

TRIBUTO AOS FUNDADORES DA CIÊNCIA HIDROGEOLÓGICA

José Luiz Flores Machado¹

Resumo. Este artigo pretende apresentar à comunidade hidrogeológica como se processou a evolução do conhecimento sobre a origem e a ocorrência das águas subterrâneas. Rememora a biografia dos sábios e cientistas, responsáveis pelo estabelecimento do embasamento geológico e dos processos hidrológicos de sua ocorrência, que tornaram possível desse modo a inclusão da hidrogeologia como uma ciência quantitativa. Para atingir esse objetivo mostra os primeiros responsáveis por teorias e obras que contribuíram para o estabelecimento do ciclo hidrológico e os fenômenos de artesianismo das águas subterrâneas. A seguir são apresentados os principais cientistas responsáveis pelas contribuições européias e norte-americanas à geologia e hidrologia das águas subterrâneas. Destacam-se entre eles Henry Darcy e Charles V. Theis, que com suas contribuições criaram uma nova era no estudo do fluxo de fluidos e na interpretação da hidráulica transiente.

Abstract. The main purpose of this paper is present to hydrogeological community the authors of the theories related with groundwater occurrence and origin by remembering the biography of the wise persons and scientists which had been responsible in establishing geological and hydrological basis for groundwater occurrence. This knowledge made possible to hydrogeology to become a quantitative science. To construct a history of ideas in the subject, initially it is showed early biographical data and hydrogeological contributions that made correct understanding on hydrological cycle and groundwater artesian phenomenon. Afterwards it is presented the main scientists responsible by the european and north-american contributions to the groundwater hydrology and geology. The contributions of Henry Darcy and Charles V. Theis create a new era in the study of the flow of fluids and transient hydraulic interpretation.

Palavras-chave: ciência hidrogeológica, história, biografias.

¹ Geólogo, CPRM – Serviço Geológico do Brasil. Superintendência Regional de Porto Alegre. Rua Banco da Província, 105. Santa Teresa. Porto Alegre, RS CEP: 90840-030. Fone: 51-32337311. Fax: 51-32337772. email: machado@pa.cprm.gov.br

INTRODUÇÃO

A ocorrência de águas no subsolo já era conhecida pelos antigos seres humanos. As captações mais antigas começaram a aparecer já no início do período Neolítico e foram gradativamente se sofisticando. Porém, sua origem e ocorrência permaneceram um mistério. As idéias dos filósofos gregos, das quais se destacam as de Aristóteles, apesar de apresentarem uma primeira tentativa de explicação filosófica, influenciaram negativamente a sua compreensão. Ele considerava o ciclo hidrológico, que englobava a água subterrânea, como dependente exclusivamente da infiltração da água do mar em cavernas existentes nas profundezas. Quase dois mil anos se passaram entre essas primeiras considerações e as primeiras afirmações corretas sobre o ciclo hidrológico e o papel das águas subterrâneas no processo. Esta situação começa a modificar-se a partir do lançamento da obra do francês Bernard Palissy. Nesse artigo é realizada uma síntese biográfica de importantes sábios e cientistas envolvidos com a construção da ciência hidrogeológica. Na compilação dos dados, foram consultados Biswas (1970) e Machado (2008) sobre os primeiros precursores e Mather (2004), Narasimham (1998) e NWWA (1976), para as contribuições européia e norte-americana para a geologia e hidrologia das águas subterrâneas.

PRIMEIRAS CONTRIBUIÇÕES AO ENTENDIMENTO DA OCORRÊNCIA DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS E O ARTESIANISMO

Embora os filósofos gregos da Antiguidade Clássica tenham se preocupado em explicar a ocorrência das águas subterrâneas através do entendimento do fluxo das águas na natureza, infelizmente suas teorias apenas atrasaram o nascimento da Hidrologia e da Hidrogeologia. Eles influenciaram os filósofos romanos e os doutores da Igreja, que interpretaram as Sagradas Escrituras de acordo com suas teorias filosóficas. A primeira explicação correta sobre o ciclo hidrológico e conseqüentemente a origem das águas subterrâneas a partir da infiltração das águas de chuva, se deu na França no século XVI. A partir de Bernard Palissy foram criadas as condições para o estabelecimento da Hidrologia Superficial e da Hidrologia Subterrânea como ciência.

PRECURSORES DA CIÊNCIA HIDROGEOLÓGICA



Foi **Bernard Palissy** que expôs por primeira vez um conceito correto sobre o ciclo das águas. Este francês, nascido em Agen (sul da França), em 1510, morreu na Bastilha, em Paris, em 1590. Apesar de proveniente de uma família modesta, foi um autodidata, que se tornou um filósofo natural, ceramista e pioneiro paleontólogo. De modo contrário aos sábios de sua época, ele não sabia latim e grego. Sua maior contribuição à ciência hidrogeológica foi a publicação, em 1580, de seu livro *Discours Admirables de la nature de Eaux de Fontaines*. Nesse livro, o diálogo entre a *Teoria* e a *Prática* representa a rebeldia de um homem que não aceita a autoridade dos textos antigos, se eles não estão respaldados pela observação da natureza. Infelizmente a sua teoria sobre o ciclo hidrológico e a origem das fontes, por ter sido escrita em francês e não latim, a língua dos eruditos, não foi considerada pelos sábios da época.



Bernardino Ramazzini, médico italiano, nascido em Carpi, perto de Módena, em 1633, morreu em 1714, em Pádua. Professor de medicina em Módena e Pádua, autor de vários livros, foi mais conhecido pela publicação da obra « As doenças dos Trabalhadores ». Entretanto, foi muito versátil, escrevendo também sobre literatura, epidemiologia, meteorologia e hidrologia. Para a hidrogeologia sua obra mais importante foi *De fontium Mutinensium admiranda scaturigine tractatus physico-hydrostaticus*, publicada em 1691, onde trata da ocorrência das famosas águas subterrâneas artesianas de Módena. Em sua explicação sobre a origem das águas artesianas, ele utiliza por primeira vez uma seção hidrogeológica, com a identificação dos estratos atravessados pelas perfurações, além de descrever as condições de ocorrência de modo detalhado. Seguindo,

entretanto, conceitos vigentes na época, ele não acreditava que todo o fluxo dependia das chuvas e diz que o *Divino Arquiteto* colocou essas cisternas no interior dos Montes Apeninos.



Antonio Vallisneri, nascido em Trassilico, na região de Módena, em 1661, morto em Pádua, em 1730, foi um médico, cientista e naturalista italiano. No que se refere aos estudos sobre água subterrânea, o médico Antonio Vallisneri, quando reitor da Universidade de Pádua, na Itália, escreveu importante documento em 1715, versando sobre poços artesianos, denominado de *Lezione Accademica intorno all'Origine delle Fontane*. Nesse trabalho escreve sobre suas experiências e observações obtidas quando subiu nas cabeceiras dos rios da cadeia montanhosa dos Alpes. Conclui que a água não era forçada para cima, como muitos acreditavam na época, mas sim escorria sempre para baixo. Mais acima no topo dos morros estavam as neves que considerava como o “*Eterno grande reservatório*”. As ilustrações de seu livro mostram o que seriam as primeiras seções geológicas conhecidas, retratando algumas montanhas da Suíça e Alemanha, desenhadas pelo naturalista Johann Scheuchzer.

Até princípios de 1800, outros cientistas fizeram experimentos ou lançaram conceitos sobre o ciclo hidrológico, destacando-se entre eles o naturalista **Pierre Perrault** e o físico **Edmé Mariotte**, com a confirmação de que as chuvas eram suficientes para manter as vazões dos rios e o astrônomo **Edmond Halley**, que demonstrou que a evaporação dos oceanos podia manter o ciclo hidrológico global. O naturalista francês **Jean Claude de la Méthérie** demonstrou como funcionava a infiltração de água no solo, e o físico e químico inglês **John Dalton** apresentou um esquema de ciclo hidrológico que levou em consideração todas as novas descobertas. Mais especificamente com relação às águas subterrâneas, em 1783, **Erasmus Darwin**, mais conhecido como o avô do famoso cientista da Teoria da Evolução, Charles Darwin, foi um dos pioneiros que aplicou os conhecimentos de geologia para resolver seus problemas de suprimento de água artesiana.

CONTRIBUIÇÃO EUROPÉIA A PARTIR DO INÍCIO DO SÉCULO XIX



Abdon Jacques Frambourg Garnier, nascido em 1785, em Ferté-Vidame, morto em Paris, em 1865, diplomou-se engenheiro de minas na conceituada École de Mines de Paris. Apesar de pouco conhecido na comunidade hidrogeológica, teve grande importância no estudo das águas subterrâneas no início do século XIX. Quando ele era engenheiro de minas em Arras, foi vencedor do concurso da **Société d'Encouragement pour l'industrie nationale** para a apresentação de um trabalho sobre sondagem e captação de águas subterrâneas artesianas. Como resultado da participação nesse concurso, lançou em 1821 um tratado denominado *De l'art du fontenier sondeur et des puits artésiens*, onde condensou todo o conhecimento sobre poços em sua época. Muito bem recebido, esse livro teve uma nova edição ampliada no ano de 1826, denominada *Traité sur les puits artésiens ou sur les différentes espèces de terrains dans lesquels on doit rechercher des eaux souterraines*, tendo sido considerado um clássico sobre geologia e perfuração de poços durante muitos anos.

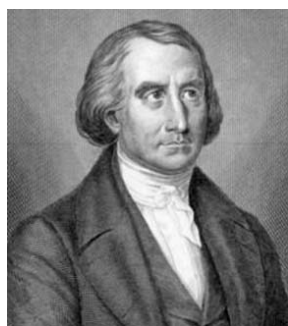


William Strata Smith, nasceu em Churchill, Inglaterra, em 1769, e morreu em Northampton, em 1839. Ao contrário dos outros contribuintes ao avanço da ciência hidrogeológica, ele recebeu pequena educação formal, mas na juventude aprendeu geometria, agrimensura e topografia. Isto o credenciou a ser o que hoje denominamos de engenheiro agrimensor e propiciou que até 1794 ele já conhecesse todas as regiões da Inglaterra. Devido ao fato de usar fósseis, que eram seu maior interesse, na determinação das seqüências estratigráficas e geológicas, hoje é conhecido como o “Pai da Geologia Estratigráfica”. Seus conhecimentos geológicos e estratigráficos lhe serviram de base para realizar um importante trabalho hidrogeológico na cidade

de Scarborough, cujos resultados podem ser visualizados na publicação de 1827, denominada *On retaining water in the rocks for summer use*. Nele utiliza os conhecimentos de geologia de água subterrânea, para resolver os problemas de necessidade e conservação de água, descrevendo métodos de suprimento de água para a cidade durante o verão. Este foi um dos poucos trabalhos sobre águas subterrâneas na Inglaterra durante esta época. Essa falta de estudos contrasta com o que ocorria na França, onde vários cientistas dedicavam-se ao entendimento dos processos que regiam o armazenamento e fluxo das águas subterrâneas.



O **Visconde Louis-Étienne François Héricart de Thury**, nasceu em Paris, em 1776 e morreu em Roma, em 1854. Foi importante personagem de política e ciência na França. Engenheiro de minas, diplomado pela *École de Mines de Paris*, foi *Ingénieur en Chef* do *Corps Royal des Mines* em Paris. Como presidente da **Société Royale et Centrale d'Agriculture** promoveu concursos para desenvolver a setor de aproveitamento das águas subterrâneas artesianas. Suas maiores contribuições para a hidrogeologia estão em um magnífico livro seu, lançado em 1829, intitulado *Considérations Géologiques e Physiques sur la cause de Jaillissement des Eaux des Puits Foré ou Fontaines Artificielles*, onde apresenta o estado da arte das águas subterrâneas e sua captação na França e em outros países. Sua ação também foi decisiva para a cidade de Paris decidir pela perfuração do célebre poço artesiano de Grenelle (1833-1841), na época o poço mais profundo do ocidente.



François Jean Dominique Arago, que nasceu em Estagel, em 1780 e morreu em Paris, em 1853, foi eminente físico, astrônomo e político francês. Ocupou os cargos de prefeito de Paris e também de primeiro-ministro da França em 1848. Foi durante a sua administração de Paris que foi iniciado o poço artesiano de Grenelle, que terminou com 548 metros de profundidade,

tendo sido locado por ele com critérios estratigráficos, para alcançar os sedimentos arenosos da Bacia de Paris. Escreveu artigos muito esclarecedores sobre poços perfurados artesianos, muito apreciados na época, já que os equipamentos de bombeamento para poços ainda não estavam desenvolvidos. Entre esses artigos pode ser citado por sua importância o denominado *Les Puits Foré*, onde discorre sobre a origem da água dos poços, perfurações em outros países, condições hidrogeológicas do artesianismo, efeitos da maré nos níveis de água e temperatura da água nos poços. Do mesmo modo que nas publicações anteriormente descritas, os textos dedicavam-se basicamente às condições geológicas da ocorrência das águas e avanços nas atividades de perfuração, não existindo menção alguma quanto à hidrologia dessas águas, o que só ocorreria após os trabalhos de H. Darcy.

DARCY E SUA LEI



Henry Philibert Gaspard Darcy foi um engenheiro hidráulico muito respeitado em seu tempo, e seu nome está intimamente associado ao estudo da hidrogeologia. Seu nome continua presente até a atualidade entre os hidrólogos e hidrogeólogos. Henry Darcy nasceu em Dijon, na França, em 1803, tendo frequentado o curso de engenharia civil da *École Polytechnique* e posteriormente se diplomado engenheiro de pontes e estradas na *École de Ponts e Chaussés*, também em Paris. Morreu em 1858 durante uma viagem a Paris. Não foi antes de meados do século XIX que a hidrologia de águas subterrâneas se tornou uma ciência quantitativa, graças ao que hoje denominamos Lei de Darcy. Curiosamente, a origem da hidráulica dos meios porosos foi devida ao insucesso de uma captação de águas subterrâneas. No abastecimento público de sua cidade natal, Dijon, Darcy examinou várias alternativas, descartando o abastecimento por águas subterrâneas, que ali apresentavam baixa potencialidade. Como necessitou captar águas superficiais, a necessidade de projetar filtros de areia mais eficientes, o obrigou a fazer experimentos para conhecer o fluxo das águas através do meio poroso desses filtros de areias. Desse modo, observou que o fluxo de água no filtro era função do gradiente entre dois pontos, a área do meio e habilidade de transportar água. O resultado de seus projetos e estudos em Dijon foram publicados em 1856 no

relatório *Les Fontaines Publiques de la ville de Dijon*, no qual encontra-se o apêndice que deu origem à era da hidrogeologia quantitativa.



Arsène Jules Étienne Dupuit, foi um contemporâneo de Darcy e talvez um dos mais ilustres engenheiros e economistas franceses. Ele nasceu em 1804, em Fassano, na Itália dominada por Napoleão Bonaparte e morreu em Paris, em 1866. Treinado na École de Ponts et Chaussées de Paris, foi um engenheiro civil com orientação teórica, matemática, sendo considerado também um importante economista, com inúmeros trabalhos publicados nesta área. Além de suas contribuições à hidráulica de canais abertos, ele notabilizou-se na ciência hidrogeológica pelo fato de ser o primeiro a propor soluções para o fluxo subterrâneo utilizando a lei de Darcy. Seu nome é ainda considerado um sinônimo para a equação do fluxo simétrico de água em direção aos poços, em um meio poroso. O problema foi tratado em um capítulo de seu trabalho de 1863, intitulado *Études théoriques et pratiques sur le mouvement des eaux dans les canaux découverts et à travers les terrains perméables*. Ainda em relação à hidráulica de poços, analisou o papel dos poços no sistema regional de águas subterrâneas.

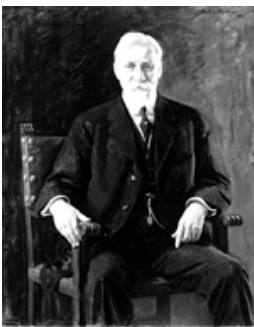


Gabriel Auguste Daubrée nasceu em Metz, em 1814 e morreu em Paris, em 1896. Teve grande importância para os avanços geológicos e geoquímicos, sendo um pioneiro na aplicação de métodos experimentais no estudo de problemas geológicos. Ele estudou engenharia de minas na École Polytechnique de Paris, tendo posteriormente ensinado mineralogia e geologia em Strasbourg. Seu mais notável trabalho dirigido ao estudo das águas subterrâneas, foi o livro em 3 volumes *Les Eaux Souterraines aux époques anciennes et à l'époque actuelle*, editado em 1887. Nessa obra, dedica-se aos fenômenos evolutivos geológicos relacionados com o fluxo subterrâneo das águas, além dos avanços na captação das águas subterrâneas e as características físicas que

governam sua ocorrência. Um de seus amigos e admiradores foi o Imperador Dom Pedro II, que o convidou para fundar a Escola de Minas de Ouro Preto. Devido à sua impossibilidade em aceitar o convite, indicou Claude Henri Gorceix, que com grande competência ajudou a fundar em 1876, a Escola e o ensino de geologia e mineração no Brasil.

Muitos outros cientistas europeus contribuíram para o desenvolvimento teórico e prático do setor das águas subterrâneas. Dentre eles, merecem ser citados os engenheiros civis alemães **Adolph Thiem** e seu filho **Günther Thiem**, que fizeram análises teóricas relativas ao fluxo das águas em direção aos poços, propondo equações para o cálculo de permeabilidades em regime estacionário. Com relação ao tratamento teórico da ocorrência das águas subterrâneas, devem ser destacados os trabalhos do engenheiro hidráulico austríaco **Philipp Forchheimer**. Foi ele que estabeleceu a relação entre as superfícies equipotenciais e as linhas de fluxo. Também foi o primeiro a aplicar o método das imagens para resolver problemas de fluxo das águas. Finalmente, de enorme importância para o estudo da interface água doce - água salgada e intrusão marinha foram os trabalhos desenvolvidos de modo independente pelo holandês **W. Badon-Ghyben** e o alemão **A. Herzberg**, respectivamente em 1889 e 1901.

O PAPEL DOS CIENTISTAS NORTE-AMERICANOS NA TRANSFORMAÇÃO DA HIDROGEOLOGIA EM UMA CIÊNCIA QUANTITATIVA



Thomas Chrowder Chamberlin nasceu em 1843, em Mattoon, no sul de Illinois e permaneceu ativo profissionalmente até sua morte em 1928, em Chicago. Após sua graduação no Beloit College, estudou geologia na University of Michigan, sendo posteriormente contratado como geólogo do Wisconsin Geological Survey e do United States Geological Survey (USGS). A partir de 1887 até 1892 foi reitor da University of Wisconsin, quando então recebeu convite para fundar o departamento de geologia da University of Chicago. Chamberlin é muito conhecido por suas contribuições aos estudos de geologia glacial e por ser o fundador e editor do *Journal of Geology* por muitos anos. Até o aparecimento de seus trabalhos, a hidrogeologia norte-

americana era restrita somente à procura de poços surgentes, sem uma preocupação quanto à extensão dos aquíferos e sua origem. Ainda no Wisconsin Geological Survey, em 1883 publicou o primeiro trabalho sobre as condições artesianas, denominado simplesmente de *Artesian Wells*. Quando já estava no USGS, publicou uma versão revisada e ampliada em 1885, denominada de *The Requisite and Qualifying Conditions of Artesian Wells*, tendo sido o primeiro artigo hidrogeológico do Serviço Geológico. A alta qualidade deste *paper* o tornou um best-seller não só nos Estados Unidos como em muitos outros países, servindo de guia para o desenvolvimento e propagação dos conhecimentos hidrogeológicos.

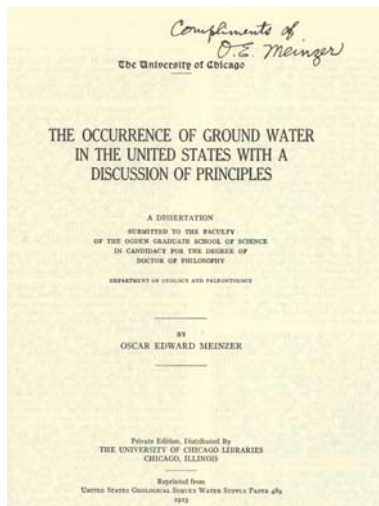


Charles Sumner Slichter foi um engenheiro civil, matemático e físico, que fez importantes contribuições à hidrologia subterrânea. Ele nasceu em 1864 em Madison, Wisconsin, e morreu em 1946, também em Madison. Graduou-se na Cornell University em 1885 e na Northwestern University em 1887, e desde 1886 já ensinava na University of Wisconsin, como instrutor de matemática. Foi um dos primeiros cientistas norte-americanos a contribuir de forma efetiva na hidrodinâmica e hidráulica de águas subterrâneas, que até então nos Estados Unidos conhecia avanços apenas com relação à sua geologia. De maneira independente, chegou a conclusões muito semelhantes às de Forchheimer na Europa. Slichter produziu um relatório em 1899, intitulado *Theoretical Investigation of the Motion of Ground Waters*, onde demonstrava que a compreensão do fluxo de água subterrânea era possível por tratamento matemático, demonstrando que seu movimento era análogo ao da condução de calor e eletricidade. Muito importante em seu trabalho é a investigação da significação física da condutividade hidráulica, que antes era tratada apenas como um coeficiente empírico de Darcy. Com o uso de traçadores salinos, Slichter pode ser considerado como o primeiro pesquisador de transporte de contaminantes nos aquíferos.



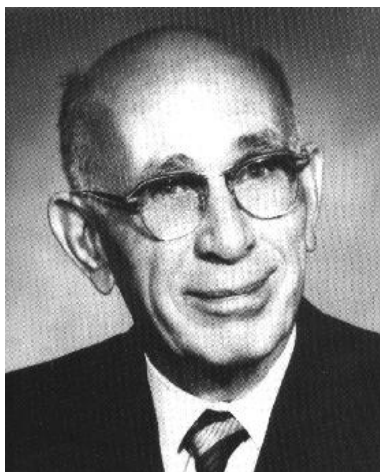
F. H. KING

Ainda com relação aos avanços na hidrologia das águas subterrâneas, destacam-se as contribuições de **Franklin Hiram King**, engenheiro agrônomo especialista em física do solo, professor de engenharia hidráulica na University of Wisconsin e empregado do setor de águas subterrâneas do USGS. Os resultados de seus trabalhos são muito complementares aos de Slichter, de quem foi companheiro na University of Wisconsin. Seu *paper* de 1899, intitulado *Principles and Conditions of the Movements of Ground Water*, descreve resultados de laboratório e de campo, de grande significado para a hidrogeologia. Dentre suas observações podem ser citadas: que a água subterrânea flui de acordo com a gravidade; o nível das águas pode ser representado por mapas de contorno; o fluxo é indicado através destes mapas por flechas perpendiculares às curvas de potencial; o fluxo das águas subterrâneas pode ser representado em seções transversais e que o nível freático pode refletir a superfície topográfica. Em seu *paper* apresenta o que possivelmente seja o primeiro mapa de fluxo das águas, mostrando curvas do nível freático e as linhas de fluxo em direção a uma drenagem superficial.



Todas as valiosas contribuições, feitas pelos cientistas europeus e norte-americanos, não foram suficientes para que a ciência da água subterrânea fosse um campo reconhecido pela sua importância, isso ainda nos princípios do século XX. Entretanto, no USGS a Division of Ground Water, chefiada por **Oscar Edward Meinzer**, proporcionou uma mudança nessa situação. Meinzer, nascido em Davis, Illinois, em 1876, geólogo do USGS de 1906 até 1946, faleceu em 1948, após dedicar grande parte de sua vida às águas subterrâneas. É reconhecido pela comunidade

hidrogeológica, com justiça, como o Pai da Hidrologia Subterrânea, e o responsável pelo período de 1910 a 1940 ser conhecido como a Meinzer Era. Sua contribuição consistiu na sistematização de todo o conhecimento gerado sobre esse tema até a época do término do seu doutorado na University of Chicago, criando uma disciplina específica para a hidrologia subterrânea. Seu *paper* de 1928, denominado de *Compressibility and Elasticity of artesian waters*, foi tão importante, que proporcionou que quase uma década depois embasasse o nascimento da hidráulica dos fluxos transientes, isto é, dependentes do tempo. Também estudou a subsidência dos terrenos devido ao bombeamento dos poços. Na obra *Hydrology*, editada por ele em 1942, se expressa do seguinte modo: *A ciência da hidrologia está intimamente conectada com o desenvolvimento da sociedade humana. Em cada projeto, o avanço da hidrologia chegou como resposta às necessidades das pessoas, e cada avanço na ciência tem trazido possível um serviço mais efetivo.*



Possivelmente o hidrogeólogo mais conhecido seja **Charles Vernon Theis**, e isto é devido à sua equação para interpretação de bombeamentos em regime de não-equilíbrio. Theis nasceu em Newport, Kentucky, em 1900. Sua educação básica foi em engenharia civil na University of Cincinnati e finalizou seus estudos em 1929 com o primeiro doutorado em geologia dessa mesma universidade. Trabalhando com hidráulica de poços no Tennessee e no Novo México, ele notou que os métodos usados então, denominados métodos em regime permanente ou de equilíbrio, deixavam a desejar quanto à fidelidade dos resultados, pois com o tempo os níveis de água no bombeamento se modificavam significativamente. Observando o que ocorria nos aquíferos, considerou que nem sempre ocorria recarga que proporcionasse a estabilização do rebaixamento, e que a água poderia ser proveniente do armazenamento do aquífero. Para a resolução do seu problema, Theis baseou-se nos estudos recentes sobre a transferência do calor e na analogia que este tinha com o fluxo da água subterrânea. Para a demonstração de sua equação de não-equilíbrio, ele recebeu o auxílio de seu amigo Clarence Lubin, matemático da University of Cincinnati. Em 1935, Theis apresentou seu *paper*, intitulado *The Relation between the Lowering of the Piezometric Surface and the Rate and*

Duration of Discharge of a Well Using Ground Water Storage, na Transactions of American Geophysical Union. Pouco tempo depois, a “Equação de Theis” começou a ser aplicada pela comunidade hidrogeológica internacional, e tornou, sem dúvida, a hidrogeologia em uma ciência “moderna”. Apesar de ser mais conhecido pela sua equação relacionada com os testes de bombeamento em regime transiente, seu legado para a hidrologia subterrânea é muito mais abrangente. Ele foi um dos primeiros a enfatizar a importância das heterogeneidades geológicas nos aquíferos, além do significado da natureza do cone de rebaixamento e os fatores que controlam a recarga e a origem das águas captadas pelos poços. Após sua aposentadoria do USGS, ele continuou trabalhando até sua morte em Albuquerque, New Mexico, em 1987.



Marion King Hubbert, foi um eminente geólogo e geofísico, nascido em San Saba, Texas, em 1903, permanecendo em atividade na geologia do petróleo até sua morte em 1989. Ele graduou-se em geologia na University of Chicago, onde também cursou mestrado e doutorado em geofísica, com ênfase em matemática. Dentro da grande comunidade geológica e de petróleo ele é mais conhecido por ter feito a previsão do pico de exploração do petróleo com cerca de 20 anos de antecedência. Para a comunidade hidrogeológica, sua importância reside nas contribuições para a hidrodinâmica das águas subterrâneas, o que também possibilitou a utilização desses conhecimentos na exploração de petróleo. Sua publicação de 1940, intitulada *The Theory of Ground-Water Motion* ainda hoje permanece como um tratado significativo e de grande abrangência na interpretação da condutividade hidráulica. Nesse trabalho, ele derivou a lei de Darcy a partir da equação de Navier-Stokes e introduziu, em sua derivação, o conceito de potencial de força no fluido. Formalmente, definiu a permeabilidade com base no balanço entre as forças propulsoras e resistivas, sua relação com as linhas de fluxo, proporcionando os fundamentos para um estudo dos sistemas regionais de águas subterrâneas.

No início dos anos 40, os fundamentos matemáticos e físicos dos fluxos de equilíbrio e não-equilíbrio, em um meio poroso, já estavam claramente definidos, permitindo o estabelecimento da

era quantitativa moderna nas ciências hidrogeológicas. A partir dessa época houve uma explosão de conhecimentos de hidráulica subterrânea, hidrogeoquímica, aplicação de isótopos, modelagem numérica, hidrogeologia de contaminantes e remediação de aquíferos. Dentre o grande número de cientistas envolvidos na geração desse conhecimento, destacam-se por sua importância, os engenheiros C. E. Jacob, Mahdi S. Hantush e Hilton H. Cooper Jr., por suas contribuições na modificação da equação de Theis para novas aplicações em testes de aquíferos. Na hidrogeologia química, muito importantes foram os trabalhos de Arthur Piper, Henri Schoeller, John David Hem e William Back. Salienta-se também a contribuição russa à metodologia de investigações hidrogeológicas e hidrodinâmica, através de A. Sillin-Beckchurin e Pelageya Yakovlevna Polubarinova Kochina.

CONCLUSÕES

Somente após o lançamento da obra de Palissy houve condições para interpretações corretas sobre o funcionamento do fluxo das águas subterrâneas. Em um intervalo de aproximadamente 250 anos, foram se construindo os modelos geológicos de como funcionavam os processos que levavam ao artesianismo jorrante, que no ocidente foi por primeira vez conseguido no poço de Artois (França), através de uma perfuração. Nas primeiras cinco décadas do século XIX acompanhando o desenvolvimento dos conceitos geológicos, foram também aprimoradas as técnicas de perfuração, se destacando os avanços obtidos na França.

Até 1856 não era possível qualquer tratamento quantitativo da potencialidade dos aquíferos e das vazões obtidas através dos poços. Isso só foi possível através dos estudos de Henry Darcy sobre a permeabilidade em meios porosos. Através de sua fórmula foi possível obter-se as primeiras equações para o tratamento dos dados dos poços profundos.

A contribuição norte-americana através da sistematização de todo o conhecimento das águas subterrâneas através dos trabalhos de Oscar Meinzer possibilitou a fundação da moderna ciência hidrogeológica. Entretanto, para finalizar deve ser ressaltado que o maior avanço da hidrogeologia no século XX deve-se ao estabelecimento da fórmula de não-equilíbrio de C. V. Theis, que revolucionou toda a avaliação quantitativa de poços profundos, servindo de base para a maioria dos estudos posteriores das águas subterrâneas.

Além dos sábios e cientistas citados, muitos outros colaboraram na evolução do conhecimento hidrogeológico, e foram tantos que seria impossível incluir seus nomes nessa síntese. Optou-se aqui por aqueles que contribuíram para o arcabouço fundamental e básico de todo o conhecimento hidrogeológico atual.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Biswas, A. K. 1970 History of hydrology. Amsterdam: North-Holland Publishing Company.

Machado, J. L. F. 2008 ÁGUAS SUBTERRÂNEAS E POÇOS Uma jornada através dos tempos. Editora Letra & Vida. Porto Alegre. 127 p.

Mather, J. D. 2004 200 Years of British Hydrogeology. Geological Society, London. Special publications, 225.

Narasimhan, T. N. 1998 Hydraulic Characterization of Aquifers, reservoir rocks, and soils: a history of ideas. Water Resources Research, v. 31, n° 1. p. 33-46.

NWWA. 1976 Two-Hundred Years of Hydrogeology in the United States. Prepared by USGS. Proceedings of the Symposium on “Hydrogeology in the United States, 1776-1976”. Geological Society of America, Denver.