

1

Introdução

1.1

Apresentação do problema

A avaliação de recursos hídricos subterrâneos em bacias hidrográficas, sustentadas por rochas fraturadas é usualmente feita através de métodos indiretos, sendo calculada a partir de balanços hídricos que geralmente utilizam dados de hidrologia de superfície. Embora estes cálculos possam representar boas aproximações das vazões subterrâneas totais que circulam numa determinada bacia hidrográfica, eles não expressam as variações espaciais e temporais da recarga subterrânea, importantes para estudos de sustentabilidade destes recursos.

No caso de bacias compostas por rochas fraturadas, a quantificação de reservas subterrâneas depende da avaliação de propriedades hidráulicas das principais feições estruturais presentes, e de suas relações de escala dentro da bacia. As investigações necessárias para uma caracterização adequada de aquíferos fraturados incluem a execução de testes hidráulicos em sondagens e poços profundos e o emprego de técnicas geofísicas, resultando em custos muito acima da realidade dos orçamentos normalmente disponíveis para projetos de avaliação de recursos hídricos. Modelagens numéricas de fluxo aplicadas a estudos de recursos hídricos subterrâneos, neste tipo de bacia, ficam, portanto, limitadas pela falta de dados de qualidade que alimentem o modelo. Além do problema dos altos custos envolvidos, existe uma grande incerteza quanto aos valores obtidos, devido à grande heterogeneidade do meio fraturado e a dificuldade de se generalizar os resultados para áreas mais extensas (Neuman, 2005) como, por exemplo, uma bacia hidrográfica.

Uma revisão de dados hidrogeológicos de diversos sítios demonstrou que enquanto a faixa de variação de valores das propriedades hidráulicas de rochas fraturadas, de forma genérica, é muito grande, a variação para tipos litológicos individuais é mais restrita (i.e. granitos fraturados versus gabros fraturados). O ambiente tectônico gerador do fraturamento e a profundidade de ocorrência das estruturas são também importantes condicionantes da permeabilidade de meios fraturados (Gale, 1982; Nelson, 1985; Ericsson & Ronge, 1986; Raven, 1986).

Como parte da presente Tese, foi realizada uma compilação de dados hidrogeológicos de maciços fraturados, investigados em detalhe no âmbito de projetos de disposição de rejeitos radioativos, mineração e engenharia civil. Dentre os projetos pesquisados mereceram destaque o Nuclear Fuel Waste Management Program, executado pela AECL (Atomic Energy Canadá Limited) no Escudo Canadense, e o Swedish Nuclear Program, no Escudo Báltico, por terem sido projetos de investigação sistemática do meio fraturado. Os maciços investigados pertencem a diversos tipos litológicos e ambientes tectônicos, abrangendo rochas fraturadas, zonas de fraturas e zonas de cisalhamento. Os dados correspondem a testes hidráulicos executados em diversas profundidades, chegando a valores superiores a 1000 m. Os resultados dos testes foram organizados segundo o tipo litológico e ambiente tectônico, tendo sido geradas, para cada grupo, distribuições de frequência de condutividade hidráulica para diferentes intervalos de profundidade, atingindo mais de 500 m.

Admitindo-se que as características acima referidas são as principais condicionantes das propriedades hidráulicas de um maciço fraturado, dados de um determinado sítio investigado em detalhe podem ser utilizados em outro, desde que ambos possuam semelhanças quanto a estas propriedades. Para isto é necessário um mapeamento geológico de detalhe e a determinação das principais estruturas condicionantes do fluxo subterrâneo, bem como a caracterização do ambiente tectônico gerador das estruturas (e.g. zonas de cisalhamento, formação de grábens, presença de intrusões). As propriedades hidráulicas das rochas de uma determinada bacia podem então ser atribuídas com base nas propriedades de um sítio semelhante e em função da profundidade de ocorrência das fraturas na bacia.

Esta abordagem foi aplicada na bacia do córrego Barro Branco, uma sub-bacia do Rio São Domingos, afluente do Rio Paraíba do Sul, com aproximadamente 5,7 Km² de área, localizada no Noroeste do Estado do Rio de Janeiro e objeto de estudo do Projeto PRODETAB/AQUÍFEROS – “*Planejamento Conservacionista e Modelagem Preditiva de Sistemas Aquíferos do Cristalino para a Recarga Hídrica em Bacias Hidrográficas de Relevo Acidentado*” (EMBRAPA). A área é uma das principais produtoras de tomate do Estado e depende da água subterrânea para sustentar a lavoura, já que a região vem experimentando cenários de seca e de desertificação.

A metodologia empregada na avaliação da recarga e do fluxo subterrâneo incluiu a elaboração e calibração de um modelo numérico de fluxo, em 3D, da bacia de Barro Branco, utilizando o programa FEFLOW (Diersch, 1998). Os dados de alimentação do modelo incluíram registros pluviométricos e fluviométricos, medições de nível d’água em poços rasos, mapa pedológico, dados de retenção dos solos da região, mapa geológico com detalhamento de falhas e fraturas e um modelo digital de terreno. Os valores de condutividade hidráulica das rochas e estruturas que compõe a bacia foram atribuídos com base nos valores encontrados em um sítio semelhante, no Canadá. Foram feitas simulações reproduzindo diferentes cenários de bombeamento, utilizando dados de pluviometria de uma série histórica de 20 anos. O modelo tentou simular o comportamento hidráulico das estruturas que controlam o fluxo subterrâneo na bacia e a distribuição espacial da recarga, tendo como principal objetivo a avaliação do impacto do bombeamento na vazão dos cursos d’água superficiais.

O estudo demonstrou ser possível a obtenção de uma boa avaliação quantitativa de reservas subterrâneas, como uma primeira aproximação, em bacias sustentadas por aquíferos cristalinos fraturados, a partir de dados normalmente disponíveis em projetos de pesquisa de geologia e meio ambiente e, especialmente, na área de recursos hídricos. O modelo numérico desenvolvido foi capaz de simular diferentes cenários de bombeamento e avaliar o seu impacto na bacia em termos de balanços de massa, envolvendo a recarga direta, a recarga indireta, induzida pela exploração, e a descarga nos cursos d’água superficiais. Outro aspecto importante do modelo foi a sua capacidade de avaliação do impacto que diferentes arranjos espaciais da

exploração exercem na vazão escoada pelo rio, em função do posicionamento dos poços em relação às áreas de descarga e às unidades hidroestruturais definidas.

1.2

Objetivos

Esta Tese teve por objetivo o desenvolvimento de um modelo numérico para avaliação de recarga e de vazões sustentáveis de exploração de água subterrânea na micro-bacia de Barro Branco, através de cenários simulados de bombeamento e de precipitação. Outro objetivo deste trabalho, que deu suporte ao primeiro, foi dar início à construção de uma base de dados de condutividade hidráulica de rochas fraturadas, organizada por tipo litológico, faixa de profundidade e ambiente tectônico, para utilização em estimativas e modelagens numéricas de fluxo em sítios de rochas fraturadas.

1.3

Justificativas

A bacia do Rio São Domingos está inserida na bacia do rio Paraíba do Sul, que se estende sobre os Estados de São Paulo, Minas Gerais e Rio de Janeiro, tendo sido a primeira bacia hidrográfica no Brasil a formar um Comitê de Gestão de Recursos Hídricos (CEIVAP). Por esse motivo, e por drenar três dos Estados mais populosos do Brasil, a bacia do Paraíba do Sul é considerada um modelo no que diz respeito a soluções e diretrizes de gestão de recursos hídricos. O cálculo de reservas superficiais e subterrâneas é essencial para a concessão de outorgas de uso de mananciais. No caso do Estado do Rio de Janeiro, vários municípios situados nesta bacia dependem da água subterrânea para abastecimento da sua população e para sustentar atividades agrícolas, especialmente na região serrana. A geologia do Estado é predominantemente composta por terrenos cristalinos, portanto modelos numéricos de fluxo em rochas fraturadas são particularmente importantes para avaliações de reservas e estudos de sustentabilidade destes recursos.

Esta Tese pretende contribuir para a pesquisa de recursos hídricos subterrâneos em rochas fraturadas, especialmente para a quantificação e análise de sustentabilidade destes recursos através de modelos numéricos de fluxo. Pretende também contribuir para o planejamento da aquisição de dados de campo em projetos da área ambiental e de recursos hídricos, através da identificação de dados relevantes a serem levantados, de modo a otimizar a aplicação de recursos e reduzir as incertezas inerentes à modelagem de fluxo subterrâneo em bacias hidrográficas sustentadas por rochas fraturadas.

1.4

Organização da Tese

A Tese foi organizada em oito capítulos, incluindo o presente, introdutório. No Capítulo 2 é apresentada uma revisão bibliográfica abordando o tema da recarga subterrânea, seus métodos de estimativa e sua relação com a sustentabilidade de exploração de água subterrânea em bacias hidrográficas, ou sistemas aquíferos. São apresentados alguns casos de aplicação de modelagem numérica para estimativa de reservas subterrâneas sustentáveis em diversos países. O Capítulo 3 corresponde a uma descrição da área de estudo, com a caracterização do meio físico da bacia do Rio São Domingos e da sub-bacia do Barro Branco. No Capítulo 4 é apresentada a metodologia empregada no trabalho. No Capítulo 5 se encontra a apresentação do modelo hidrogeológico conceitual da bacia de Barro Branco, com as justificativas dos parâmetros e condições de contorno utilizadas. O Capítulo 6 corresponde ao desenvolvimento do modelo numérico, sua calibração e avaliação de sensibilidade. No Capítulo 7 são analisadas as simulações de seis diferentes cenários de exploração de água subterrânea na bacia de Barro Branco. São também discutidos os critérios de sustentabilidade de exploração na bacia. Finalmente, no Capítulo 8 são apresentadas as conclusões e considerações finais sobre os resultados alcançados, e as possibilidades de melhoria e continuidade da pesquisa.