

ÁGUA SUBTERRÂNEA NA AMAZÔNIA
IMPORTÂNCIA, ESTADO ATUAL DO CONHECIMENTO
E ESTRATÉGIAS DE PESQUISA

Ingo Wahnfried
Emilio Alberto Amaral Soares

Não se sabe quanta água existe na Amazônia. Os dados mais consistentes referem-se à área da bacia hidrográfica e às vazões dos grandes rios. Mas falta o elo subterrâneo do ciclo hidrológico: a água contida nos aquíferos. Na Amazônia, dois terços das sedes municipais são abastecidas exclusivamente ou parcialmente por água subterrânea. Todas as empresas do Polo Industrial de Manaus usam poços. O clima, a hidrologia e a geologia da região contribuem para uma intensa conexão entre água subterrânea e superficial, à qual a biota amazônica está adaptada. O conhecimento hidrogeológico ganhará ainda mais importância quando ocorrer a intensificação dos efeitos das mudanças climáticas, do desmatamento e da contaminação de água superficial e subterrânea. Se não for feito um esforço coordenado de pesquisa para estudar estes aquíferos, serão necessárias mais do que as quase quatro décadas usadas para compreender o Sistema Aquífero Guarani. Por conta das mudanças em curso e da sensibilidade intrínseca dos aquíferos amazônicos, não dispomos de todo este tempo.

Introdução

A escassez de informações geológicas de superfície e subsuperfície em grande parte da região amazônica impede que sejam feitas estimativas minimamente precisas do volume armazenado nos aquíferos da região. Mesmo sem dados, órgãos governamentais e pesquisadores se arriscam a apresentar valores. O Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) divulgou que 45% da água subterrânea potável do país estão localizados na região amazônica, com base na área total de exposição das unidades geológicas sedimentares em superfície.¹ Do modo como foi feito, o cálculo inclui as grandes extensões de unidades geológicas de composição argilosa, que provavelmente não são aquíferos, superestimando o volume total de água. Outro trabalho recente divulgou a existência de um grande rio subterrâneo na Bacia Hidrográfica do Rio Amazonas, com extensão superior a 6.000km, localizado a 4.000m de profundidade, e com vazão de 3.900m³/s, superior à do Rio São Francisco. Esta divulgação teve ampla repercussão nos meios de comunicação nacionais e internacionais.² Erros conceituais graves, como a afirmação de que um aquífero não possui fluxo de água, ou a consideração implícita de que todas as formações geológicas presentes nas bacias sedimentares amazônicas permitem a passagem de água, geraram duras e merecidas críticas, e evidenciaram que o tal rio subterrâneo não existe.³ A falta de informação abre espaço para a desinformação e deve ser sanada através de políticas públicas de pesquisa.

Relevância da água subterrânea na Amazônia

Abastecimento de água

Parece paradoxal afirmar que a água subterrânea na maior bacia hidrográfica do planeta é fundamental para o abastecimento da população local. Fatos comprovam, de forma sucinta, que a afirmação é correta. Estudo realizado pela Agência Nacional de Águas, cujo objetivo foi levantar a situação atual de abastecimento de todas as 5.565 sedes municipais do país, demonstra que 58% das cidades da região norte são abastecidas exclusivamente por água subterrânea, e que 7% possuem sistemas mistos de abastecimento (tabela 1).⁴ Portanto, dois terços de todas as sedes municipais da região norte do Brasil usam água subterrânea, apesar de quase todas estarem localizadas na bacia hidrográfica do Rio Amazonas.

¹ IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. “Geostatísticas” revelam patrimônio ambiental da Amazônia Legal, disponível em http://www.ibge.gov.br/home/presidencia/noticias/noticia_visualiza.php?id_noticia=1887&id_pagina=1, acessado em 12/04/2012, 2011.

² O ESTADO DE SÃO PAULO. Cientistas anunciam rio subterrâneo de 6 mil km embaixo do Rio Amazonas, disponível em <http://www.estadao.com.br/noticias/impresso,cientistas-anunciam-rio-subterraneo-de-6-mil-km-embaixo-do-rio-amazonas,763463,0.htm>, acessado em 12/04/2012, 2011.

THE GUARDIAN. Underground river ‘Rio Hamza’ discovered 4km beneath the Amazon, disponível em <http://www.guardian.co.uk/environment/2011/aug/26/underground-river-amazon>, acessado em 25/03/2012, 2011.

³ BBC. BRITISH BROADCASTING CORPORATION. Subterranean Amazon river ‘is not a river’, disponível em <http://www.bbc.co.uk/news/science-environment-14693637>, acessado em 25/03/2012, 2011.

CARNEIRO, C. D. R.; SALAMUNI, E.; VAZ, L. F. & FRANK, H. T. Carta Aberta sobre o “Rio Hamza”, disponível em <http://cienciahoje.uol.com.br/blogues/bussola/2011/09/Carta.Aberta.GELOGOS.sobre.Rio.Hamza.pdf/view>, acessada em 25/03/2012, 2011.

⁴ ANA. AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. Atlas Brasil: abastecimento urbano de água, v. 2: Resultado por Estado. Brasília: Engecorps/Cobrape, 2010. 90 p. Disponível em www.ana.gov.br/atlas, acessado em 22/03/2012, 2010.

Tabela 1: Número e proporção de sedes municipais da região norte do Brasil abastecidas exclusivamente e parcialmente por água subterrânea

Estado	Municípios	Abastecimento exclusivo por água subterrânea	Proporção	Abastecimento misto	Proporção
Acre	22	4	18%	2	9%
Amapá	16	4	25%	2	13%
Amazonas	62	44	71%	8	13%
Pará	143	109	76%	não disponível	não disponível
Rondônia	52	10	19%	5	10%
Roraima	15	9	60%	5	33%
Tocantins	139	84	60%	10	7%
Total	449	264	59%	32	7%

Existem várias razões para o uso predominante do manancial subterrâneo. Os rios amazônicos possuem forte sazonalidade, com amplitude de variação anual média do nível de água oscilando entre 4 e 15m no Rio Amazonas, e eventos extremos ultrapassando os 20m nos rios Madeira, Purus e Tocantins.⁵ No Rio Negro, ocorreram três eventos extremos nos últimos oito anos. A maior cheia já observada nos mais de cem anos de registros está em andamento, e alcançou a cota de 29,97m acima do nível do mar, em Manaus. A segunda maior, que alcançou a cota de 29,77m, ocorreu em 2009.⁶ O recorde anterior tinha ocorrido em 1953. Em outubro de 2010, deu-se a maior vazante, com cota de 13,63m. Além destes, nos últimos 23 anos houve outros quatro eventos extremos. A quinta e a sétima maiores cheias foram registradas, respectivamente, em 1989 e 1999, e a quarta e a oitava maiores vazantes, em 1997 e 2005.⁷

Grande parte da população amazônica está bem adaptada às oscilações normais dos níveis dos rios, mas sente dificuldade para enfrentar os eventos extremos, que trazem consequências graves para muitos municípios, principalmente aqueles construídos em áreas inundáveis de várzea. Perdas de terrenos, casas, animais e plantações, além de problemas com abastecimento de água potável são algumas dessas consequências. Nas cheias, pequenos cursos de água e poços são invadidos por água de qualidade inferior, muitas vezes não potável. Nas vazantes, os cursos de água pequenos secam, e a retração de rios maiores dificulta o acesso à água. A vazão dos rios perenes pode ser reduzida a ponto de não servirem para o abastecimento público, seja

⁵ GOULDING, M.; BARTHEN, R. B. & FERREIRA, E. J. G. *The Smithsonian Atlas of the Amazon*. Washington: Smithsonian Institution, 2003. 253 p.

⁶ CPRM. SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. CPRM divulga boletim de Alerta de Cheia para Manaus, disponível em <http://www.cprm.gov.br>, 2012.

⁷ CPRM. SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. Relatório da Cheia 2011, disponível em <http://www.cprm.gov.br/publique/cgi/cgilua.exe/sys/start.htm?sid=34>, acessado em 02/04/2012, 2011.
CPRM. SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. Relatório da Vazante 2010, disponível em <http://www.cprm.gov.br/publique/cgi/cgilua.exe/sys/start.htm?sid=34>, acessado em 02/04/2012, 2010.

- ⁸ MINISTÉRIO DA SAÚDE. *Vigilância e Controle da Qualidade da Água para Consumo Humano*. Secretaria de Vigilância em Saúde, 2006. 212 p.
- ⁹ NEILL, C.; CHAVES, J. E.; BIGGS, T.; DEEGAN, L. A.; ELSENBEEER, H.; FIGUEIREDO, R. O.; GERMER, S.; JOHNSON, M. S.; LEHMANN, J.; MARKEWITZ, D. & PICCOLO, M. C. Runoff sources and land cover change in the Amazon: an end-member mixing analysis from small watersheds. *Biogeochemistry*, v. 105, p. 7-18, 2011.
- ¹⁰ COSTA, M. H.; BOTTA, A. & CARDILLE, J. A. Effects of large-scale changes in land cover on the discharge of the Tocantins River, Southeastern Amazonia. *Journal of Hydrology*, v. 283, p. 206-217, 2003.
- ¹¹ FALLOON, P. D. & BETTS, R. A. The impact of climate change on global river flow in HadGEM I simulations. *Atmospheric Science Letters*, v. 7, p. 62-68, 2006.
- ¹² DÖLL, P. & FLÖRKE, M. *Global-Scale Estimation of Diffuse Groundwater Recharge*. Frankfurt Hydrology Paper 03, Institute of Physical Geography, Frankfurt University, Frankfurt am Main, Germany, 2005.

por falta de quantidade de água, seja por diminuição de sua capacidade de diluir contaminantes.⁸ A situação é agravada em comunidades isoladas, que dependem do transporte fluvial para receber auxílio, uma vez que ficam inacessíveis por esta via.

As causas da intensificação de eventos extremos de cheias e vazantes ainda precisam ser definidas. Duas prováveis são o desmatamento e as mudanças climáticas. Em uma bacia hidrográfica pequena, o desmatamento aumenta a vazão dos rios imediatamente após as precipitações, mas diminui a recarga de aquíferos e, conseqüentemente, o fluxo de base que os abastece durante as vazantes, favorecendo os eventos extremos.⁹ Em bacias hidrográficas maiores, por outro lado, a interação entre afluentes expostos a regimes de precipitação distintos gera respostas mais complexas. No Rio Tocantins, por exemplo, foi registrado aumento da vazão do rio ao longo de todo o ano, associado ao desmatamento.¹⁰ Modelos climáticos indicam que os eventos extremos vão ficar mais frequentes, tanto de cheias quanto de vazantes, com uma diminuição da vazão média anual do rio de até 13%.¹¹ Os aquíferos também sofrerão alterações. As projeções de diminuição de recarga de aquíferos na Amazônia Ocidental, Central e Oriental são de 10%, 30% e 70%, respectivamente.¹²

Os aquíferos podem ser usados para eliminar o problema de abastecimento de água da população durante as cheias e vazantes extremas. Um poço bem construído permite acesso a água de qualidade durante todo o ano, mesmo em áreas de várzea, que ficam inundadas durante períodos mais longos (figura 1).¹³

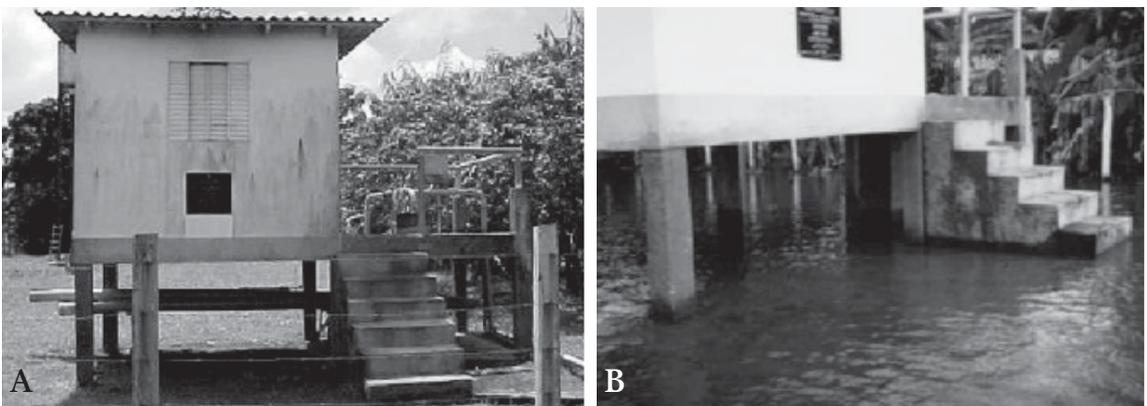


Figura 1: Adequação para cheias: boca de poço e casa com sistema elétrico elevado em zona da várzea do Rio Amazonas, evitando entrada de água e danos. A: estiagem. B: cheia.

Atividades econômicas

¹³ AZEVEDO, R. P. Uso de água subterrânea em sistema de abastecimento público de comunidades na várzea da Amazônia central. *Acta Amazônica*, v. 36, n. 3, p. 313-320, 2006.

¹⁴ UNESCO. The United Nations World Water Development. Report 4: *Managing Water under Uncertainty and Risk*. WWAP – World Water Assessment Programme, v. 1, 380 p., 2012.

¹⁵ IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Estatística da Produção Agrícola, Fevereiro de 2012, em Indicadores IBGE, disponível em http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/indicadores/agropecuaria/lspa/estProdAgr_201202.pdf, acessado em 09/04/2012, 2012.

¹⁶ MINISTÉRIO DE INTEGRAÇÃO NACIONAL. *O Futuro da Irrigação e a Gestão das Águas*. Série Irrigação e Água I, Secretaria de Infraestrutura Hídrica, Departamento de Desenvolvimento Hidroagrícola, 2008.

¹⁷ IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Produto Interno dos Municípios 2005 a 2009, disponível em http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/pibmunicipios/2005_2009/defaulttab.shtm acessado em 09/04/2012, 2009.

¹⁸ PIM. A REVISTA DO POLO INDUSTRIAL DE MANAUS. Manaus, AM, v. 5, agosto de 2010.

¹⁹ DNP. DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL. *Anuário Mineral Brasileiro*, v. 35, 2010.

A maior usuária de água em escala mundial é a atividade agrícola, consumindo 70% do total. Em segundo lugar aparece a indústria, com pouco menos de 20%, e o restante é usado no abastecimento municipal. Na América do Sul, a relação se altera para 62%, 12% e 26%, respectivamente.¹⁴ O incremento das economias sul-americanas acarretará aumento do uso da água. Na Amazônia, a agricultura está se tornando cada vez mais importante. Em 2011, só o Estado do Mato Grosso contribuiu com quase 28% da produção de soja do Brasil,¹⁵ sendo que parte do crescimento da produção neste Estado deve-se ao avanço de sua fronteira agrícola sobre a região amazônica. Uma vez estabelecidas, as áreas de cultivo ganham mais produtividade com o uso de irrigação e mecanização da lavoura. Na região norte, somente 3,9% da área cultivada possui algum sistema de irrigação, enquanto que a média do país é de 5,9%.¹⁶ Há, portanto, perspectiva de aumento da irrigação, principalmente em áreas com alta sazonalidade de vazão ou baixa densidade de cursos superficiais de água, o que terá impacto sobre a água subterrânea.

A indústria na Amazônia tem somente uma região economicamente relevante, que é o Polo Industrial de Manaus (PIM). Com mais de 500 empresas, o PIM alçou a cidade ao sexto maior Produto Interno Bruto (PIB) municipal do país em 2009.¹⁷ Entretanto, nenhuma delas utiliza o sistema público de abastecimento de água, ou seja, todas recorrem à água subterrânea.¹⁸ A presença de um forte rebaixamento do nível freático na região de maior concentração de indústrias não deve ser coincidência. Há locais com cota do nível potenciométrico de água inferior à cota mínima do Rio Negro e seus afluentes. Esta situação causa uma inversão do fluxo natural da água, que originalmente se dava do aquífero para os rios na época de vazante, e agora sai dos rios e entra para o aquífero durante o ano inteiro. Como a maior parte dos cursos de água superficiais urbanos em Manaus têm a qualidade comprometida, pode-se antever sérios riscos ao abastecimento por poços.

A mineração também aparece como uma importante fonte de renda na Amazônia. Em 2009, 26% da produção mineral do país teve origem na região norte, dos quais quase 90% vieram do Estado do Pará.¹⁹ Quando feita de forma inadequada, como é comum na mineração artesanal, a atividade pode causar sérias e extensas contaminações na água superficial, subterrânea, e nos sedimentos presentes na área

lavrada e nos rios. Atualmente, 25 a 35% de todo garimpo artesanal de ouro no Brasil ocorre na Bacia do Rio Tapajós (PA).²⁰ Em um de seus afluentes, o Rio Crepori, os garimpos geram a maior parte dos sedimentos em suspensão que entram no Rio Tapajós. O mercúrio, usado na separação do ouro, é carregado pelos sedimentos e fica ativo como contaminante por mais de 100 anos, comprometendo a qualidade da água superficial. Uma estimativa conservadora calculou uma liberação anual, entre os anos de 2000 e 2006, de 1,36 toneladas de mercúrio lançadas na água da Bacia do Crepori.²¹ Neste caso, a melhor alternativa de abastecimento de água da população ribeirinha é a água subterrânea.

Por fim, outra atividade econômica na Amazônia que ganhou relevância nos últimos anos, e que afeta a água subterrânea, é a construção de grandes hidrelétricas. Atualmente, três grandes obras estão em andamento: Santo Antônio e Jirau, em Rondônia, e Belo Monte, no Pará, sendo esta última a terceira maior usina hidrelétrica do mundo. A elevação dos níveis de água e alteração das oscilações sazonais da cota dos rios impacta diretamente o nível de água dos aquíferos em todo o entorno dos lagos, a montante, e dos rios, a jusante das barragens, com consequências negativas para os ecossistemas das áreas afetadas.

Ecossistemas

As características hidrológicas e geológicas da Amazônia geram uma intensa dependência entre água superficial e subterrânea. Os principais fatores que causam esta conexão são os altos índices pluviométricos, os pequenos gradientes topográficos, a extensa presença de formações geológicas sedimentares superficiais favoráveis à transmissão e ao armazenamento de água, e a alta proporção territorial de áreas úmidas. A biota amazônica está adaptada a este regime, é dependente dele e tem papel ativo em sua manutenção, através da evapotranspiração e do aumento de infiltração em relação ao escoamento superficial em zonas florestadas. O desmatamento aumenta o escoamento superficial de água em pequenas bacias hidrográficas, causando forte redução da recarga dos aquíferos.²²

Estado atual do conhecimento

Trabalhos sobre hidrogeologia na Amazônia são pontuais e díspares, com objetivos, técnicas e qualidade muito distintos. Os esforços estão concentrados nos locais com presença de centros de pesquisa, como o Serviço Geológico

²⁰ TELMER, K. & STAPPER, D. Evaluating and Monitoring Small Scale Gold Mining and Mercury Use: Building a Knowledge-Base with Satellite Imagery and Field Work, Final Report, UNIDO Project, ONU, 49 p., disponível em <http://www.globalmercuryproject.org/documents/documents.htm>, acessado em 28/03/2012, 2007.

²¹ TELMER, K. & STAPPER, D. *Op. cit.*

²² NEILL, C. *et al.* *Op. cit.*

- ²³ ROSSETTI, D. F. Late Cenozoic sedimentary evolution in northeastern Pará, Brazil, within the context of sea level changes. *Journal of South American Earth Sciences*, v. 14, n. 1, p. 77-89, 2001.
- ²⁴ NOGUEIRA, A. C. R.; VIEIRA, L. C. & SUGUIO, K. Paleossolos da Formação Alter do Chão, Cretáceo-Terciário da Bacia do Amazonas, regiões de Presidente Figueiredo e Manaus. In: Simpósio sobre o Cretáceo do Brasil, vol. 5, Serra Negra, p. 261-266, 1999.
- PAZ, J. D. S. & CUNHA, E. F. S. Análise de fácies da Formação Alter do Chão, km 46, BR-174. In: SBG, Simpósio de Geologia da Amazônia, 11, Manaus, Resumos Expandidos, (CD-ROM), 2009.
- ²⁵ SARGES, R.; NOGUEIRA, A. C. R.; FROTA, C. A. & DA SILVA, C. L. Depósitos Argilosos Cenozoicos do Estado do Amazonas: Utilização como Agregados de Argilas Calcinadas para Pavimentação na Região Amazônica. *Brazilian Geographical Journal: Geosciences and Humanities research medium*, v. 1, p. 33-49, 2010.
- ²⁶ BEZERRA, P. E. L. *Compartimentação morfotectônica do interflúvio Solimões-Negro*. Tese de Doutorado, Centro de Geociências, Universidade Federal do Pará. 194 p., 2003.
- ²⁷ CPRM. SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. *Carta Hidrogeológica da Cidade de Manaus*. Mapas+Relatório, 8 p., escala 1:10.000, 2002.
- MÁRMOS, J. L. & AGUIAR, C. J. B. Avaliação do Nível de Contaminação dos Aquíferos da Cidade de Parintins (AM): Primeiros Resultados, Workshop Internacional de Geologia Médica, disponível em <http://www.cprm.gov.br/publicue/cgi/cgilua.exe/sys/start.htm?infoid=549&sid=41>, acessado em 22 de abril de 2012, 2005.

do Brasil (CPRM), o Instituto de Pesquisas da Amazônia (INPA), a Universidade Federal do Amazonas (UFAM), em Manaus, e a Universidade Federal do Pará (UFPA), em Belém. A grande variabilidade geológica das unidades que contêm os aquíferos dificulta a interpolação adequada dos dados distantes. Como há maior densidade de dados geológicos em comparação com os hidrogeológicos, a regionalização do conhecimento sobre aquíferos é feita com base unicamente nessas informações.

Na Amazônia, os maiores e melhores aquíferos estão contidos em rochas depositadas em bacias sedimentares. Essas bacias são originadas em regiões submetidas a prolongadas subsidências na superfície, o que permite o acúmulo de sedimentos ao longo das Eras geológicas e forma sucessões estratigráficas, que podem atingir vários quilômetros de profundidade. São quatro as grandes bacias sedimentares amazônicas. De leste para oeste: Bacia do Marajó, Bacia do Amazonas, Bacia do Solimões e Bacia do Acre. As unidades geológicas sedimentares superficiais mais extensas dessas Bacias, e que possuem algum potencial aquífero são o Grupo Barreiras, constituído de conglomerados, arenitos e argilitos,²³ a Formação Alter do Chão, constituída de arenitos grossos a conglomerados, com siltitos, folhelhos e argilitos subordinados,²⁴ a Formação Içá, constituída de arenitos e conglomerados, siltitos e argilitos,²⁵ e a Formação Solimões, constituída de argilitos, siltitos e arenitos com intercalações de calcário, linhito e turfa (figura 2).²⁶ A qualidade natural da água subterrânea presente no Grupo Barreiras e Formação Alter do Chão é boa, mas em ambas já há contaminações de origem antrópica em algumas cidades onde são exploradas.²⁷ A qualidade natural da água das Formações Solimões e Içá pode não ser boa, em regiões com presença de muita matéria orgânica.²⁸ A área aflorante somada das quatro formações totaliza quase dois milhões de quilômetros quadrados (tabela 2), mas a área total não é conhecida por conta dos poucos dados publicados a respeito de suas extensões em subsuperfície. Na região existem outros importantes aquíferos sobre os quais ainda não se tem informações, por causa de suas aflorantes relativamente pequenas. Um destes é o Aquífero Trombetas, composto pelas formações Autás-Mirim (arenitos, siltitos e folhelhos), Nhamundá (arenitos), Pitinga (folhelhos) e Manacapuru (arenitos e siltitos).²⁹ Sua espessura ultrapassa 160m. Em Manaus, está a uma profundidade de aproximadamente 1.500m, mas 100km ao norte da cidade, em Presidente Figueiredo (AM), é aflorante, e é utilizado como fonte de abastecimento de

ROCHA, L. C. R. & HORBE, A. M. C. Contaminação provocada por um depósito de lixo no aquífero Alter do Chão em Manaus – AM. *Acta Amazônica*, vol. 36, n. 3. p. 307-312, 2006.

ANA. AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. *Panorama do enquadramento dos corpos d'água do Brasil e Panorama da qualidade das águas subterrâneas no Brasil*. Brasília: Caderno de Recursos Hídricos 5, 2007. 124 p.

²⁸ ANA. AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. *Panorama do enquadramento dos corpos d'água... Op. cit.*

CPRM. SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. *Mapa Hidrogeológico do Brasil*. Folha Manaus (SA 20), 1 mapa colorido, escala 1:1.000.000, 2010.

²⁹ CPRM. SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. Mapa de domínios e subdomínios hidrogeológicos do Brasil, disponível em <http://www.cprm.gov.br/publique/media/RecHidSub.pdf>, acessado em 9/11/2010, 2001.

³⁰ ANA. AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. *Panorama do enquadramento dos corpos d'água... Op. cit.*

CPRM. SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. *Carta Hidrogeológica da Cidade de Manaus... Op. cit.*

CPRM. SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. *Mapa Hidrogeológico do Brasil*. *Op. cit.*

água. Empresas petrolíferas que atuam na Amazônia detêm informações sobre as áreas e geometria de formações geológicas em suas porções não aflorantes, mas não as publicam.

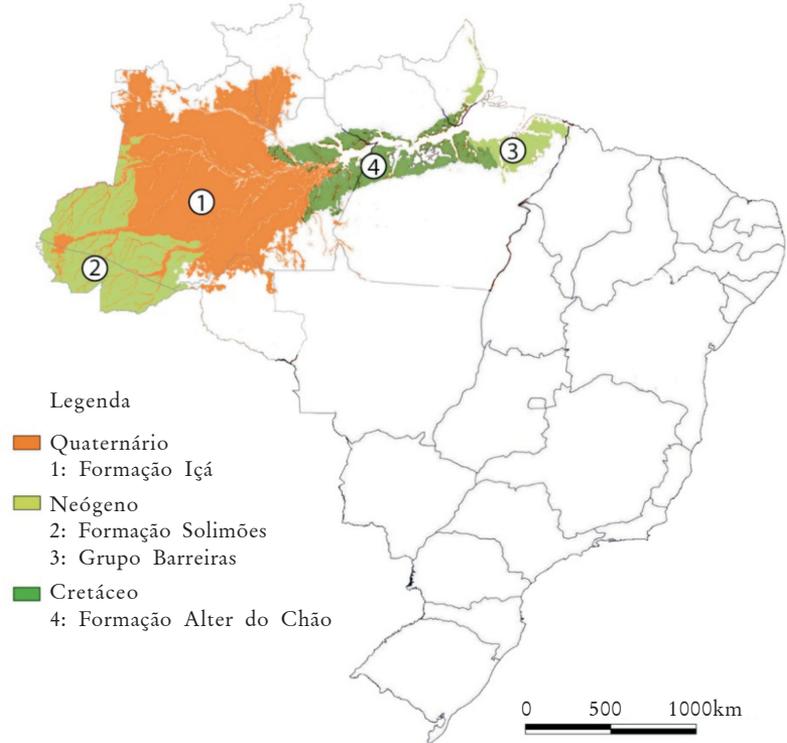


Figura 2: As unidades geológicas aflorantes mais favoráveis ao uso como aquíferos são a Formação Alter do Chão (Bacia do Amazonas), o Grupo Barreiras (Bacia do Marajó) e a Formação Içá (Bacia do Solimões), apesar da pequena profundidade desta última. A Formação Solimões (Bacias do Solimões e do Acre) é localmente usada como aquífero, mas a grande proporção de argilas e a presença de matéria orgânica afetam a quantidade e qualidade da água.

Tabela 2: Dados das unidades geológicas sedimentares da Amazônia com potencial aquífero, com grande área. As extensões referem-se apenas às áreas aflorantes das formações³⁰

Unidade geológica	Potencial aquífero	Qualidade da água	Espessura máxima (m)	Extensão aproximada (milhares de km ²)
Barreiras	Alto a médio	Boa	500	177
Alter do Chão	Muito alto a médio	Boa	1.250	313
Içá	Alto a médio	Boa a média	80	1.000
Solimões	Médio a baixo	Boa a ruim	2.200	458
Total				1.948

- ROSSETTI, D. F.; TOLEDO, P. M. & GÓES, A. M. New Geological Framework for the Western Amazonia: Implications for Biogeography and Evolution. *Quaternary Research*, v. 63, n. 1, p. 78-89, 2005.
- CUNHA, P. R. C.; MELO, J. H. G. & SILVA, O. B. Bacia do Amazonas. *Boletim de Geociências da Petrobras*, Rio de Janeiro, v. 15, n. 2, p. 227-251, 2007.
- ³¹ ANA. AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. *Panorama do enquadramento dos corpos d'água... Op. cit.*
- ³² CPRM. SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. Mapa de domínios e subdomínios... *Op. cit.*
- ³³ ROSSETTI, D. F.; TOLEDO, P. M. & GÓES, A. M. New Geological Framework for the Western Amazonia: Implications for Biogeography and Evolution. *Quaternary Research*, v. 63, n. 1, p. 78-89, 2005.
- ³⁴ O GLOBO. Aquífero na Amazônia pode ser o maior do mundo, dizem geólogos, disponível em <http://g1.globo.com/brasil/noticia/2010/04/aquifero-na-amazonia-pode-ser-o-maior-do-mundo-dizem-geologos.html>, acessado em 24/03/2012, 2010.
- UNESCO. Sistemas Acuíferos Transfronterizos en las Américas – Evaluación Preliminar. *Série ISARM Américas*, n. 1, 188 p., 2007.
- ³⁵ GILBOA, Y.; MERO, F. & MARIANO, I. B. The Botucatu Aquifer of South America, model of an untapped continental aquifer. *Journal of Hydrology*, v. 29, p. 165-179, 1976.
- ³⁶ ARAÚJO, L.; FRANÇA, A. & POTTER, P. *Aquífero Gigante do Mercosul no Brasil, Argentina, Paraguai e Uruguai*: Mapas Hidrogeológicos das Formações Botucatu, Pirambóia, Rosário do Sul, Buena Vista, Misiones e Taquarembó. Curitiba: Petrobras/UFRPR, 1995. 16 p., 8 mapas.

A grande extensão territorial da Amazônia, aliada à dificuldade de acesso, à densa cobertura de vegetação, aos proporcionalmente baixos investimentos em pesquisa e ao pequeno número de pesquisadores especializados, fazem com que o conhecimento geológico e suas interpretações hidrogeológicas sejam incompletos e controversos. Até 2007, por exemplo, a avaliação dos recursos hídricos executada pela Agência Nacional de Águas (ANA) não considerava a Formação Içá como aquífero,³¹ apesar de a CPRM já fazê-lo desde 2001³². A área da Formação Içá também é questionada.³³ Individualmente, como no caso da Formação Alter do Chão, ou em conjunto, estas unidades já foram citadas como sendo o maior sistema de água subterrânea do mundo.³⁴ Mas a informação carece de comprovação, através estudos detalhados sobre extensão e espessuras das camadas que contêm os aquíferos, conectividade hidráulica entre as diferentes formações e determinação dos parâmetros hidrogeológicos, como armazenamento e condutividade hidráulica.

Estratégias de pesquisa

Obter dados suficientes sobre aquíferos de grandes extensões, para que sejam geridos de forma adequada, requer muito esforço e investimento. Um bom exemplo disso é a evolução do conhecimento sobre o Sistema Aquífero Guarani (SAG), que pode ser dividida em quatro fases. Na primeira, o Departamento Estadual de Água e Energia Elétrica do Estado de São Paulo contratou uma consultora privada para avaliar o aquífero, em 1972 e 1974.³⁵ Os dados usados eram principalmente secundários, obtidos de empresas de petróleo, serviços nacionais e estrangeiros de pesquisa geológica e universidades, além de poucas publicações anteriores. Os resultados mostraram as características geológicas e hidrogeológicas gerais do aquífero. Na segunda fase, entre meados da década de 1970 e da década de 1990, as pesquisas foram executadas por centros de pesquisa como a Universidade de São Paulo (USP), a Universidade Estadual Paulista (UNESP) e a Universidade Federal do Paraná (UFPR), de forma independente e sem coordenação dos esforços. Na segunda metade da década de 1990 foram publicados trabalhos importantes por pesquisadores da Petrobrás e da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS),³⁶ baseados em dados das pesquisas existentes, de poços da Petrobrás e de poços de água. Neste ponto, apesar de terem passado mais de 20 anos desde as primeiras pesquisas sobre o SAG, ainda havia sérias dúvidas em relação

ARAÚJO, L. M.; FRANÇA, A. B. & POTTER, P. E. Hydrogeology of the Mercosul aquifer system in the Paraná and Chaco-Paraná Basins, South America, and comparison with Navajo-Nugget aquifer system, USA. *Hydrogeology Journal*, v. 7, p. 317-336, 1999.

³⁷ ORGANIZAÇÃO DOS ESTADOS AMERICANOS. OEA. *Aquífero Guaraní: Programa Estratégico de Ação/Aquífero Guaraní: Programa Estratégico de Acción* – Edição bilíngue: Brasil, Argentina, Paraguai, Uruguai, 2009. 424 p.

à quantificação da sua recarga, à sua área total, às zonas de descarga e ao modelo conceitual de fluxo. As dúvidas levaram à idealização da terceira fase das pesquisas. Por se tratar de um reservatório transnacional, como pode ser o caso de alguns dos aquíferos amazônicos, esta fase foi feita através de um grande projeto de cooperação internacional, denominado Projeto Sistema Aquífero Guaraní (PSAG), coordenado pela Organização dos Estados Americanos (OEA), e envolvendo todos os países onde o SAG ocorre: Argentina, Brasil, Paraguai e Uruguai. Este projeto foi executado preponderantemente por universidades e centros de pesquisa destes países, mas teve também a contribuição de consultorias privadas, totalizando mais de 300 profissionais.³⁷ A execução foi iniciada em 2003, e os resultados finais apresentados em 2009. O custo, de aproximadamente R\$ 45 milhões, foi financiado pelo Global Environmental Facility (GEF). O PSAG, somado aos quase 30 anos de pesquisas anteriores, resolveram a maior parte das questões relativas ao SAG, mas não todas. Atualmente há um novo projeto em andamento, contratado pela Agência Nacional de Águas (ANA), para determinar sua vulnerabilidade à contaminação, com um valor total de R\$ 5 milhões. Além disso, há projetos menores e independentes sendo executados em universidades. Esta é a quarta fase das pesquisas do SAG.

Na Amazônia também há um projeto de pesquisa em andamento, encomendado pela ANA, através de um edital de igual valor ao último aberto para o SAG, para pesquisar os mais extensos aquíferos sedimentares superficiais da região (figura 2). A iniciativa pode ser considerada análoga à primeira fase de pesquisas do SAG, uma vez que é a primeira integração de informações para toda a Amazônia, incluindo geração de dados específicos e inéditos. O foco do trabalho é voltado para a importância da água subterrânea para o ser humano, como a maioria dos trabalhos de hidrogeologia. Em outras regiões, as populações humanas certamente são os únicos usuários dos aquíferos. Mas, na Amazônia, parte significativa de um dos biomas mais importantes da Terra também depende da água subterrânea.

Para abordar os aspectos científicos relevantes na escala de trabalho apropriada, seria necessário elaborar um projeto análogo ao PSAG, em termos financeiros e de estrutura, para a Amazônia. Mas as quatro instituições da região que produzem conhecimento novo em hidrogeologia de forma minimamente constante, ainda que não muito frequente (CPRM, INPA, UFAM e UFPA), não são suficientes para sustentar uma iniciativa deste porte. Seria necessá-

rio, antes, um período análogo à segunda fase de pesquisas do SAG, na região. No ritmo atual de pesquisas, de formação de pessoal e de estrutura, isto implicaria demora de mais de duas décadas para que um grande projeto científico em aquíferos amazônicos pudesse ser iniciado.

Conclusões

Apesar do grande volume de água superficial existente na Amazônia, a água subterrânea é fundamental para a população, a economia e a biota da região. Tal relevância está aumentando, por causa de fatores como as mudanças climáticas, que intensificam eventos extremos de cheias e vazantes nos rios, o desmatamento, que altera o regime hidrológico de rios e aquíferos, e a contaminação da água subterrânea e superficial. Mas o conhecimento existente sobre os aquíferos amazônicos, gerado a partir de dados primários, é escasso e pontual. Informações como a sua extensão territorial, o volume de água armazenado, as direções regionais de fluxo, a conectividade hidráulica entre diferentes formações geológicas, as interações regionais entre corpos superficiais e subterrâneos de água, as relações de dependência entre hidrologia subterrânea e meio biótico, são desconhecidas. Ou seja, não há dados para fazer previsões dos impactos causados pelas mudanças em curso nos aquíferos.

O histórico de levantamentos realizados no Sistema Aquífero Guarani (SAG) é um bom exemplo do esforço necessário para identificar as características mais importantes de aquíferos de grande escala. Ao todo, foram quase 40 anos de estudos para definir, com precisão aceitável, as informações que subsidiam a gestão do SAG. Nos primeiros 30 anos, a evolução do conhecimento foi lenta, e gerada principalmente pelas iniciativas individuais de pesquisadores em universidades. Por outro lado, este processo sempre gerou conhecimento público, ao contrário do que geralmente ocorre com consultorias privadas, e permitiu que novos pesquisadores fossem capacitados, criando uma estrutura de pesquisa maior e multiplicando o conhecimento. No fim da década de 1990 ainda restavam dúvidas importantes a respeito do SAG, como sua recarga, a área total, as zonas de descarga e a direção regional de fluxo. Estas questões, de difícil investigação, só foram sanadas com a execução, entre 2003 e 2009, de um grande projeto de pesquisa, denominado PSAG. Seu custo foi de aproximadamente R\$ 45 milhões, e sua execução realizada por mais de 300 profissionais de universidades, centros de pesquisa e empresas

privadas dos quatro países onde o SAG ocorre. A capacitação de pessoal durante o longo período anterior de pesquisas foi fundamental. Mas ainda hoje restam dúvidas relevantes a respeito do SAG. Prova disso é um edital da Agência Nacional de Águas (ANA), atualmente em desenvolvimento, com o objetivo de definir a vulnerabilidade do SAG em sua área de afloramento, no valor de R\$ 5 milhões.

Em 2010, a ANA contratou uma empresa de consultoria para avaliar todos os grandes aquíferos sedimentares da Amazônia, em um prazo de dois anos e meio. Comparando a iniciativa com o histórico do SAG, este projeto deve ser considerado apenas como uma fase inicial de levantamentos, análogo ao que foi feito há quase 40 anos naquele aquífero. Na Amazônia, ainda não há estrutura de pesquisa suficiente para que um projeto do porte do Projeto Sistema Aquífero Guarani (PSAG) seja executado. Existem apenas quatro instituições que possuem produção razoavelmente contínua de conhecimento em água subterrânea: CPRM, INPA, UFAM e UFPA. Portanto, se o processo de evolução do conhecimento sobre os aquíferos amazônicos for feito sem coordenação e sem investimentos específicos em estrutura e formação de pessoal, como na segunda fase de levantamentos do SAG, serão necessários mais de 20 anos de iniciativas dispersas para que uma estrutura semelhante àquela usada no PSAG surja. Só então um projeto na mesma escala poderia ser iniciado. Mas a intensificação dos eventos extremos de variação dos níveis dos rios, o avanço das contaminações nas cidades associados à alta vulnerabilidade dos aquíferos sedimentares superficiais, e o contínuo desmatamento fazem com que a questão da água subterrânea na Amazônia tenha mais urgência. A evolução das mudanças será mais rápida nos próximos 40 anos do que foi nas últimas décadas.

A constituição de centros de pesquisa de água na região (visando também o ensino), a cooperação entre as instituições já existentes e a coordenação dos esforços científicos certamente farão com que não sejam necessários mais 40 anos para que conheçamos os aquíferos amazônicos e, principalmente, o seu papel no equilíbrio ecológico de toda a região.

Ingo Wahnfried é geólogo, doutor em Hidrogeologia e professor adjunto do Departamento de Geociências da Universidade Federal do Amazonas, Manaus.

iwahnfried@ufam.edu.br

Emílio Alberto Amaral Soares é geólogo, doutor em Sedimentologia e professor adjunto do Departamento de Geociências da Universidade Federal do Amazonas.

esoares@ufam.edu.br