

# SISTEMA AQUÍFERO BOA VISTA: “ESTADO DE ARTE” DO CONHECIMENTO E PERSPECTIVAS

Boa Vista Aquifer System: "state of art", knowledge and perspectives

Estado de conocimiento y perspectivas del sistema acuífero Boa Vista

Fábio Luiz Wankler<sup>i</sup>  
Renato Augusto de Oliveira Evangelista<sup>ii</sup>  
Carlos Sander<sup>iii</sup>  
*Universidade Federal de Roraima*

## Resumo

O propósito deste trabalho é fazer um breve diagnóstico do estado de conhecimento do Sistema Aquífero Boa Vista (SABV), avaliando as etapas necessárias à sua caracterização, tanto acerca das deficiências e lacunas de informações sobre o sistema. O estudo fundamentou-se em pesquisa bibliográfica, dados fornecidos pela empresa gestora do sistema de abastecimento público municipal e de resultados de pesquisas realizadas pelos autores. Percebeu-se que o conhecimento sobre os impactos na qualidade da água subterrânea em Boa Vista encontra-se ainda em estágio inicial quando comparado a outras capitais do país. E a caracterização do SABV e sua importância para o abastecimento público e atividades agrícolas é um tema que merece investigações sistemáticas a longo prazo. São necessários estudos de sua rocha reservatório para identificação das anisotropias e heterogeneidades, caracterização do sistema hidrológico - em especial o comportamento de recarga do aquífero, monitoramento ambiental - pois estudos desta natureza possibilitarão identificar os processos de contaminação dos reservatórios e determinar a práticas de remediação.

**Palavras-chave:** aquífero; Roraima; Boa Vista.

## Abstract

The purpose of this work is to make a brief diagnosis of the state of knowledge of the Boa Vista Aquifer System (BVAS), evaluating the steps necessary for its characterization, both about the deficiencies and gaps in information about the system. The study was based on literature search, data provided by the company managing the municipal supply system and results of research conducted by the authors. It was felt that knowledge about the impacts on groundwater quality in Boa Vista city is still in its early stages when compared to other capitals. And the characterization of BVAS and its importance for public supply and agricultural activities is a topic that deserves systematic investigation in the long term. Their studies are needed to identify the reservoir rock anisotropy and heterogeneities, characterization of the hydrological system - in particular the behavior of recharge, environmental monitoring - for such studies will enable to identify the processes of contamination of reservoirs and determine remediation practices.

**Keywords** aquifer; Roraima; Boa Vista.

## Resumen

El propósito de este trabajo es hacer un breve diagnóstico del estado de conocimiento del Sistema Acuífero Boa Vista (SABV), la evaluación de las medidas necesarias para su caracterización, tanto sobre las deficiencias y lagunas en la información sobre el sistema. El estudio se basó en la búsqueda de la literatura, los datos proporcionados por la empresa que gestiona el sistema de suministro municipal y los resultados de la investigación llevada a cabo por los autores. Se consideró que el conocimiento sobre los impactos en la calidad del agua subterránea en ciudad del Boa Vista se encuentra todavía en sus etapas iniciales, en comparación con otras capitales, y la caracterización de SABV y su importancia para el abastecimiento público y las actividades agrícolas es un tema que merece una investigación sistemática en el largo plazo. Sus estudios son necesarios para identificar la anisotropía roca del yacimiento y las heterogeneidades, la caracterización del sistema hidrológico - en particular, el comportamiento de la recarga, la vigilancia del medio ambiente - para tales estudios permitirán identificar los procesos de contaminación de los embalses y determinar las prácticas de remediación.

**Palabras clave:** acuífero; Roraima; Boa Vista.

## INTRODUÇÃO

A cidade de Boa Vista tem uma população de aproximadamente 250.000 habitantes, com média de crescimento populacional maior que a média regional e nacional (IBGE, 2009). O abastecimento público de água, de muitas cidades amazônicas, é dependente de fontes subterrâneas. Assim, o Sistema Aquífero Boa Vista (SABV) é responsável por 70% do abastecimento urbano, principalmente por meio de uma rede abastecida por 102 poços tubulares sob o controle da Companhia de Águas e Esgotos de Roraima (CAER) (Secretaria de Planejamento de Roraima - SEPLAN, 2008). Cabe destacar e da maioria da área rural limítrofe do município também é dependente de poços para o abastecimento humano como para irrigação. Nestas áreas é comum a presença de poços amazonas como única fonte de água disponível.

22

Nos últimos anos, embora a CAER tenha desenvolvido um trabalho para minimizar esta dependência, a água subterrânea ainda é a alternativa técnica e econômica mais viável para o abastecimento dos bairros da periferia da cidade de Boa Vista.

O sistema de esgotamento sanitário da cidade de Boa Vista cobre somente 18% dos imóveis atendidos pela CAER, em dez bairros, em sua maioria localizados na área central da cidade. Governo Estadual, com verbas do Programa de Aceleração do Crescimento do Governo Federal (PAC), tem permitido a CAER a expansão da rede de esgotamento sanitário, que nos próximos anos deve beneficiar a 45% dos imóveis da capital (CAER, 2008).

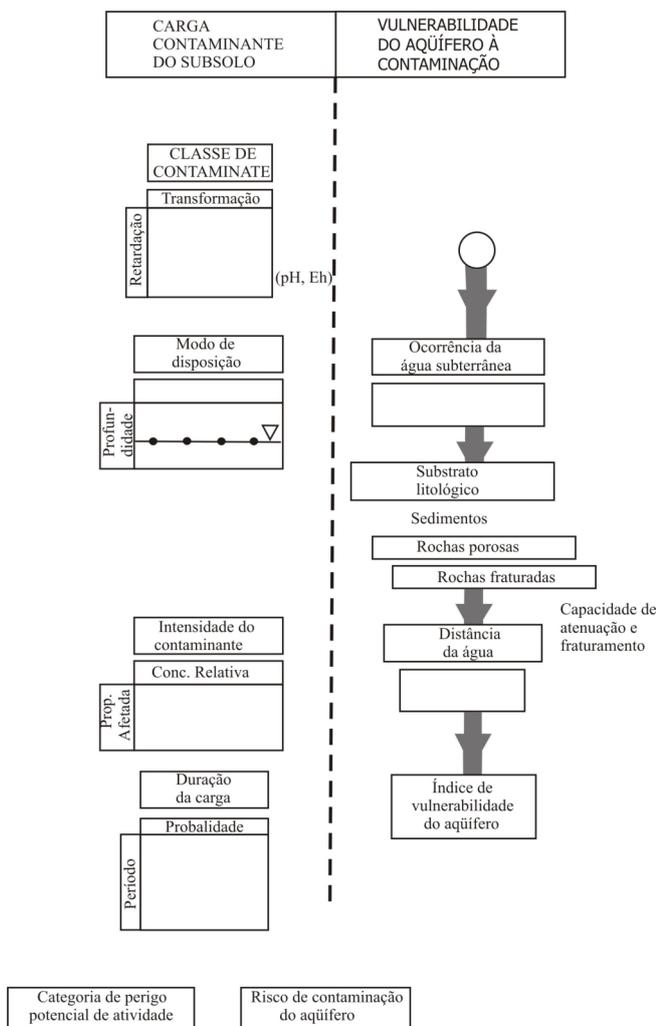
Não obstante, o grande número de fossas domésticas da cidade, associado a outras

fontes potenciais de contaminação da água servida à população, tais como cemitérios, postos de gasolina, termoeletricas, lava-carros, entre outros, sem o devido controle dos órgãos ambientais estaduais e municipais, tornam-se fontes potenciais de contaminação ao SABV.

A avaliação dos riscos de contaminação do SABV passa pela caracterização do grau de sua vulnerabilidade dentro perímetro urbano (e também do rural). Entende-se como vulnerabilidade de um aquífero “representar as características intrínsecas que determinam a susceptibilidade de um aquífero de ser adversamente afetado por uma carga contaminante (FOSTER, 1987; apud FOSTER, 1993 – ver FIGURA 1).

Recentemente as autoridades municipais e estaduais de meio ambiente tem buscado estabelecer uma definição técnica para o perímetro de proteção de poços aplicável à realidade regional. Todavia, ao se levantar informações sobre o SABV, verifica-se que estas ainda são escassas. As maiores necessidades relacionam-se a falta de dados fundamentais associados à recarga, sua vulnerabilidade à contaminação, as variações (sazonais/regionais/locais) das características físico-químicas e da relação da água subterrânea com a água superficial, necessárias ao planejamento de sua gestão, tais como área onde o aquífero teria maior risco de contaminação.

O propósito do presente artigo é fazer um breve diagnóstico do estado de conhecimento do Sistema Aquífero Boa Vista (SABV), avaliando as etapas necessárias à sua caracterização, tanto acerca das deficiências e lacunas de informações sobre o sistema, como na análise das possíveis ações a serem implementadas para melhorar nível de



**FIGURA 1** - esquema teórico de integração entre os componentes da carga contaminante no subsolo e a vulnerabilidade ao aquífero para determinar o risco de contaminação (adaptado de FOSTER, 1993)

informação, o que permitirá determinar melhores critérios para mapeamento das áreas de vulnerabilidade do SABV. Entende-se que os resultados contribuirão para uma melhor gestão desse recurso natural, visando sua proteção ambiental e sustentabilidade.

## O SISTEMA AQUIFERO BOA VISTA

### Aspectos Geológicos

O Sistema Aquífero Boa Vista (SABV) é predominantemente intergranular e sua área de ocorrência abrange a maior parte do

município de Boa Vista (FIGURA 2). O SABV é composto pelas Formações Serra do Tucano (Cretáceo), Formação Boa Vista (Terciário), Formação Areias Brancas (Quaternário) e além de depósitos coluvionares e aluvionares do Quaternário.

A Formação Serra do Tucano é o melhor reservatório do sistema, pois apresenta maior espessura de sedimentos arenosos, principalmente dentro do Hemigraben do Tacutu. Contudo sua existência, com reservatório, sob a cidade de Boa Vista, é motivo de controvérsia, pois não há critérios sedimentológicos nem hidrológicos que permitam distingui-la da unidade sobrejacente, a Formação Boa Vista. Reis *et al.* (2003) comentam que a Formação Boa Vista tem em torno de 15 metros de espessura (conforme dados de poços de água subterrânea do entorno da cidade de Boa Vista).

Os poços mais profundos teriam atingido litologias do Graben do Tacutu. Por sua vez CPRM (2001) aponta que em poços que atingem de 36 a 40 metros de profundidade ocorrem registro de vulcânicas associadas ao Graben do Tacutu (Formação Apoteri). Com base em análise de perfis litológicos de 27 poços da CAER foi identificados alguns poços na área de Boa vista foram perfurados até 100 a 120 metros, profundidades maiores que a média regional (40 metros). Nestes poços foi observado a presença de sedimentos areno/argilosos em toda a sua extensão. Isto sugere que o SABV pode apresentar uma variação de espessura vertical bastante significativa, o propiciou a formação de aquíferos confinados com tempo de residência elevado. Estas questões demonstram a necessidade de maiores investigações a respeito da tectônica,

# SISTEMA AQUIFERO BOA VISTA - MUNICÍPIO DE BOA VISTA

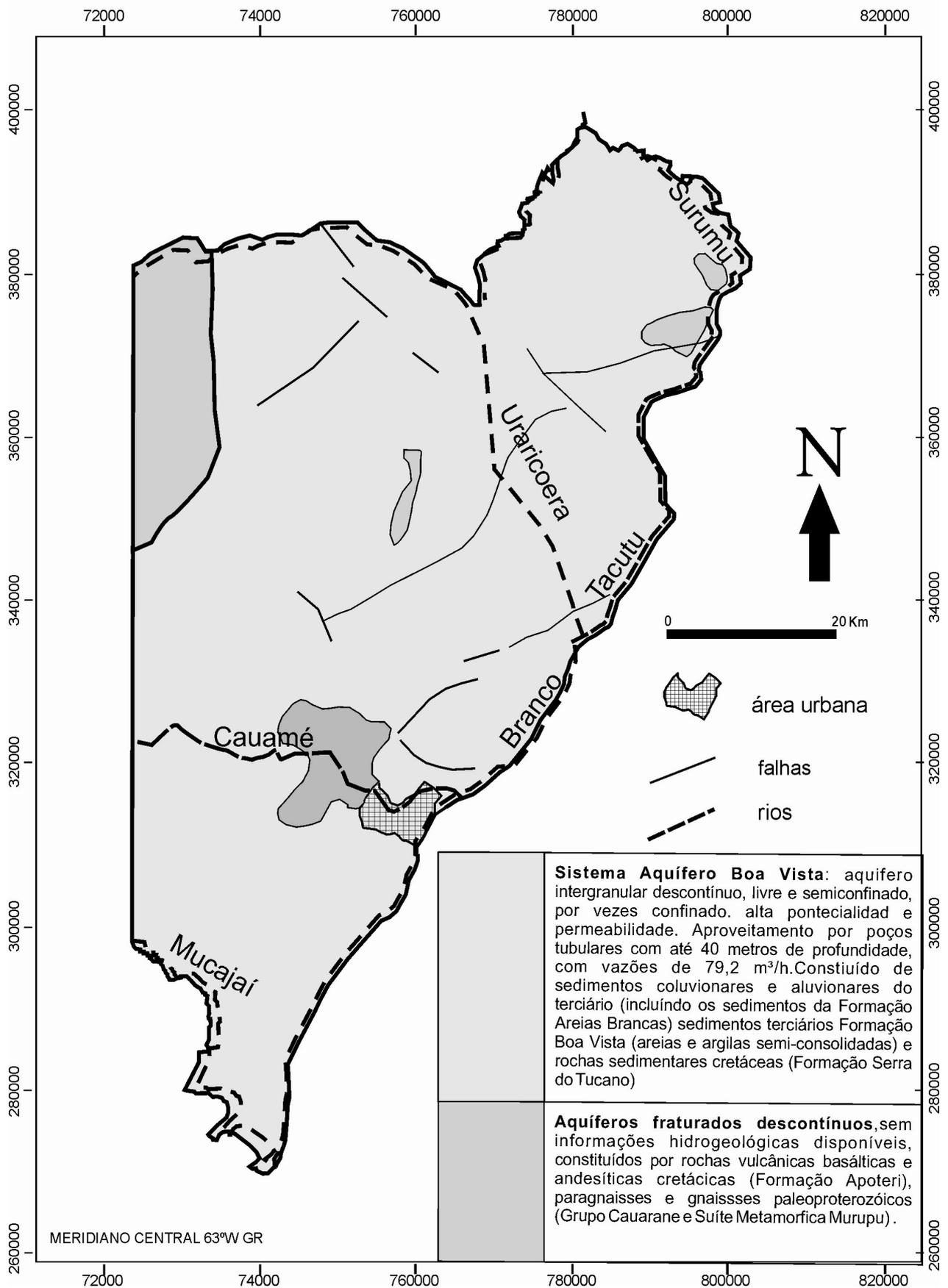


FIGURA 2 - Sistema Aquífero Boa Vista (SABV) no município de Boa Vista (alterado de CPRM, 2002).



**FIGURA 3** – foto mostrando aspecto dos arenitos da formação Serra do Tucano - observar dobras formadas por liquefação sindeposicional. Fotografado pelos autores.

estratigrafia e sedimentologia do substrato do município.

A Formação Serra do Tucano é constituída de arenitos conglomeráticos, arenitos arcoseanos, siltitos e argilitos (CPRM, 2005). No Graben do Tacutu, esta formação atinge até 2.200 metros de profundidade (VAZ *et al.* 2007). A partir de estudos de áreas vizinhas, na região do Graben do Tacutu, onde a unidade aflora, observou-se que ela é constituída por camadas de um a dois metros de arenitos de tamanho de grão grosso a fino, com estratificações cruzadas tabulares com *sets* de 0,1 a 0,7 m de espessura e cruzadas acanaladas de 0,1 a 0,3 m e lentes de siltito de 0,1 a 0,2 m. As camadas areníticas apresentam ainda indicações de deformação penecontemporâneas (dobras convolutas/ ver FIGURA 3). A rocha apresenta óxido de ferro na matriz, e estruturas relacionadas à deformação rúptil (falhas, fraturas e juntas).

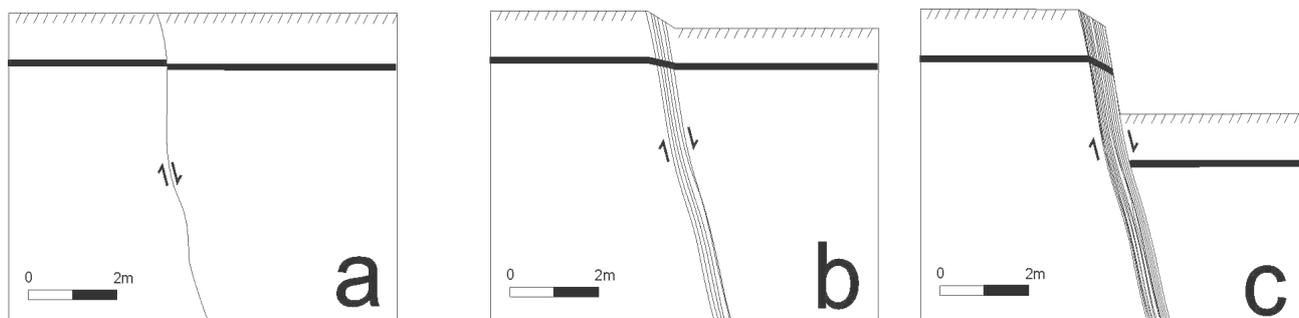
Estruturas deformacionais em arenitos podem vir a causar efeitos expressivos no comportamento da condutividade hidráulica

em aquíferos porosos (FREEZE; CHERRY, 1993). Zonas de falha exercem um importante efeito no controle do fluxo de água subterrânea, seja por afetar a geometria do depósito, seja pela natureza selante ou condutora das falhas.

Os falhamentos em aquíferos podem ser classificados dentro de uma escala evolutiva, que se inicia como simples bandas de deformação (FIGURA 4), com rejeitos milimétricos podendo formar conjuntos espacialmente associados (zonas de bandas de deformação) até formar planos de deslizamento que geram discontinuidades maiores que 1 m. Segundo Antonellini e Aydin (1995), esta classificação é adequada à falhas em arenitos porosos e que já foi aplicada tanto em reservatório de petróleo como de água subterrânea (BORBA, 1996; RAWLING *et al.*, 2001; EICHHUBL *et al.*, 2004; TINDALL, 2006).

Na região da Serra do Tucano, tanto bandas de deformação como superfícies de deslizamento foram identificadas (FIGURA 5).

Assim, é de se esperar que tais feições possam existir em subsuperfície. Devemos



**FIGURA 4** - ilustração esquemática da evolução hierárquica de falhas em arenitos - no estágio inicial gera-se uma banda de deformação (a) que dependendo do grau de *stress* alcançado, podendo evoluir para uma zona de bandas de deformação (b) e, caso haja perda de coesão, uma superfície de deslizamento (c) (ANTONELLINI; AYDIN, 1995).



**FIGURA 5** - bandas de deformação na formação Serra do Tucano.

Fotografado pelos autores.

considerar que a influência potencial das bandas de deformação no comportamento hidrogeológico é significativa. Antonellini e Aydin (1995), ao analisarem arenitos eólicos do Arches National Park (EUA), verificaram que a permeabilidade perpendicular em uma banda de deformação pode ser de uma a quatro vezes menor que na rocha matriz. Na interpretação dos autores, a presença de bandas de

deformação em elevada densidade, se por um lado não causa mudanças na porosidade, por outro pode resultar em efeitos significativos na permeabilidade média do reservatório. Caso as bandas de deformação apresentem densidades baixas (isto é, se o espaçamento entre elas não for menor que 10 metros) os efeitos na permeabilidade da rocha são insignificantes. Rawling et al. (2001), ao mapear as variações de permeabilidade horizontal e vertical de zonas de falha em sedimentos terciários do Novo México, concluíram que zonas deformadas com bandas de deformação apresentam significativa redução na permeabilidade horizontal, em comparação com a área não-deformada do reservatório.

A Formação Boa Vista ocorre praticamente em toda a extensão do sistema. Considerada de idade terciária e de origem fluvio-aluvionar, é constituída por intercalações de sedimentos de argilosos, siltosos e arenosos de granulação fina a grossa. Sua espessura varia de 15 metros (REIS et al. 2003) até a 120 metros (VAZ et al. 2007). Em função de sua continuidade lateral e vertical, é o principal reservatório do SABV na área do município de Boa Vista.

Este pacote sedimentar se sobrepõe às rochas cristalinas ígneas de diferentes idades. Em levantamento feito com 27 poços de água

subterrânea da CAER da área urbana da cidade de Boa Vista, foi identificado como rochas do substrato as rochas basálticas e andesíticas pertencentes ao Complexo Vulcânico Apoteri. Este levantamento identificou ainda duas ocorrências isoladas de granitóides (possivelmente do embasamento paleoproterozóico do Graben do Tacutu, o que sugere que Formação Boa Vista, na cidade de Boa Vista, recobre não somente as rochas pertencentes ao graben, como se estendem para as rochas do embasamento da Bacia.

Quanto a Formação Areias Brancas e depósitos coluvionares, sua distribuição esparsa e pequena área e espessura destes reservatórios os tornam pouco relevantes como reservas hídricas.

### **Heterogeneidades e anisotropias na área urbana do SABV**

Ávila (2008) estudou o subsolo de Boa Vista, visando avaliar a sua vulnerabilidade a poluição, tendo por base 75 de sondagens a percussão (ensaio SPT) distribuídas na área urbana. Em geral os perfis de sondagem mostraram que os primeiros níveis são silte-arenosos, passando silte-arenosos e/ou silte-argilosos nos níveis médios, terminando em níveis de concreções lateríticas, os quais normalmente são os limites das sondagens a percussão. Em praticamente todas as áreas o subsolo de Boa Vista apresenta esses horizontes de concreções lateríticas.

Os perfis litológicos dos poços apresentados pela CPRM (2001) mostram que as seções do SABV na área urbana de Boa Vista iniciam-se com material silto-arenoso a areia fina, passando para areia grossa em profundidade. A espessura destas seções é bastante variável, entre 34 a 47 metros. Neste

mesmo estudo, os autores, comparando os valores de vazão específica com os perfis litológicos, observaram que porção leste da área urbana apresenta vazões específicas maiores e perfis geológicos tipo franco-arenosos, enquanto na porção oeste, onde concentra vazões específicas mais baixas, os perfis litológicos apresentam uma maior frequência de camadas argilosas intercaladas com camadas arenosas. Tais anisotropias refletem o ambiente deposicional das seqüências deposicionais que compõe o SABV. Aquíferos granulares formados por depósitos de sistemas fluviais, como é o caso das formações Boa Vista e Serra do Tucano, apresentam propriedades hidráulicas que são influenciadas pelo padrão de distribuição dos depósitos de preenchimento de canal, os quais funcionariam como os principais condutores do fluxo, e os depósitos de *crevasse* e de planície de inundação como barreiras internas do fluxo (FREEZE; CHERRY, 1993).

Estudos faciológicos realizados pelo primeiro autor na região de Bonfim, onde a Formação Boa Vista aflora, permitiu a construção de um perfil litológico da unidade. Sua base é formada por lentes de conglomerados maciços de 0,10 a 0,30 m de espessura, sobrepostas por uma camada maciça de 0,30 a 0,50 m de espessura de arenitos grossos maciços com ocorrências de grãos de tamanho seixo que, da base para o topo, apresentam uma graduação granodecrescente de areias grossas à médias. Sobreposta esta, ocorre uma camada de arenito maciço de grãos grossos a médios, mostrando também uma graduação granodecrescente de médios à finos.

Neste perfil não foi observado estruturas sedimentares visíveis, provavelmente devido

ao forte processo de pedogênese que a unidade sofreu. As variações granulométricas preservadas ainda assim podem interferir no comportamento do fluxo, causando anisotropias internas no aquífero. Bridge (2003), citando vários autores, observa que as heterogeneidades granulométricas internas das barras fluviais relacionam-se às variações sazonais de fluxo (superfícies de acreção) e transporte fluvial de sedimentos. A carga de leito de grãos maiores tende a se deslocar na parte externa do banco, enquanto que as mais finas, na porção interna da convexidade do banco. A variação do tamanho médio dos grãos de carga de leito sobre as barras se acentuará com o aumento da assimetria da seção em corte dos canais, em função de fatores como o raio da curvatura/largura e dimensionamento da tensão de cisalhamento do leito. No caso de rios arenosos, o tamanho de grão do material de leito afina para jusante, tanto em barras entrelaçadas como em barras em pontal; já no caso de rios cascalhosos, o leito será relativamente grosso no talvegue dos segmentos à jusante. A distribuição areal do tamanho médio dos grãos reflete a distribuição do tamanho de grão na carga de leito e a tensão cisalhante de leito das vazões formadoras de canal (Bridge, 2003). Assim a variação na trama ou textura sedimentar representará o principal impacto na variação espacial da porosidade e na permeabilidade, influenciando nas variações locais ou regionais do fluxo de água subterrânea.

Somada a variação granulométrica observada no perfil da Formação Boa Vista, a identificação de freqüentes camadas argilosas nas seções dos poços, descritas anteriormente, podem estar relacionadas a depósitos de planície de inundação ou *crevasse* do sistema

fluvial. Galloway e Sharp (1998) comentam que camadas permeáveis podem apresentar estratificações horizontais e camadas de baixa permeabilidade, as quais funcionariam como refletores do fluxo subterrâneo.

### **Produção, qualidade e vulnerabilidade do aquífero**

Conforme a CAER, 102 poços captam água do Sistema Aquífero Boa Vista somente na área urbana da capital, com uma produção média 60.000 m<sup>3</sup>/dia. As vazões dos poços variam de 4 a 80 m<sup>3</sup>/h, e as profundidades de captação variam de 20,4 a 57,8 metros. Não há registro de poços secos, mas alguns apresentam baixas vazões (4 m<sup>3</sup>/h). CPRM (2001) realizou três ensaios de bombeamento de curta duração em poços utilizados no abastecimento público de Boa Vista, avaliando os parâmetros hidrodinâmicos do aquífero. Os ensaios duraram um máximo de 6 horas, para determinação da transmissividade (T) e permeabilidade (K) para o SABV. A transmissividade variou de 1,3 a 3 x 10<sup>-2</sup> m<sup>2</sup>/s e a permeabilidade de 6,7 a 8 x 10<sup>-4</sup> m/s. Os parâmetros obtidos indicaram boa uniformidade nos valores, o que corrobora para a confiabilidade destes.

Considerando o fato que o SABV é um aquífero livre, assim sua área de recarga ao longo de toda a sua superfície. Conforme a CAER, atualmente somente 18% das residências são atendidas pelo sistema de esgoto sanitário, concentrado nos bairros centrais e adjacências. Assim o SABV está exposto a um risco de contaminação considerável pelo esgoto não coletado por este sistema.

A boa permeabilidade do solo aumenta os riscos de contaminação. Neste sentido, Ávila

(2008) mostrou que as zonas da cidade mais vulneráveis a poluição do subsolo são a sul e sudoeste, uma vez que ali o subsolo se apresenta permeável e o nível do lençol freático é mais raso (1,35 a 4,00 m de profundidade no período de estiagem).

A CPRM (2001) realizou amostragem e análises físico-químicas para caracterização hidrogeoquímica e avaliação da qualidade da águas nos poços de abastecimento da CAER. Os resultados mostraram que as águas do SABV são predominantemente cloretadas sódicas de acordo com o Diagrama de Piper.

Informações relativas aos poços de captação de água utilizados pela CAER mostram valores de pH variando de 5,22 a 6,6, com média de 5,4 e condutividade elétrica entre 5,6 e 234 S/cm, com média de 58,02 S/cm. Os maiores valores de condutividade são mais freqüentes nas proximidades da bacia do igarapé Grande. Corroborando com essa afirmação, a CPRM (2001) registrou altos valores de nitrato (variando de 2 a 3.9 mgN/L) nas bacias do igarapé Grande e Pricumã. Uma correlação interessante é que os poços com valores mais elevados de nitrato também apresentaram altos valores de condutividade.

Estes valores foram interpretados como indicativo da contaminação devido à infiltração de águas servidas e das fossas domésticas e depósitos de lixo existentes dentro da área. Cabe ressaltar que área em questão não apresenta sistema de coleta de esgoto, sendo que sistema dominante utilizado como destino dos efluentes domésticos é a fossa séptica. Além disto, nesta bacia estava localizado o antigo depósito de lixo da cidade de Boa Vista.

O nível freático do SABV é bastante superficial ao longo de sistemas paludais em

parte já ocupados pela malha urbana. Tais sistemas são responsáveis pela manutenção dos principais igarapés urbanos de Boa Vista. Como é comum nestas áreas o afloramento do lençol freático, entrando em contato com fontes potenciais de contaminação existentes na superfície (FIGURA 6), o SABV nesta região é altamente vulnerável a contaminação, especialmente na estação úmida. Com o adensamento populacional e a ampliação das atividades econômicas nestas regiões, níveis de contaminação do aquífero tendem a se agravar (FIGURA 7).

É importante ressaltar que a zona não-saturada é a primeira e mais importante defesa natural contra a contaminação de aquífero (FOSTER, 1993). Devido à capacidade do solo para interceptação, sorção e eliminação das bactérias e vírus bem como atenuação de cargas contendo metais pesados e outros químicos orgânicos, tempo de permanência do material contaminantes nesta área reduz significativamente o risco de contaminação. Além disso, estas áreas não são recomendadas para construção de edificações, pois a variação do lençol freático afeta a estrutura dos imóveis, promovendo rachaduras e surgência de água, assim como no destino final do esgoto doméstico, resultando na diminuição na capacidade de estocagem e transbordamento das fossas sépticas em função da proximidade ou afloramento da água na estação úmida.

Existem poucos estudos sobre a qualidade de água do SABV na área rural. Mello (2009), a partir de resultados de um monitoramento em 1 ano hidrológico de 14 poços amazonas e 1 tubular na região bacia do igarapé Sucurijú, afluente do rio Murupu, observou que o SABV é muito utilizado tanto no abastecimento humano como na irrigação.



**FIGURA 6** - Escavação de fossa séptica com lençol surgente na estação úmida do bairro Senador Hélio Campos, da cidade de Boa Vista.  
Fotografado por Carlos Sander, em julho de 2008.



**FIGURA 7** - vista aérea do bairro Conjunto Cidadão, extremo oeste da cidade de Boa Vista. Ao fundo da figura, observar que mesmo ao final da estação seca (março de 2007) é possível verificar o afloramento do SABV em ambientes paludais, indicando que mesmo neste período, o lençol freático fica próximo à superfície, demonstrando a forte vulnerabilidade do aquífero.  
Foto: Acervo do Núcleo Integrado de Pesquisa e Educação Ambiental - Hydros, 2009.

O nível freático apresentou variação de 0,52 a 7,64 metros de profundidade. Os valores pH variaram entre 4,68 e 7,38 na estação seca e de 6,92 a 8,24 na estação úmida, e a temperatura média foi de 29,22 °C. A condutividade elétrica, por sua vez, variou entre 5,5 a 75,34

$\mu\text{S}/\text{cm}$  (média de 33,37  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) e o nitrato de 1,6 a 220 mg/L, média de 28,56 mg/L. O valor de 220 mg/L de nitrato encontrado em poços amazonas refere-se a uma residência onde o esgoto sanitário é lançado a céu aberto a pouco mais de 25 metros de distância do poço de



**FIGURA 8** - Aspecto das condições dos poços do projeto assentamento nova amazônia - RR.: A) Observar a distância da fossa séptica do poço (seta branca); B) presença de criação de porcos (seta preta) próxima a poço escavado.

Fotografado pelos autores.

captação de água. Devemos ressaltar que além das fossas sépticas o uso de fertilizantes nitrogenados nas lavouras em período próximos a realização dos levantamentos podem elevar os valores de nitrato. A autora observa que mesmo tendo uma densidade baixa de ocupação, e sendo um local onde predomina a agricultura familiar de pequena produção, em torno de 73% dos poços apresentaram valores de nitrato acima do recomendado pela portaria 518/04 do Ministério da saúde.

Mello (2009) observou ainda que SABV na área apresentou 100% dos poços com presença de Coliformes Totais. A autora mostrou que 50% dos poços indicaram contaminação por coliformes termotolerantes. A fontes destes contaminantes é de origem antrópica e multi-pontual, oriunda do sistema de saneamento *in situ* (FIGURA 8A), criação de suínos (FIGURA 8B).

Cabe ainda observar que um poço tubular da área, com aproximadamente 30 metros de profundidade, apresentou valores elevados de condutividade (85,52 a 152,82  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ), com pH de 6,3 a 8,8 e ainda baixo

valor de nitrato (0,003 mg/L). Estes valores podem ser resultado da geologia da bacia, pois estes resultados sugerem que Sistema Aquífero Boa Vista, na área de pesquisa, apresenta uma estratificação hidrogeológica vertical.

## PERSPECTIVAS DE ESTUDO

A importância do Sistema Aquífero Boa Vista, o abastecimento da capital do estado de Roraima, somada a sua alta vulnerabilidade ambiental e a exploração desordenada impõe a necessidade de uma série de estudos para a produção de conhecimentos sobre suas características. Destacam-se a seguir aqueles que se consideram mais fundamentais.

### Caracterização da rocha reservatório

A caracterização hidrogeológica de um aquífero implica na caracterização geológica do substrato onde o corpo aquoso está hospedado. Para tal, um conjunto de técnicas são necessárias, e cujas resoluções permitam a análise da escala estratigráfica, deposicional e faciológica do aquífero. Um modelo de hierarquização de escalas de heterogeneidades

de aquíferos descrita em Galloway e Sharp (1998b), obedecendo à sistematização proposta em Paim et al. (2003), que define as seguintes escalas de observação:

*Escala gigascópica* > corresponde ao estudo do aquífero regional; no contexto, representa o estudo do grau de confinamento e conectabilidade do aquífero na área de estudo.

*Escala megascópica* > equivale à escala estratigráfica. Galloway e Sharp (1998b) a relacionam ao estudo da geometria externa e inter-relação das unidades hidroestratigráficas definidas na escala do campo de poços. Representa os dados de correlação de poços, e características petrofísicas das falhas e sua relação com a hidrogeologia.

*Escala macroscópica* > compreende aos sistemas deposicionais e elementos arquiteturais. Envolve as heterogeneidades do aquífero devido à compartimentação das unidades sedimentares, elementos arquiteturais e camadas separadas por superfícies deposicionais limitantes ou diastemas deposicionais. A distribuição da permeabilidade deve-se a padrões distintos (verticais ou horizontais) que controlam a permeabilidade primária e distribuição da permeabilidade no aquífero.

*Escala mesoscópica* > é a escala de litofácies. Envolve sucessões e repetições específicas de estruturas sedimentares que tipificam muitos arenitos, bem como bioturbação ou diagênese e *soft deformation*, que pode criar *trends* sistemáticos no aquífero e alterar os *trends* primários. Na escala mesoscópica é avaliado como as distintas estratificações e superfícies de camadas com lentes de pelito podem restringir o fluxo e, conseqüentemente, delineiam sua orientação, abundância, e continuidade relativa no

aquífero. Esta é a escala de realização da identificação de litofácies e dos padrões de deposição que causem anisotropias.

Entende-se que as influências das heterogeneidades identificadas nas diversas escalas de trabalho servirão de subsídio para a melhor quantificação dos parâmetros geométricos e hidráulicos. Assim devemos considerar alguns conceitos utilizados na elaboração de modelos numéricos hidrogeológicos para a construção o modelo geológico (FIGURA 9):

- *Linhas de fluxo* - linhas imaginárias que representam o caminho percorrido por uma partícula no aquífero;
- *Linhas equipotenciais* - linhas que representam valores iguais de carga hidráulica em toda sua extensão. O deslocamento das linhas de fluxo sempre ocorre da linha equipotencial de maior valor para a linha equipotencial de menor valor. Linhas equipotenciais e Linhas de fluxo são ortogonais entre si;
- *Meio Homogêneo* - é onde o valor da condutividade hidráulica  $K$  é independente da posição dentro de uma formação geológica;
- *Meio Heterogêneo* - é onde o valor da condutividade hidráulica  $K$  é dependente da posição dentro do estrato geológico;
- *Meio Isotrópico* - é onde o valor da condutividade hidráulica  $K$  é independente da direção de medição em um ponto dentro do estrato geológico;
- *Meio Anisotrópico* - é onde o valor da condutividade hidráulica  $K$  é

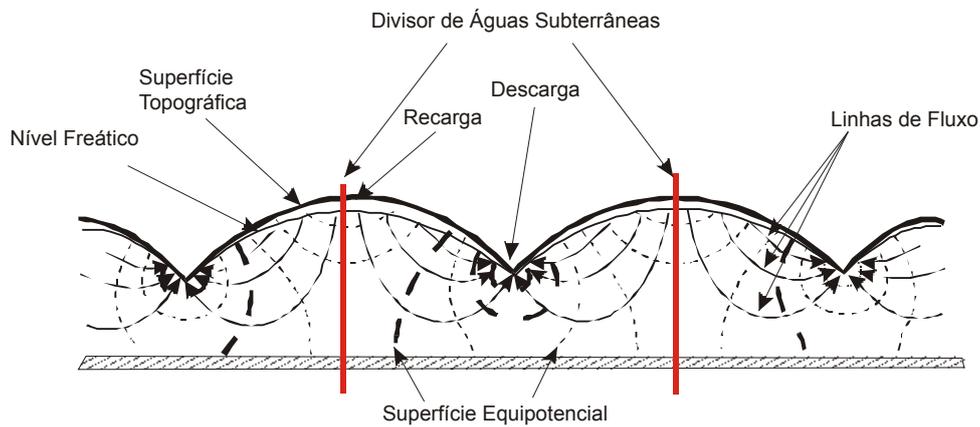


FIGURA 9 – Rede de fluxo de água subterrânea. Seção transversal de um sistema homogêneo e isotrópico, limitado no fundo por uma camada impermeável. As setas identificam os conceitos citados no texto (HUBBERT, 1940; apud FREEZE; CHERRY, 1993).

dependente da direção de medição em um ponto dentro do estrato geológico.

- *Área de recarga* - é a porção drenante da bacia, onde a linha de fluxo saturada se dirige para fora do alimentador de água, ou seja, são porções do terreno onde ocorre a infiltração das águas superficiais.
- *Área de descarga* - é a porção da bacia drenante onde a linha de fluxo segue em direção ao alimentador de água (regiões de menor carga hidráulica).
- *Divisor de água subterrânea* - é uma

linha imaginária onde não existe fluxo transversal de água. Normalmente acompanha o divisor de água superficial;

- *Nível freático* - é uma superfície abaixo da qual se inicia a zona saturada de água subterrânea. Corresponde ao limite superior dos aquíferos livres.
- *Superfície topográfica* - é a superfície natural do terreno.

A *topografia* terá uma influência importante no fluxo da água subterrânea, como pode ser observado na Figura 10. O fluxo de água subterrânea desloca-se seguindo linha

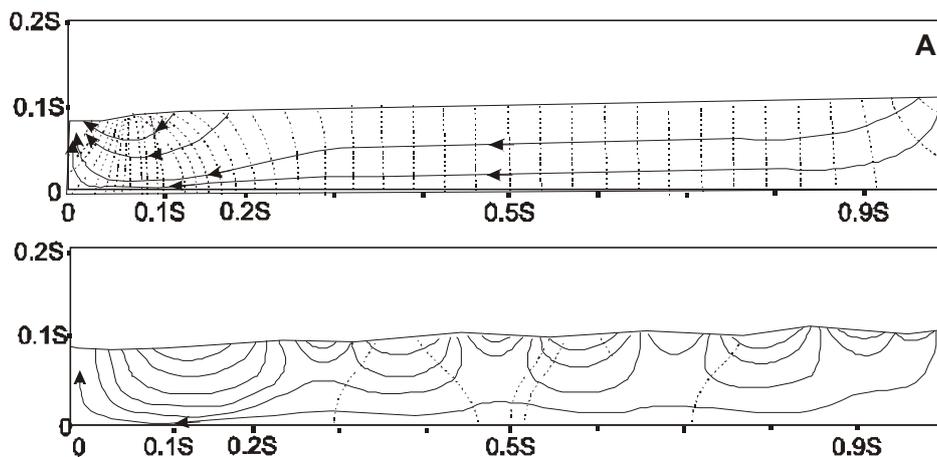


FIGURA 10 – Efeito da topografia no comportamento do fluxo de água subterrânea: A) corpo com condutividade hidráulica constante, em que o fluxo inicia num ponto topograficamente mais elevado (à direita) seguindo para um ponto de cota mais baixa (à esquerda); B) ao ser inserido um “relevô”, as elevações resultantes tornam-se pontos onde iniciam subsistemas de fluxo, que convergem para as áreas deprimidas contíguas - abaixo destas linhas de fluxo existirá uma rede regional ainda atuante (FREEZE; WITHERSPOON, 1967; APUD FREEZE; CHERRY, 1993).

de contorno topográfico a partir da maior elevação da área em direção ao ponto de menor cota topográfica. No caso de um relevo acidentado, as linhas de fluxo definem diversos subsistemas. As diversas elevações resultam em áreas de recarga cujos fluxos convergem tanto para áreas deprimidas contíguas (depressões que separam as elevações), como podem abastecer a rede de fluxo regional que ainda se desloca abaixo dos subsistemas, controlada pela topografia regional.

Esta questão pode ser visualizada a partir do modelo digital do terreno de Moraga (2009; FIGURA 11), que mostra que cidade apresenta-se segmentada por micro-bacias hidrográficas no sentido noroeste-sudeste. O fluxo de água subterrânea acompanhará o sentido das

vertentes, ou seja será transversal a direção dos canais fluviais. Devemos destacar que devido ao baixo gradiente das vertentes, é comum o lençol freático ficar próximo as superfície mesmo nos pontos de alta vertente. Outra questão que pode ser visualizada na imagem é que os principais canais urbanos possuem um gradiente mais elevado no seu trecho inferior, com valores de declividade de 0,5 a 1,1 cm/m. A exceção é o igarapé Caraná, que possui uma declividade no trecho inferior de 0,3 cm/m.

Caso as linhas de fluxo cruzem interfaces entre camadas geológicas de condutividade hidráulica distinta, ocorre o efeito de refração, que deve ser considerado na elaboração do modelo geológico (FIGURA 12A).

Camadas sobrepostas com diferentes condutividades geram um aquífero

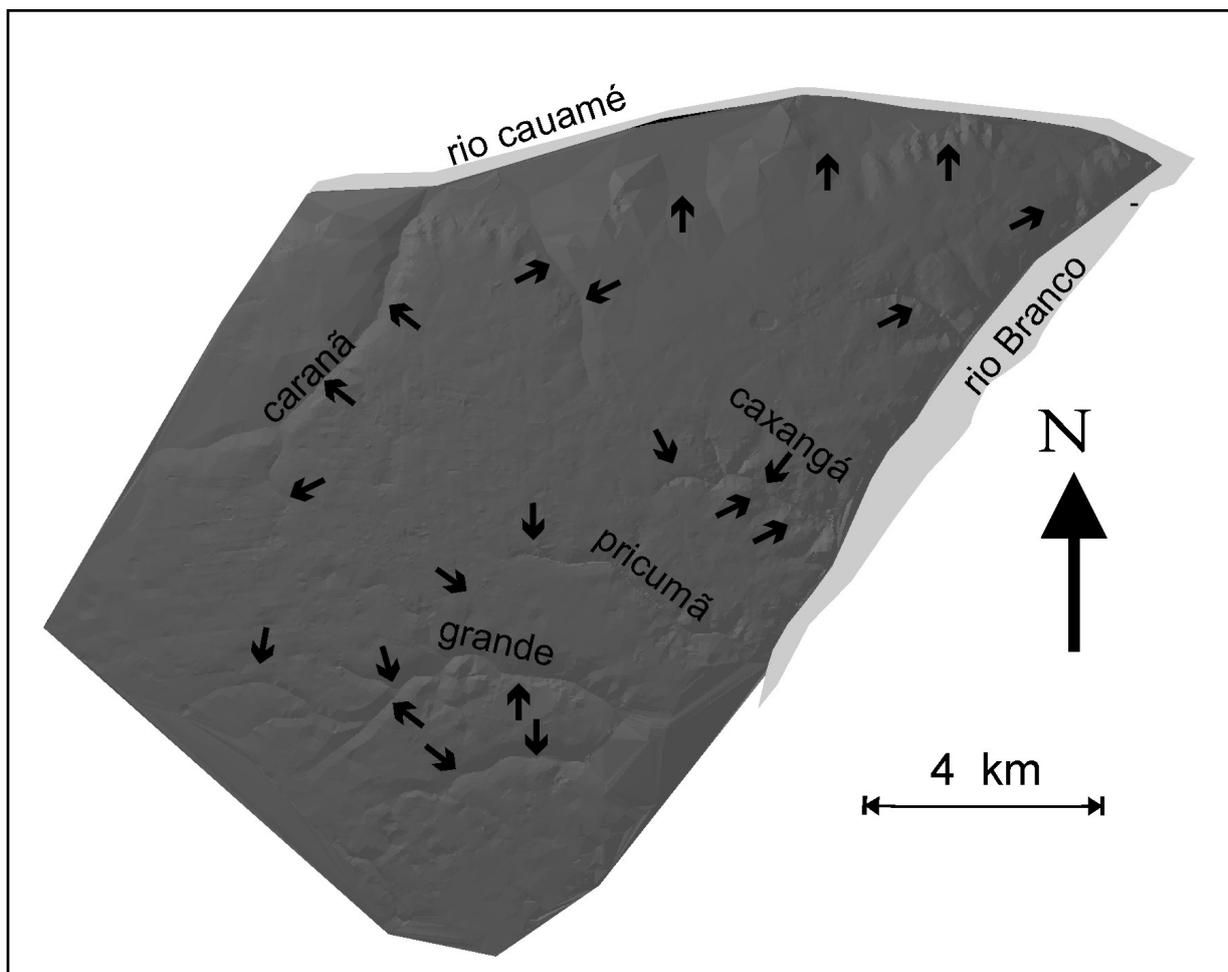
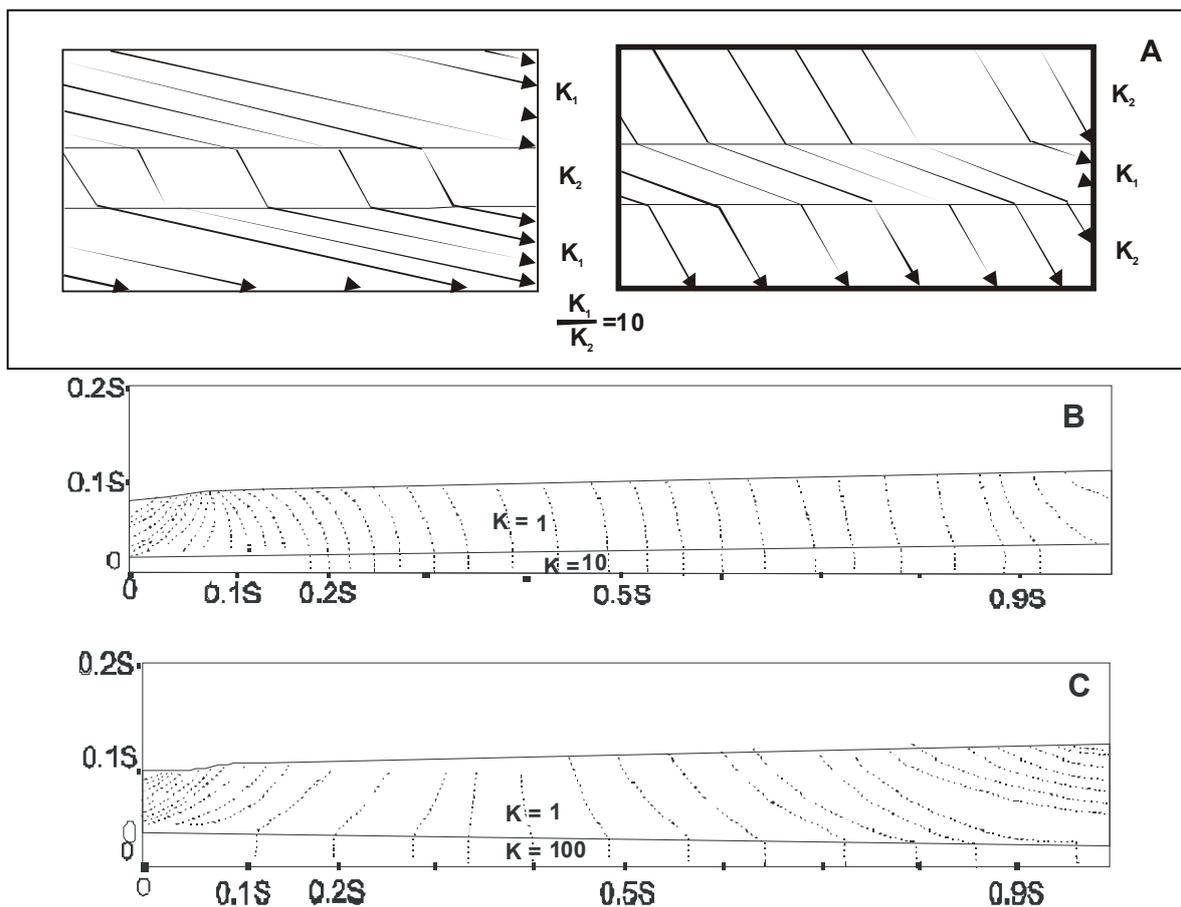


FIGURA 11 - Modelo digital do terreno de parte da área urbana de Boa Vista. Observar da variação topográfica da área (MORAGA, 2009).



**FIGURA 12** - Efeito da geologia no comportamento do fluxo de água subterrânea: A) Comportamento das linhas de fluxo em meio heterogêneos. Caso o aquífero apresente camadas com diferentes valores de condutividade hidráulica (K), as linhas de fluxo tendem a ser mais horizontalizadas, se comparadas às camadas de menor condutividade; B) corpo com duas camadas de diferentes valores de condutividade, em que linhas equipotenciais refratam e se verticalizam; C) a camada sotoposta apresentando grande diferença de permeabilidade - gera um caminho para o fluxo em que os efeitos da topografia são minimizados (FREEZE; WITHERPOON, 1967; *apud* FREEZE; CHERRY, 1993).

heterogêneo, com a refração das linhas equipotenciais. Como as linhas de fluxo sempre são ortogonais às linhas equipotenciais, o fluxo tenderá a ser horizontal (FIGURA 12B). Caso a camada sotoposta mostre grande diferença de permeabilidade em relação a sua sobrejacente, o fluxo tenderá a convergir para a camada sotoposta, a qual mostrará linhas de fluxo que sofrerão uma menor influência da topografia de superfície (FIGURA 12C).

### Hidrologia

Estudos hidrológicos incluem:

i) Cadastro dos poços e pontos de água da

região, coletando todos os dados possíveis da geologia, hidrogeologia e hidráulica do poço ou manancial;

ii) Identificação características hidráulicas das diferentes unidades geológicas;

iii) Identificação dos controladores geológicos da produção de poços;

iv) Estudo da hidrologia da área (estações fluvio e pluviométricas e estações meteorológicas), avaliando a recarga ou determinando o excedente hídrico;

v) Determinação a relação água subterrânea e superficial - descargas e fluxo de base - avaliação das características hidráulicas dos poços por meio de medições *in situ* e testes

hidráulicos (teste de bombeamento - reavaliação de existentes);

No tocante ao cadastro o Sistema SIAGAS da CPRM tem contribuído significativamente para a unificação dos bancos de dados hidrogeológicos e resgates de dados hidrogeológicos do Estado de Roraima. Contudo os inúmeros poços particulares desconhecidos e o conhecimento precários sobre o manancial da cidade de Boa Vista ainda são desafios a serem enfrentados.

Quanto as características hidráulicas, a CPRM (2001) registrou discrepâncias entre as informações de vazão e de produção encontradas nos relatórios de perfuração. Estas características são fundamentais para determinar a taxa e exploração do reservatório.

Os presentes autores, com o suporte dos laboratórios de Hidrosedimentologia e Ciências Atmosféricas do Projeto Hydros/UFRR caracterizaram o comportamento pluviométrico do município de Boa Vista, com base em 18 estações localizadas dentro de um perímetro de até 120 km distante da cidade. Esta caracterização é preliminar, pois em Roraima as estações pluviométricas apresentam dados inferiores há três décadas, com exceção da estação pluviométrica do INMET, localizada em Boa Vista, que possui dados de pluviosidade de praticamente um século.

A pluviosidade total do município de Boa Vista segue o comportamento geral das chuvas no Estado. Separando o ano hidrológico em períodos pluviométricos, observou-se que a maior parte do volume de chuvas acontece de abril - setembro, coincidindo com a subida dos níveis dos rios e quando o nível freático do SABV alcança seu pico máximo. A média de chuvas da cidade de Boa Vista varia de 1600 mm (parcela sudeste) e

1500 mm (parcela centro-leste). No período de outubro - março verificou-se o oposto, quando há escassez de chuvas na região e determina o rebaixamento dos lençol do SABV, atingindo sua cota mínima geralmente nos meses março e abril. A precipitação neste período em torno de 300 mm na cidade.

Conforme Evangelista et al. (2008) aproximadamente 80% dos totais pluviométricos anuais acontecem entre os meses de abril a setembro, o que resulta em uma forte variação do lençol freático do SABV ao longo do ano. CPRM (2001) sugeriu que a recarga do SABV entre maio e agosto (estação úmida) seria algo em torno de 14.000.000 m<sup>3</sup> de água abastecem o sistema. Contudo, os próprios autores admitem que o método empregado não permitiu uma aproximação desejada. Assim há a necessidade de desenvolvam estudos que envolvam cálculos e medidas de evapotranspiração, de vazão dos principais cursos d'água e de precipitação pluviométrica e condutividade hidráulica e ensaios de permeabilidade.

### **Produtividade e Qualidade de Água dos Poços**

É importante estabelecer uma avaliação sistemática da produtividade dos poços, por meio de ensaios de vazão e medição do nível dinâmico ao longo do tempo, de modo a acompanhar possíveis variações da produtividade dos poços. Faz-se necessário uma série de ações e medidas administrativas dos gestores no tocante a exploração e uso da água subterrânea em Boa Vista, entre as quais se relacionam a seguir as mais prementes:

- a. Estabelecimento de instrumentos legais, de normas técnicas e de uma estrutura técnico-administrativa que garanta a eficácia na exploração e

- controle desse recurso;
- b. Disciplinamento pelas autoridades competentes das perfurações de poços, de modo que os mesmos não se tornem vetores de contaminação do aquífero devido à construção inadequada;
  - c. Definição técnica do perímetro de proteção de poços, dada a presença de fossas, postos de gasolina, cemitérios, termelétricas, curtumes, dentre outras fontes potenciais de contaminação, que representam sério risco de contaminação da água;
  - d. Estabelecimento de poços de monitoramento que deverão ser devidamente aparelhados;
  - e. Gestão integrada da água subterrânea com a água superficial;
  - f. Expansão e aperfeiçoamento de SIAGAS da CPRM em Roraima.

Por fim, é necessário desenvolver campanhas de informação e educação, para sensibilizar e mobilizar a sociedade sobre a importância da água subterrânea e dos cuidados básicos para sua proteção e sustentabilidade, além de capacitar tecnicamente gestores privados e públicos (municipais, estaduais e federais) que lidam com este recurso essencial.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

O conhecimento sobre os impactos na qualidade da água subterrânea em Boa Vista encontra-se ainda em estágio inicial quando comparado a outras capitais do país. A identificação de áreas potencialmente contaminadas ainda é incipiente, decorrente de uma histórica falta de políticas públicas para a gestão de águas subterrâneas acoplada ao desconhecimento da população e do governo sobre a importância dos aquíferos para o

abastecimento público.

A caracterização do SABV e sua importância para o abastecimento público e atividades agrícolas é um tema que merece investigações sistemáticas a longo prazo. São necessários estudos de sua rocha reservatório para identificação das anisotropias e heterogeneidades, caracterização do sistema hidrológico - em especial o comportamento de recarga do aquífero, monitoramento ambiental - pois estudos desta natureza possibilitam identificar os processos de contaminação dos reservatórios e determinar as práticas de remediação.

Tais avaliações podem ser efetuadas pelo monitoramento de áreas piloto ou pela caracterização regional do aquífero. Os resultados desses estudos podem ser utilizados para alertar sobre o potencial de mobilidade dos contaminantes nas águas subterrâneas, fornecendo subsídios para planejamento e implantação de políticas públicas pelos órgãos governamentais.

## NOTAS

<sup>i</sup> Geólogo; Doutor em Geologia pela Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS); Professor Adjunto do Departamento de Geologia da Universidade Federal de Roraima (UFRR).

E-mail: [fwankler@uol.com.br](mailto:fwankler@uol.com.br)

<sup>ii</sup> Geólogo; Doutor em Energia Nuclear na Agricultura pela Universidade de São Paulo (USP); Professor Adjunto do Departamento de Geologia da Universidade Federal de Roraima (UFRR).

E-mail: [renato\\_ufrr@yahoo.com.br](mailto:renato_ufrr@yahoo.com.br)

<sup>iii</sup> Geógrafo; Doutorando em Geografia pela Universidade Estadual de Maringá (UEM);

Professor Assistente do Departamento de Geografia da Universidade Federal de Roraima (UFRR).

E-mail: [sandergeo@yahoo.com](mailto:sandergeo@yahoo.com)

## REFERÊNCIAS

ANTONELLINI, M.; AYDIN, A. Effect of faulting on fluid flow on porous sandstones: geometry and spatial distribution. *AAPG Bulletin*, 79(5), 1995. pp.642-671.

ÁVILA, I.C.S.S. *Caracterização preliminar do subsolo da área urbana de Boa Vista-RR, a partir de sondagens de simples reconhecimento*. (Mestrado em Recursos Naturais). Boa Vista: Programa de Pós-Graduação em Recursos Naturais - Universidade Federal de Roraima (UFRR), 2007.

BORBA, C. *Heterogeneidades Estruturais em Reservatórios: Geometria e Distribuição de Falhas*. (Doutorado em Geologia). Campinas: Pós-Graduação em Geologia, Universidade Estadual de Campinas, 1996.

BRASIL. Ministério da Saúde. *Estabelece os procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, e dá outras providências*. Portaria Nº 518, de 25 de Março de 2004. DOU 26/03/2004, seção I, p 266.

BRIDGE, J. S.. *Rivers & Floodplain -Forms, Process and Sedimentary Records*. Cornell (UK): Blackwell publishing, 2003.

CAER. Companhia de águas e Esgoto do Estado de Roraima. *Mapa do Sistema de Esgotamento Sanitário da cidade de Boa Vista*. Boa Vista, 2008. 1 Mapa: 41,5 x 58 cm. Escala 1:15.000.

CPRM. Companhia de Pesquisas de Recursos Minerais. *Zoneamento Ecológico-Econômico da Região Central do Estado de Roraima*. Rio de Janeiro: CPRM - Serviço Geológico do Brasil, 2002.

EICHHBL, P. *et al.*. Paleo-fluid flow and deformation in the Aztec Sandstone at the Valley of Fire, Nevada - Evidence for the

coupling of hydrogeologic, diagenetic, and tectonic process. *GSA Bulletin*, 116 (9/10), 2004. pp.1120-1136.

EVANGELISTA, R. A. O. ; SANDER, C. ; WANKLER, F. L. . Estudo Preliminar da distribuição pluviométrica e do regime fluvial da bacia do rio Branco, estado de Roraima. In: SILVA, Paulo Rogério Freitas; OLIVEIRA, Rafael da Silva (Orgs.). *Roraima 20 anos: as Geografias de um novo Estado*. Boa vista: Editora da Universidade Federal de Roraima, 2008, pp.142-167.

FOSTER, S. Determinação do risco de contaminação das águas subterrâneas; um método baseado em dados existentes. São Paulo, *Instituto Geológico, Boletim nº10*, 1993.

FREEZE, R. A.; CHERRY, J. A. *Goundwater*. New Jersey (EUA): Prentice-Hall. 1993.

GALLOWAY, W. E. & SHARP JR., J. M. Hydrogeology and Characterization of Fluvial Aquifer Systems. In: FRASER, G. S.; DAVIS, J. M. (Eds.). *Hidrogeologic Models of Sedimentary Aquifers*. Tulsa (EUA): SEMP Special Publications, 1998b. pp.91-106.

GALLOWAY, W. E.; SHARP Jr., J. M.. Characterizing aquifer heterogeneity within terrigenous clastic depositional systems. In: FRASER, G. S.; DAVIS, J. M. (Eds.). *Hidrogeologic Models of Sedimentary Aquifers*. Tulsa (EUA): SEMP Special Publications, 1998. pp.91-106.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Contagem da População 2007*. Disponível em : <<http://www.ibge.gov.br/cidadesat/topwindow.htm?1>> Acesso em 12 de Novembro de 2009.

MELLO, M. P. M. de. *Qualidade da Água Subterrânea em Poços do PA Nova Amazônia (RR): influência dos agentes impactantes*. (Monografia de Especialização em Recursos Naturais). Boa Vista: Programa Pós-graduação em Recursos Naturais/PRONAT. Universidade Federal de Roraima, 2009.

MORAGA, C. H. M. *Empregando GPS Geodésico*

*em Topografia: o caso do primeiro levantamento planialtimétrico semi-cadastral da cidade de Boa Vista-RR.* (Monografia de Graduação - Bacharelado - em Geografia). Boa Vista: Instituto de Geociências, Universidade Federal de Roraima, 2009.

PROJETO HYDROS. *Programa Técnico Científico, Didático, Pedagógico na temática ambiental dos Recursos Hídricos em Boa Vista. Relatório Final.* Boa Vista, 2009. [CD-ROM].

RAWLING, G. C.; GOODWIN, L. B. & WILSON, J. L.. Internal architecture, permeability structure, and hidrologic significance of contrasting fault-zone types. *Geology*, 29 (1):2001. pp.43-46.

REIS, N. J. ; FARIA, M. S. G. de & MAIA, M. A.

M.. Quadro Cenozóico da porção norte oriental do Estado de Roraima. In: KLEIN, E. L. VASQUEZ, M. L.; ROSA-COSTA L. T. (Orgs.). *Contribuição a Geologia da Amazônia*, Manaus, 2002. pp.259-272.

SEPLAN. Secretaria de Estado de Planejamento e Desenvolvimento de Roraima. *Roraima: conjuntura e oportunidades.* Boa Vista: SEPLAN-RR, 2008.

TINDALL, S. E. Jointed deformation bands may not compartmentalize reservoirs. *AAPG Bulletin*, 90 (2), 2006. pp.177-192.

VAZ, P. T.; WANDERLEY FILHO, J. R.; BUENO, G.V. Bacia do Tacutu. *Boletim de Geociências da PETROBRAS*. v.15, n. 2, 2007. pp.289-297.