fluvial processes and landforms*), verificam-se os fenômenos em si e sua capacidade de transformação da paisagem, já em bacias hidrográficas (*Drainage basin studies*), analisa-se mais as características de uma área. Porém os dois apresentam forte ligação, pois ambos usam um método de pesquisa quantitativa em suas análises, seja na verificação de área da bacia, quantidade de rios, ordens; ou na quantificação de volume de um rio, capacidade de deposição, velocidade do canal, etc.

Essa análise de questões hidrográficas (bacias ou processos) é indicativa de uma predominância em dois aspectos: 1) a temática fluvial é majoritária e apresenta-se como principal. Apesar de ambas as pesquisas serem realizadas em um corte de certa maneira restritivo, pois ambas são americanas e valorizam os trabalhos publicados em língua inglesa, já que a maior parte das revistas especializadas em geomorfologia de outras línguas, dificilmente conseguem relevância a nível mundial com indexadores como ISI, mostra-se um padrão, que aliado à análise qualitativa, demonstra essa predominância temática. Se tomarmos o caso brasileiro, os resultados de periódicos como a Revista Brasileira de Geomorfologia, qualis A1 segundo a classificação da Geografia e B2 segundo as Geociências, seriam diferentes, com a inclusão de autores constantemente citados aqui, mas sem grande propagação internacional, como Aziz Ab'Saber, Jurandyr Ross, Antonio Teixeira Guerra, entre outros; e 2) em relação aos métodos, pois as metodologias utilizadas são em grande parte desenvolvidas a partir de uma mesma linha histórica e filosófica, resultando da chamada Geomorfologia Dinâmica ou Quantitativa.

A transição que a década de 50 iniciou, reforçada nos anos 60, pode ser resumida como uma mudança de uma pesquisa baseada na descrição qualitativa para uma pesquisa baseada na descrição quantitativa. Baseada numa ampla abertura da Geomorfologia para a utilização da estatística em suas metodologias de análise, sendo esse também um período revolucionário para a aquisição de dados, (com novas tecnologias, principalmente com o sensoriamento remoto) e também para o tratamento de dados (com o advento do computador). É importante distinguir, dentro da quantificação do período a utilização dos modelos determinísticos e estocásticos (estatísticos). A quantificação em Geomorfologia é antiga, e remonta pelo menos ao século XVII, sendo que essa utilização de dados e quantificação vem sendo organizada em modelos determinísticos, e aos poucos sendo usados na geomorfologia, desde pelo menos o final do século XVIII (CHORLEY; DUNN; BECKINSALE, 1964). A década

de 50 passa por uma radical transformação na utilização da Matemática, que agora passa a ser embasada também em modelos estatísticos complexos, e surge com maior força a questão da previsibilidade. Outra importante contribuição é o assentamento da noção dos sistemas como base para os estudos de processos, com a maior influência da termodinâmica (sistemas abertos, fechados e isolados), do que a tradição iniciada por Strahler e Chorley baseada na teoria geral dos sistemas. As discussões em torno do equilíbrio e da entropia nos sistemas fluviais torna-se ampla entre os pesquisadores pós 50, sendo que para uma melhor organização e teorização Schumm e Lichty (1965) estabelecem três escalas de tempo de análise. A primeira é o tempo cíclico, um longo período de tempo, com mudanças de grande impacto para o relevo, a segunda é um período intermediário, um corte do tempo cíclico, em que há um equilíbrio dinâmico e as declividades podem sofrer variação, e por último há um momento de estabilidade, que só pode ser percebida em um curto espaço de tempo, pois é somente nessa escala em que se pode verificar uma estabilidade quase total nas variáveis de medição do sistema fluvial.

As contribuições que a geração de 50 desenvolveu na Geomorfologia dinâmica são inegáveis, e de enorme impacto no desenvolvimento da disciplina, foram vários artigos que se debruçaram em torno da aplicação e métodos novos e mais exatos, principalmente nos estudos hidrológicos e hidrográficos. Houve um importante resgate histórico da linha teórica da Geomorfologia desenvolvida por G.K. Gilbert, e uma valorização dos trabalhos de Walter Penck. Até então, os dois estavam quase esquecida pela onipresença de Davis em torno das pesquisas e como padrão teórico, e nesse sentido, é essa geração que inicia uma ruptura epistemológica que além de colapsar a utilização da teoria davisiana, abre caminho para um novo padrão de pesquisa científica, extremamente inserida nos ditames do positivismo.

[...]emphasis on the “dynamic basis on geomorphology” really was predicated upon the ability to make rather simple connections between process (or force) and form (resistance), whether in mechanical or thermodynamic terms. (...) This ignores two crucial things. First, that action and reaction are only equal and opposite in very, very simple systems – largely chemical ones. Resistance is not generally a linear function of applied force. Second, virtually all forms are legacies of past applied forces. It follows that the sequence of events if often –

probably always – a crucial determinant of landform and landscape response. Unfortunately, these two drawbacks present very real analytic difficulties. Just as fluvial geomorphology was driving firmly down the path of simple Newtonian mechanics and the search for equilibrium forms, other parts of the scientific community were waking up to the crucial nature of history and sequence. (KENNEDY, 2006, p. 111).

Porém existem alguns exageros na interpretação desse movimento, já que houve pelo menos um ponto importantíssimo de pouco desenvolvimento. Em prática, não houve a apresentação de nenhuma nova teoria de explicação da formação do relevo, o que acaba dificultando a interpretação dessa geração como um novo paradigma, ou como uma revolução científica.

A filosofia ajuda a entender as modificações profundas analisadas em sua busca relacional de vários aspectos da realidade, consegue revelar algumas estruturas que balizam as ações e fenômenos históricos, apresentando um entendimento mais completo. Para KUHN (1996), deve ser colocado como elemento central de análise as comunidades científicas, que são os agrupamentos dos praticantes de determinada atividade científica, sendo que esses cientistas apresentam certas características importante para essa definição, tal como uma educação e iniciação profissional semelhantes, fazendo uso de uma teia de leituras comuns, possuem um objeto de estudos próprio, com ampla troca de informação entre seus membros, que servem de juízes do conhecimento produzido por esse grupo, estrutura essa que é desenvolvida principalmente nas universidades, mas também está presente em laboratórios, órgãos técnicos dos governos, e na edição e organização de periódicos.

Outra visão também importante sobre esse tema é dada por BOURDIEU (1983), que define a organização dos cientistas de uma determinada temática como um Campo Científico, um sistema de relações em que são analisadas principalmente as questões subjetivas, sendo portanto um espaço privilegiado para um jogo político, onde a principal conquista seria o monopólio do conhecimento que está em disputa, definindo então detentores desse poder, capazes de definir as verdades através de uma autoridade científica. Dessa maneira, é plenamente possível classificar dentro desse padrão de entendimento a Geomorfologia quantitativa americana, que num panorama das relações políticas e subjetivas apresenta uma intensa disputa pela preponderância dentro do

Campo Científico, na tentativa de estabelecer um novo padrão de pensamento científico da geomorfologia no século XX.

Uma questão importante é a exclusividade do fenômeno do quantitativismo nos Estados Unidos, já que poucos pesquisadores europeus participaram desse movimento, e mesmo assim, muito integrados aos americanos. A Europa, na década de 50 também está passando por um momento de revisão e crítica ao modelo dominante de pesquisa baseado em Davis, um dos grandes nomes desse período é Jean Tricard e Andre Cailleux, que fundam em 1950 a *Revue de Géomorphologie Dynamique*, porém, o tipo de pesquisa desenvolvida na Europa, e compilada por esse periódico mostra que a diversidade é o reinante, com temáticas da Sedimentologia, Glaciologia, Hidrografia, Geomorfologia costeira, processos em ambiente áridos, etc. A tradição americana focou seus estudos numa única área, os processos fluviais, e dessa maneira, apresentou uma coesão muito maior e mais acentuada entre seus pesquisadores, com maior troca de informações, de discussões, com um maior conhecimento compartilhado entre os membros, forma-se um campo científico com maior força e poder político também, sendo constantemente revalidada pelo grupo a importância dessas pesquisas. Há a busca da formalização de certa autonomia da geomorfologia perante outros conhecimentos, já pronunciada por Davis, num movimento radical de aprofundar uma linguagem própria de um grupo. (ABREU, 1983).

As comunidades científicas apresentam essas características comuns, que garantem essa coesão interna, porém o elemento mais importante para sua manutenção como um grupo estruturado é o compartilhamento de um paradigma, que é considerado, como “[...] o que prepara basicamente o estudante para ser membro da comunidade científica na qual atuará mais tarde” (KUHN, 1991: 31). O conceito de paradigma é complexo e pode apresentar algumas interpretações diversas, segundo Kuhn (1996), o paradigma em uma visão mais geral apresenta como características a adoção de generalizações tomadas sem questionado por parte dos integrantes da comunidade, como leis, axiomas e princípios, também apresenta a utilização de modelos explicativos para as generalizações, que acabam sendo incorporados pelo grupo, e por último a utilização de casos de sucesso como exemplo para validação do paradigma. A aquisição de um paradigma por essa comunidade científica resulta na formação da chamada ciência normal, que suplanta uma fase pré-paradigmática,

A ciência normal não tem como objetivo trazer à tona novas espécies de fenômeno; na verdade, aqueles que não se ajustam aos limites do paradigma freqüentemente nem são vistos. ... Os cientistas também não estão constantemente procurando inventar novas teorias, freqüentemente mostram-se intolerantes com aquelas inventadas por outros. (KUHN, 1996, p. 45).

A ciência normal entra em crise se seu paradigma começa a ruir e ser questionado pelos membros de seu grupo, que podem ser causadas por anomalias dos resultados, ou seja, o aparecimento de dados inesperados para aquela teoria. A partir desse momento, novas teorias, princípios e leis empíricas são testadas para a reorganização do conhecimento em torno de um novo paradigma, que se não apresentarem resultados positivos, podem desenvolver uma nova fase de desagregação da comunidade, de pulverização do conhecimento (JACOBINA, 2000). A evolução do conhecimento científico entre uma fase e outra, converge para uma revolução científica, “...a transição sucessiva de um paradigma a outro, por meio de uma revolução, é o padrão usual de desenvolvimento da ciência amadurecida” (KUHN, 1996: 32).

Contextualizando as transformações ocorridas na década de 50, com o advento da Geomorfologia quantitativa, na teoria de do funcionamento das estruturas científicas de Kuhn, a conclusão é de que há uma mudança paradigmática, como define Strahler (1992), Abreu (1982,1983), Vitte (2008, 2011), porém, deve-se utilizar com parcimônia a noção de haver uma revolução quantitativa, baseado em interpretação de Kuhn.

A formulação de uma teoria está na base de toda ciência. Obter conhecimento prático e empírico do mundo é fundamental, porém o passo que realiza a transformação desse aglomerado de conhecimentos em uma ciência formal passa pela elaboração de uma teoria explicativa sobre tais fatos. Na Geomorfologia o relevo é o objeto de estudos, sendo que as formas estão em constante modificação, mesmo que algumas tenham uma velocidade de mudança tão lenta que no tempo humano não consigamos perceber, as pesquisas científicas conseguem comprovar que essa mudança ocorre. O relevo está em constante transformação. As teorias geomorfológicas servem para explicar como ocorre essa transformação, como os fenômenos se encadeiam para proporcionar determinado modelado, quais as condições ambientais que marcam o início desse processo, entre outras respostas a serem buscadas. A teoria é completamente inserida e condicionada à seu tempo histórico. Períodos diferentes

fornece explicações diferentes. Apesar de toda a conquista e evolução a partir da filosofia positivista, que acredita em uma ciência com respostas absolutas, e que dessa maneira produza teorias certas ou erradas, analisadas somente por sua formulação interna, a visão atual de ciência apresenta uma maior flexibilidade de visão de mundo, de ciência, de verdades.

Segundo CRHRISTOFOLETTI (2000), a literatura geomorfológica desenvolveu tradicionalmente quatro grandes teorias que se propõe a realizar esse tipo de explicação generalista da evolução do relevo. A primeira é o ciclo geográfico proposto por Davis, e já analisado nesse trabalho. A segunda seria a teoria da pediplanação, elaborada por Lester King em artigos e livros publicados durante a década de 60 e início dos anos 70, porém ao contrário da tendência estabelecida pela tradição anglo-americana, King se debruça em uma reavaliação da teoria de Davis, utilizando o modelo evolutivo de regressão paralelas de vertentes de Walter Penck dentro do sistema temporal do ciclo de Davis, cria a distinção das fases finais entre o peneplano (superfície aplainada em áreas úmidas) e o pediplano (superfície aplainada em áreas secas). O equilíbrio dinâmico é uma teoria elaborado por John T. Hack também durante os anos 50 e 60, porém seus estudos foram direcionados para a atualização dos trabalhos de G.K. Gilbert (GOUDIE, 2011), e propõe que:

[...]em um sistema erosivo todos os elementos da topografia estão mutuamente ajustados de modo que eles se modificam na mesma proporção. As formas e os processos encontram-se em estado de estabilidade e podem ser considerados como independentes do tempo. Ela requer um comportamento balanceado entre forças opostas, de maneira que as influencias sejam proporcionalmente iguais e que os efeitos contrários se cancelem a fim de produzir o estado de estabilidade, no qual a energia está continuamente entrando e saindo do sistema. (CHRISTOFOLETTI, 2000, p. 168)

A última teoria analisada é derivada da aplicação probabilística para o entendimento do relevo, desenvolvida por LEOPOLD e LENGBEIN (1962), trata da evolução das formas em termos aplicados da probabilidade, inserindo o conceito de incerteza, definem que a única maneira de realizar previsões sobre o modelado do relevo, tentando determinar como será sua forma em determinado tempo, é através da probabilidade. Seus estudos sobre os canais fluviais basearam-se na utilização do

conceito de entropia, que pode ser considerada a medida da quantidade disponível de energia em um sistema, e não a energia total. Dessa maneira, com a medida da entropia pode-se chegar a probabilidade de ocorrer ou não certo fenômeno estudado, ou prever certa mudança no modelado do relevo.

A teoria probabilística apresenta perspectivas muito amplas e inclusive, engloba o estudo histórico dos processos e das paisagens[...]Nessa perspectiva, todas as paisagens terrestres fazem parte de um mesmo processo estocástico, sendo que as diferenças na intensidade de energia (variação na temperatura e na precipitação) e na distribuição da matéria (litologia e disposição das camadas rochosas) são as responsáveis pelas diversidades individuais. Mas todas elas correspondem a exemplos de um mesmo conjunto; são estados alternativos. (CHRISTOFOLETTI, 2000, p. 173)

Porém é importante frisar que apesar da publicação de um importante livro que de certa maneira resume os princípios desenvolvidos por Leopold e seus colaboradores (LEOPOLD et al, 1964), não há uma compilação formal de uma teoria sobre a evolução do relevo, tal como ocorre em Davis, King e Hack. Voltando-se para a explicação do sistema fluvial, os interflúvios são praticamente inexistentes nessa teoria, assim como explicações gerais sobre etapas e mudanças no relevo.

Essa interpretação de Christofolletti (2000) não coloca essas teorias como paradigmas, principalmente por mostrar que a partir dos anos 50 aparecem pelo menos 3 teorias novas, que apesar de não realizarem uma negação completa entre si, tem abordagens completamente divergente sobre as explicações e as práticas de pesquisa dominante. Nenhuma dessas teorias conseguiu se estabelecer como o grande paradigma pós-davisiano da Geomorfologia, que viu em sua história a quebra de sua linhagem de evolução epistemológica não ser plenamente reconstruído em torno de uma única teórica, pelo menos na linhagem filogenética Anglo-Americana, sendo que a multiplicidade de visões é a regra atual da condução das pesquisas na área.

É uma tarefa complexa estabelecer um fim para esse período crítico de mudanças paradigmáticas, que tantos nomes recebe, e pouco consenso há em qual a melhor nomenclatura que possa definir esse processo (quantitativo, reducionista, dinâmico, etc.). “It is Always easier to identify the beginning of a revolution than its

end. The Mid-century revolution in fluvial geomorphology clearly began in the middle-late 1940s and after little more than 20 years drew to a close.” (CHORLEY, 2008, p. 948). Alguns dos últimos trabalhos, pertencentes dessa geração (SCHUMM, 1973, 1975), numa análise sobre a utilização das ferramentas mais comuns desenvolvidas nessa para análise fluvial, mas que já refletem a preparação para uma fase posterior, que gera um novo espírito de pesquisa e de filosofia dentro da geomorfologia que a partir dos anos 70, busca o desenvolvimento de uma disciplina mais balanceada entre suas tradições do que foram nos anos 50 e 60.

5. Considerações Finais

A escolha de um tema na pesquisa acadêmica leva em conta muitos fatores, como a inserção em um plano teórico, a validade desse conhecimento para o campo científico, a capacidade de desenvolver um método de trabalho para cumprir seus objetivos, entre outros. Porém existe um fator subjetivo de extrema importância, que é a visão pessoal que o pesquisador tem desse assunto, sua visão de mundo, suas limitações, suas qualidades. Sendo que uma pessoa diferente produziria um trabalho diferente, pois carrega outros sentidos e vivências pessoais que a faz valorizar outras questões. De certa maneira, nenhum trabalho está plenamente completo. A cada leitura uma nova observação pode ser inserida, outra explicação pode ser dada, uma análise em outro sentido pode ser interpretada. Porém os trabalhos precisam ser finalizados em algum ponto, mesmo que a temática da pesquisa não seja esgotada, e geralmente não é. No presente trabalhos, houve a busca por estabelecer uma linha histórica lógica de evolução do conhecimento da Geomorfologia, que possa auxiliar no entendimento das relações da construção do conhecimento.

A linhagem filogenética da geomorfologia norte-americana é muito maior do que a tentativa de construção do paradigma quantitativo da geomorfologia fluvial dos anos 50. Lester King, Hack e Crickmay buscaram a elaboração de modelos teóricos bem acabados, com uma estrutura amarrada dentro de uma noção paradigmática que envolvesse a pesquisa da Geomorfologia a partir deles. Nenhum deles conseguiu estabelecer a posição de ser adotada como padrão geral de entendimento do funcionamento e evolução do relevo. A teoria de King consegue certo sucesso durante as décadas seguintes (incluindo o Brasil), mas não era dominante na linhagem americana, e Hack e Crickmay nunca foram largamente utilizados nas pesquisas geomorfológicas, há apenas o uso pontual de seus preceitos.

Os grupos da Geomorfologia fluvial, inspirados por Horton, não conseguiram estabelecer uma teoria explicativa da evolução do relevo que fosse majoritariamente aceita, apresentando um corte extremamente radical com a tradição davisiana que até então era dominante, propondo um padrão de pesquisas completamente diferente, inseriram a linguagem matemática, que até então era pouco usual no campo, com aplicação aprofundada da estatística, de modelos físicos e sistemas. Acabaram por criar

na tradição americana uma quebra paradigmática muito forte, que inclusive abala a relação entre a Geomorfologia geográfica (até então dominante) e a Geomorfologia aplicada, que passa a ser o modelo de pesquisa a ser seguido. A preocupação dos cientistas influenciados por essa revolução quantitativa não é mais a teoria e o encadeamento lógico de explicações sobre os fenômenos, nesse momento aprofunda-se a visão pragmática de ciência, que dominou não só os Estados Unidos, mas que de certa maneira é predominante na maior parte da ciência mundial. A teoria fica em segundo plano, os resultados são o mote principal.

Um importante conquista sedimentada pelos grupos de Strahler e Luna Leopold nos Estados Unidos é a quebra da dominância da teoria davisiana como padrão explicativo para a Geomorfologia, e o estabelecimento da visão atual, de que ela tem apesar uma importância histórica, sendo considerada ultrapassada. A valorização dos processos na Geomorfologia também é um ponto positivo conquistado, retomando uma tradição que havia sido deixada em segundo plano, e que teve em suas bases cientistas como G.K. Gilbert e Walther Penck. Numa tentativa de estabelecer um novo paradigma na Geomorfologia, acabam caindo num certo paradoxo, pois radicalmente eliminam a influência de Davis em suas pesquisas, mas acabam não consolidando um novo paradigma, principalmente pelo fato de não terem escrito um sistema teórico amplo, envolvendo a organização e o encadeamento dos fenômenos num sistema lógico de explicação das formas no relevo.

O paradigma que foi estabelecido por essa revolução quantitativa na Geomorfologia, é muito mais ligado a um método de pesquisa desenvolvido, do que a uma questão teórica. Plenamente inserida num contexto do positivismo lógico, que nos anos 20 do século XX busca retomar os princípios do positivismo do século XIX, numa visão de ciência objetiva, que busca estabelecer os regimes de verdade. Embora outras visões surjam no panorama da filosofia da ciência na segunda metade do século XX, que se contrapõem a essa visão, principalmente na relativização da ciência em estabelecer as verdades do mundo, ainda hoje há uma visão majoritária de ciência positiva, principalmente entre as ciências exatas, que são pouco afeitas a discussões que levem em conta questões políticas e culturais, comuns nas ciências humanas, e em especial na Geografia, que fica estabelecida entre influências de vários campos científicos,

Os encontros científicos da geomorfologia e os periódicos demonstram que a influência exercida pela geração americana quantitativa ainda é de certa maneira visível. O predomínio de referências a textos dessa época, e a majoritária participação da exposição e pesquisas que valorizam aspectos quantitativos, físicos e inseridos na Geomorfologia dinâmica de processos, indica que embora grandes transformações tenham ocorrido após os anos 70, a visão de ciência implementada por Strahler, Leopold, Horton e seus colaboradores ainda é forte e predominante. Mesmo que seus métodos de pesquisa não sejam mais aplicados em plenitude, são utilizados para embasar novas ideias, permanecendo como arcabouço inspirador de uma ciência em busca de resultados e produtivista.

But justification of our tools, our methods, or our emphasis, should not occupy attention in geomorphology. If results are of intellectual interest, or lend themselves to practical prevision or forecasting, the science will prosper. (LEOPOLD and LANGBEIN, 1973, p. 192).

REFERÊNCIAS

ABREU, A.A. de. Análise geomorfológica: reflexão e aplicação - uma contribuição ao conhecimento das formas de relevo do planalto de Diamantina-MG. SP, FFLCH-USP, Tese de Livre-Docência, 1982.

_____. A teoria geomorfológica e sua edificação: Análise crítica. Revista do Instituto de Geografia da USP, v. 4 (1/2), p. 5-23, 1983.

ACKERMAN, E. Geography as a fundamental research discipline. University of Chicago, Department of Geography Research Paper 53, 1958.

_____. Where is a research frontier? (ed) The conceptual revolution in geography. London: University of London Press, 1972.

ALEXANDER, D. Leonardo da Vinci and fluvial geomorphology. American Journal of Science 1: 735–755, 1982.

BAKER, V. R.; PYNE, S. G. K. Gilbert and modern geomorphology. American Journal of Science 278, p. 97-123. February 1, 1978.

BERRY, B. Um paradigma para la geografia moderna. (ed) Nuevas Tendencias em Geografia. Madrid: Instituto de estudios de administracion local, 1975.

BRAGA M., GUERRA, A., REIS, J.C. Breve história da ciência moderna: a belle-époque da ciência. Volume 4. Rio de Janeiro : Zahar, 2011.

BURTON, I. The quantitative revolution and theoretical geography. The Canadian Geographer 7, 151-62, 1963.

BOURDIEU, P. O campo científico. In: ORTIZ, Renato (org.). Bourdieu – Sociologia. Coleção Grandes Cientistas Sociais, vol. 39, p. 122-155. São Paulo: Ática, 1983.

COORDENAÇÃO DE APERFEIÇOAMENTO DE PESSOAL DE ENSINO SUPERIOR (CAPES), Documento de área: Geografia, 2013. Disponível em: <<http://qualis.capes.gov.br/webqualis/publico/documentosDeArea.seam?conversationPr opagation=begin#>>. Acesso em: 25/06/2014

CAPEL, H. *Filosofia y Ciencia en la Geografía Contemporánea*. Barcelona: Barcanova, 1981.

CARVALHO JUNIOR, I.J.de. *Dos mitos acerca do determinismo climático ambiental na história do pensamento geográfico e dos equívocos de sua crítica: reflexões metodológicas, teórico-epistemológicas, semântico-conceituais e filosóficas como prolegômenos ao estudo da relação sociedade-natureza pelo prisma da idéia das influências ambientais*. 2011. 676 f. Tese (Doutorado em Geografia Física) – FFLCH, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.

CHORLEY, R. A re-evaluation of the Geomorphic System of W. M. Davis. in: *Frontiers in Geographical Teaching*. London: Methuen & Co, 1965.

_____. The application of quantitative methods to geomorphology. (ed) *Frontiers in Geographical Teaching*. London: Methuen & Co, 1970.

_____. The role and relations of physical geography. (ed) *Progress in Geography* 3, p 87-109, 1971.

_____. Geomorphology and general system theory. (ed) *The conceptual revolution in geography*. London: University of London Press, 1972.

_____. Geography and analogue theory. (ed.) *The conceptual revolution in geography*. London: University of London Press, 1972.

_____. Classics in physical geography revisited. *Progress in Physical Geography* vol. 19, n.4, p 533-554, 1995.

_____. Classics in physical geography revisited. *Progress in Physical Geography* vol. 24, n.4, p 563 – 578, 2000.

_____. Revolution in fluvial geomorphology. In: *The History of the Study of Landforms*, volume 4: Quaternary and Recent Process and Forms (1890 – 1965) and the mid-century revolutions. London: The Geological Society, 2008

CHORLEY R. J., BECKINSALE R.P., DUNN A.J., *The History of the Study of Landforms*, Vol 2, *The Life and Work of William Morris Davis*. Londres: Methuen, 1973.

CHORLEY R. J., DUNN A.J., BECKINSALE R.P. The History of the Study of Landforms: Or, the Development of Geomorphology, Vol. 1: Geomorphology Before Davis. Londres: Methuen & Co, 1964.

CHORLEY, R.; BECKINSALE, R.P. G.K. Gilbert's Geomorphology. Geological Society of America, Special Paper 183, p. 129 – 142, 1980.

CHORLEY, R; KENNEDY, B. A. Physical Geography : a Systems Approach. London : Prentice-Hall, 1971.

CHRISTOFOLETTI, A. Geomorfologia. São Paulo: editora Edgard Blucher, 2000.

CHURCH, M. The trajectory of Geomorphology. Progress in Physical geography 34(2), p.265 – 286, 2010.

CUNNINGHAM, F. F. The revolution in landscape science. BC Geographical series, Vancouver: Tantalus Research, 1977.

DAVIS, W.M. The Rivers and Valleys of Pennsylvania. National Geographic Magazine 1: 183-253. 1889.

_____. The Geographical cycle, GJ, 14, 481-504, 1899.

DAVIES, G. L. The Earth in Decay. A History of British Geomorphology. London: Macdonald Technical and Scientific, 1968.

DORM, R. I. Analysis of geomorphology citations in the last quarter of the 20th century, Earth Surf. Process. Landforms 27, 667–672 (2002)

DOYLE, M. W.; JULIAN J. P. The most-cited works in Geomorphology, Geomorphology 72, 2005, p. 238 – 249.

FORD, B. Armas secretas aliadas: a guerra da ciência. Rio de Janeiro : Renes, 1974.

FREEMAN, T. W. A Hundred Years of Geography. London: Gerald Duckworth, 1961.

GAMA, A., DIMUSCIO, L.A. Geomorfologia: a construção de uma identidade. In: Riscos Naturais, Antrópicos e Mistos. P. 779-796. s.d.
<http://www.uc.pt/fluc/depgeo/Publicacoes/livro_homenagem_FRebelo>
Acessado em: 10/07/2013.

GATES, A.E., A to Z of Earth scientists, New York: Facts on file, 2003.

GOHAU, G. História da Geologia. Portugal: Forum de Ciência, 1987.

GOUDIE, A. Geomorphology: It's early history. In: The SAGE handbook of geomorphology, (ed) Kenneth J. Gregory and Andrew S. Goudie, Los angeles: Sage, 2011

GRANT, E. A History of Natural Philosophy: From the Ancient World to the Nineteenth Century. Cambridge: Cambridge University Press, 2007.

GREGORY, K.J. A Natureza da Geografia Física. Rio de Janeiro: Editora Bertrand Brasil, 1992.

GREGORY, K.J., GOUDIE, A. Introduction to the discipline of Geomorphology. In: The SAGE handbook of geomorphology, (ed) Kenneth J. Gregory and Andrew S. Goudie, Los angeles: Sage, 2011

HAHN, H; NEURATH, O; CARNAP, R. A concepção científica do mundo: O círculo de Viena. Cadernos de História e Filosofia da Ciência 10, p 5-20, 1986.

HALL, F. R. Contributions of Robert E. Horton. History of Geophysics: Volume 3—The History of Hydrology. p. 113- 117, 1987.

HARRINGTON, J.W. The pre-natal roots of geology – a study in the history of ideas. AJS, 267, p.592 -597, 1969.

HARVEY, D. Explanation in Geography. London: Edward Arnold, 1969

HIGGINS, C. G. Theories of Landscape Development: A perspective. In: Theories of Landform Development. New York: Melhorn Flemal, 1975.

HOBSBAWM, E. J. Era dos extremos: o breve século XX: 1914-1991. São Paulo: Companhia das Letras, 2011.

HORTON, R.E. Erosional development of streams and their drainage basins: hydrophysical approach to quantitative morphology. Bulletin of the Geological Society of America 56, p. 275 – 370, 1945.

INTERNATIONAL ASSOCIATION OF GEOMORPHOLOGISTS (IAG), IAG/AIG Newsletter N° 29 (4/2013). Géomorphologie: relief, processus, environnement, n.1, p.

1-112, 2014. Disponível em: <<http://geomorphologie.revues.org/10563>>. Acessado em: 05/2014.

JACOBINA R. R. O paradigma da epistemologia histórica: a contribuição de Thomas Kuhn'. *História, Ciências, Saúde — Manguinhos*, VI(3): 609-630, nov. 1999-fev. 2000.

JOHNSTON, R. J. *Geografia e Geógrafos: A Geografia Humana Anglo-americana desde 1945*. São Paulo: Difel, 1986.

KENNEDY, B. *Inventing the Earth. Ideas on Landscape Development since 1740*. Malden: Blackwell Publishing, 2006.

KUHN, T. *A estrutura das revoluções científicas*. 4a ed., São Paulo: Perspectiva, 1996.

KIRKBY, M.J.; CHORLEY, R.J. Throughflow, overland flow and erosion. *Bulletin of the International Association of Scientific Hydrology*. Vol. 12, p. 5 -21. 1967

KITTS, D. B. *Structure of geology*. Dallas: Southern Methodist University Press. 1977.

LACOSTE, Y. An Illustration of Geographical Warfare: Bombing the Dikes on the Red River, North Vietnam. *Lndo: Antipode* 5, issue 2, p 1-13, 1973.

LEOPOLD, L.B. Great ideas, great problems: the Robert E. Horton lecture. *Bulletin of American Meteorological Society*, v. 55, p. 424 -426. 1974

LEOPOLD, L.B. & MADDOCK, T., The hydraulic geometry of stream channels and some physiographic implications. *U.S. Geological Survey, Professional Paper 252*, 1953.

LEOPOLD, L.B. & WOLMAN, M.G. River channel patterns – braided, meandering and straight. *U.S. Geological Survey, Professional Paper, 282B*, 39–85, 1957.

LEOPOLD, L.B.; LANGBEIN, W. B. The concept of entropy in landscape evolution. *US Geological Survey, Professional Paper 500-b*, Washington: US Government Printing Office, 1962.

_____. Association and Indeterminacy in Geomorphology. In: ALBRITTON JR, C. (ed.), *The fabric of Geology*. Londres: Addison-Wesley publishing company, 1963.

LEOPOLD, L.B.; WOLMAN, M.G., MILLER, J. P. *Fluvial processes in geomorphology*. São Francisco: Freeman and Co., 1964.

- LIVINGSTONE, D. N., The geographical tradition : episodes in the history of a contested enterprise. Oxford: Blackwell, 2008.
- MACKIN, H. 1948. Concept of graded river. Bulletin of the Geological Society of America. v. 59, pp.463-612.
- MONTEIRO, C.A. De F. William Morris Davis e a Teoria Geográfica. Revista Brasileira de Geomorfologia, v, 2, n.1, 1-20, 2001a.
- _____. Geossistemas - História de uma procura. São Paulo: Editora Contexto, 2001b.
- MORISAWA, M. The Geological Society of America Bulletin and the Development of quantitative geomorphology. Geological Society of America Bulletin, v.100, p.-1016 – 1022, 1988.
- OUELBANI, M. O círculo de Viena. tradução Marcos Marcionilo. São Paulo, SP : Parábola, 2009.
- PAYNTER, H. M. Robert E. Horton (1875–1945). American Geophysical Union, Washington, DC. S.n.t.
Disponível em: <<http://honors.agu.org/robert-e-horton-1875%E2%80%931945/>>
Acessado em: 12/04/2014
- PYNE, S. The mind of Grove Karl Gilbert: 6th Annual Geomorphology Symposium, Birghamton, N.Y., Proceesings, p. 277 -298, 1975.
- RHOADS, B. L. & THORN, C. E. The role and Character of Theory in Geomorphology. In: The Sage Book of Geomorphology, 2006.
- RHOADS, B.L; THORN, C.E. The Role and Character of Theory in Geomorphology. In: The SAGE handbook of geomorphology, (ed) Kenneth J. Gregory and Andrew S. Goudie, Los angeles: Sage, 2011.
- RITTER, D. F. Landscape analysis and the search for geomorphic unity. Bulletin of Geological Society of America 100, p. 160 – 171, 1988
- SALISBURY, N. Threads of inquiry in quantitative geomorphology. In: MORISAWA, M. (ed) Quantitative geomorphology: some aspects and pplications. State University of New York at Birghamton, Plublication in Geomophology, p. 9-40, 1971.
- SCHAEFER, F. K. Exceptionalism in Geography: a methodological examination. Annals of the Association of American Geographers, vol. 43, n. 3, p. 226-249, 1953.
- SCHILICK, M. Positivismo e Realismo. Col. Os Pensadores, vol. 44, 1980.

SCHUMM, S.A. & LICHTY, R.W. Time, space, and causality in geomorphology. American Journal of Science, vol. 263 no. 2, February 1965.

SPATE, O.H.K. How determined is possibilism? Geographical Studies 4, 3-12, 1957.

SCHEIDEGGER, A. Theoretical Geomorphology. Berlin: Springer Verlag, 1961.

_____. E. Horton's Law of Stream Numbers. WATER RESOURCES RESEARCH, Vol. 4, n3, p.655 – 658, 1968.

STODDART, D. On Geography and its history. New York: Basil Blackwell, 1986.

_____. Richard J. Chorley and the Modern Geomorphology. In: Process and Form in Geomorphology, David R. Stoddart (ed.). London and New York: Routledge. pp. 383–399.1997.

STRAHLER, A.N. Davis concepts of slope development viewed in the light of recent quantitative investigations. Annals, Association of American Geographers 40, 209-213, 1950.

_____. Dynamic basis of geomorphology. Bulletin Geological Society of America 63, 923- 938, 1952a.

_____. Hypsometric (area-altitude) analysis of erosional topography. Bulletin Geological Society of America, 63, 1117 -1142, 1952b.

_____. Quantitative analysis of watershed geomorphology. Trans. Am. Geophys. Un., 38:913-920, 1957

_____. Quantitative/dynamic geomorphology at Columbia 1945-60. Progress in physical geography 16, 1, p. 65 -84, 1992.

TATE, N.J., PARSONS, A.J., POWELL, D.M. Classics in physical geography revisited. Progress in Physical geography n.28, vol. 1, p.125 – 129, 2004.

TINKLER, K. J. A short History of Geomorphology. Sydney: Croom Helm. 1985.

VITTE, A.C. Da ciência da morfologia à geomorfologia geográfica: uma contribuição à história do pensamento geográfico. Revista de Geografia da UFC, ano 07, número 13, 2008.

_____. A construção da geomorfologia no Brasil. Revista Brasileira de Geomorfologia, v. 12, nº 3, 2011.

WHITE, G.H. Essays on the history of Geology. New York: Arno Press, 1978.

WRIGLEY, E. A. Changes in the philosophy of Geography. (ed) Frontiers in Geographical Teaching. London: Methuen & Co, 1970

WRIGHT, R; KOCH, N. Geography in the Ivy League. Dartmouth College. S.n.t. Acessado em 05/2012: http://www.dartmouth.edu/~geog/docs/ivy_geog.pdf

WOLMAN, M.G. The natural channel of Brandywine Creek, Pennsylvania. USGS Professional Paper, 271, 1955.

WOLMAN, W. G., and LEOPOLD, L. B. River flood plains - some observations on their formation. U. S. Geological Survey Prof. Paper 282C, p. 87-109, 1957