

**BALANÇO HÍDRICO DO AQUÍFERO CUCHUJAQUI EM ÁLAMOS,  
SONORA, MÉXICO**

Gabriel de Lyra Pessina<sup>1</sup>; Daniel José da Silva<sup>2</sup> & Celso Moller Ferreira<sup>3</sup>

**Resumo** – Considerando que em muitos países do mundo a água potável já é escassa e de baixa qualidade, torna-se necessário estudar e avaliar sua disponibilidade, usos e demanda. A partir desta ótica, realizou-se este estudo em Álamos, México. Com o objetivo principal de avaliar a disponibilidade de água para abastecimento público, o estudo iniciou-se a partir da caracterização do local, com enfoque na hidrografia, hidrogeologia e saneamento. Saídas de campo foram realizadas com vistas a analisar os usos das águas e avaliar os poços utilizados para abastecimento local. Sobre as fontes de abastecimento de água das comunidades, pode-se afirmar que os poços e arroios são os mais representativos, seguidos pelas nascentes; os maiores usos são doméstico e pecuário. Foi realizado um balanço hídrico das águas subterrâneas, onde se verificou que o aquífero Cuchujaqui encontra-se sub-explotado. Os principais resultados do balanço hídrico foram que o escoamento superficial que sai da bacia representa aproximadamente 8,5% do volume médio anual precipitado, a evapotranspiração 85,13% e a recarga do aquífero 3,2%. Finalmente, concluiu-se que a principal causa para a falta de água para abastecimento da cidade de Álamos está relacionada à localização dos poços utilizados.

**Abstract** – Taking into account that in many countries of the world the drinking water is already scarce and of low quality, it becomes necessary to study (evaluate) the water availability, usage and demand. Regarding that, we have developed this study in Alamos, Mexico. Forwarding on evaluating the availability of water for public supplying, the study was started from local characterization with the main focus on the hydrography, hydrogeology and sanitary aspects. Field journeys were accomplished to build an inventory of water usage and analysis of the wells used in exploiting groundwater to local supplying. Referring to water supply sources to the communities we can assert the most significant ones being the wells and streams, followed by some springs; the main

---

<sup>1</sup> Eng° Sanitarista e Ambiental. Ex-acadêmico da Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC. Empresa Prosul - Projetos, Supervisão e Planej. Ltda. Rua Saldanha Marinho, 116-3º Andar, Centro, Florianópolis/SC, 88010-450 - Fone/Fax: (48) 3027-2730. E-mail: gpressina@prosul.com

<sup>2</sup> Professor adjunto da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Dr., Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Campus Universitário, Trindade, Florianópolis/SC, 88040-970 - Fone: (48) 3721-9597, Fax: (48) 3234-6459. E-mail: daniel@ens.ufsc.br

<sup>3</sup> Pesquisador colaborador da UFSC, Msc., Eng. Sanitarista e Ambiental. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Campus Universitário, Trindade, Florianópolis/SC, 88040-970 Fone: (48) 3721-9597, Fax: (48) 3234-6459. E-mail: celsomoller@hotmail.com

usages are domestic and on pecuary. Calculations on a groundwater hydric balance basis showed the sub-exploitation of Cuchujaqui aquiferous. The main results from the hydric balance allowed to assert a figure of 8,5% on superficial run-off from the basin, 85,13% on evapotranspiration and 3,2% on aquiferous recharging to the annual average precipitation volume. Finally, we have concluded that the main reason for the lack of water supplying to Alamos city is related to the localization of supplying wells.

**Palavras-Chave** – Aquífero, Balanço Hídrico, Usos da Água.

## 1 - INTRODUÇÃO

Este Trabalho teve como objetivo geral estudar e caracterizar o aquífero Cuchujaqui localizado sob a Parte Alta da Bacia Hidrográfica do Rio Cuchujaqui (PABHRC), no município de Álamos, situado no estado de Sonora, México.

Sua realização foi possível graças ao acordo de cooperação entre a Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) e a Universidad de Sonora (UNISON), que possibilitou a realização de um intercâmbio acadêmico de pesquisa entre ambas instituições.

A maior parte do estudo foi realizada na Unidade de Conservação classificada como Área de Proteção de Flora e Fauna (APFF) “*Sierra de Álamos - Río Cuchujaqui*” que pertence a *Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas* (CONANP), com apoio dos Departamentos de *Geología e Agricultura y Ganadería* da Universidad de Sonora (UNISON) – Campus Hermosillo e do Colegio de Sonora (Instituto de Pós-Graduação). O período de intercâmbio foi de julho de 2006 a fevereiro de 2007.

Este trabalho apresenta um estudo sobre o balanço hídrico, usos da água, análise de poços utilizados para captação de água e caracterização da Parte Alta da Bacia Hidrográfica do Rio Cuchujaqui - PABHRC (também conhecida por sub-bacia *Arroyo Álamos*) e de sua área de influência. A PABHRC se localiza no município de Álamos e a maior parte de sua área coincide com a da APFF.

## 2 - FUDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A água é considerada um Bem Comum da humanidade, garantido como um direito básico do ser humano constante da declaração da ONU em 1977, que estabeleceu de maneira específica que

“todos os povos, seja qual for seu estágio de desenvolvimento, têm o direito de acesso à água potável em quantidade e qualidade que supram suas necessidades” (CLARKE e KING, 2005).

É necessário preservar e proteger todas as fontes de água potável do mundo, incluindo rios, lagos, aquíferos, lagoas, lagunas e geleiras, tendo como pressuposto que em muitos países a água potável já é escassa ou de má qualidade, inclusive em algumas regiões do México e do Brasil, e que para o ano 2025 está previsto que muita gente sofrerá com a falta desse líquido vital, estimando-se que aproximadamente 2,8 bilhões de pessoas estarão vivendo em situações catastróficas de abastecimento de água (BORGUETTI et AL., 2004).

Sonora é o segundo maior estado do México em área. Possui um clima que varia de desértico a sub-úmido, com índices pluviométricos muito baixos, além disso, existe muita atividade agropecuária. Devido a esses diversos fatores, incluindo que as águas superficiais são escassas, torna-se necessário o uso de água subterrânea em grande escala e para os diversos fins. Conseqüentemente existem aquíferos sobreexplotados, ou seja, com maior extração do que recarga e em alguns casos como na Costa de Hermosillo (encontra-se em estado de colapso) já ocorre intrusão salina, devido ao abatimento dos níveis dos mantos aquíferos, facilitando a entrada da água do mar ao continente.

Mesmo que no município de Álamos e na Parte Alta da Bacia Hidrográfica do Rio Cuchujaqui (PABHRC) as precipitações (aproximadamente 600mm anuais) são relativamente maiores que no resto do estado de Sonora, também existem problemas relacionados a água, já que por diversos fatores, ocorre a falta desta para abastecimento público. Segundo o *Organismo Operador Municipal de Agua Potable Alcantarillado y Saneamiento de Álamos* (OOMAPASA, 2006) na cidade de Álamos (parte urbanizada), há um déficit de 51,67 % referente à demanda necessária, devido a problemas com as fontes de abastecimento.

Tendo em vista esta problemática, torna-se necessário avaliar a disponibilidade de água para abastecimento da população, seus usos, sua qualidade, assim como, as fontes de abastecimento, possíveis soluções e outros fatores. Garantindo dessa forma que a legislação seja cumprida, que o fornecimento de água seja adequado à população e que não haja sobre-explotamento de mananciais, inclusive dos aquíferos.

### **3 - METODOLOGIA**

Para a realização do presente trabalho optou-se por uma abordagem sistêmica de conhecimento da realidade estudada, em que se buscou entender a inter-relação e a interdependência

dos fenômenos físicos, sociais, culturais, ambientais do contexto da região de Álamos, que foram pesquisados através de dados primários e secundários.

Nesse processo de conhecimento, sistematizou-se o trabalho em quatro etapas, cujos conteúdos se interpenetram.

1ª etapa – Levantamento de dados e revisão bibliográfica

2ª etapa – Caracterização da área de estudo

3ª etapa – Análise dos usos das águas e poços

4ª etapa – Balanço hídrico e disponibilidade de água

#### **4 - CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO**

A região noroeste do México e em particular Sonora, possui um clima caracterizado como seco, árido, semi-árido e em poucas partes sub-úmido; quente, semi-quente e em poucas partes temperado. No sul-sudeste do estado, especificamente em Álamos, o clima varia bastante, observa-se quatro regiões, dentro do próprio município, com diferentes climas. Os índices pluviométricos são bem baixos e variam bastante, assim como o clima, desde a *Sierra Madre Occidental* (leste do estado - região com grandes altitudes) até a Planície Costeira (oeste do estado). Por este motivo, se utiliza grande quantidade de água subterrânea para abastecer a população e também para atividades agropecuárias (que são intensas no estado), fazendo com que os níveis dos lençóis freáticos diminuam consideravelmente, estando muitos aquíferos sobre-explotados, como conseqüência o abastecimento do vital líquido encontra-se prejudicado em muitas cidades. Também há outros fatores que influenciam no abastecimento adequado de água, como problemas de gestão, administração, planejamento e carência de fontes de abastecimento.

##### **4.1 - Área da PABHRC<sup>4</sup>**

- 894.653.151 m<sup>2</sup> ou 89.465,3 ha ou ainda **894,653 km<sup>2</sup>**

Vale ressaltar que a PABHRC compreende aproximadamente a metade superior (montante) de toda bacia hidrográfica do rio Cuchujaqui, esta definida pelo INEGI como se observa a seguir na Figura 1:

---

<sup>4</sup> Calculada com o software ArcView

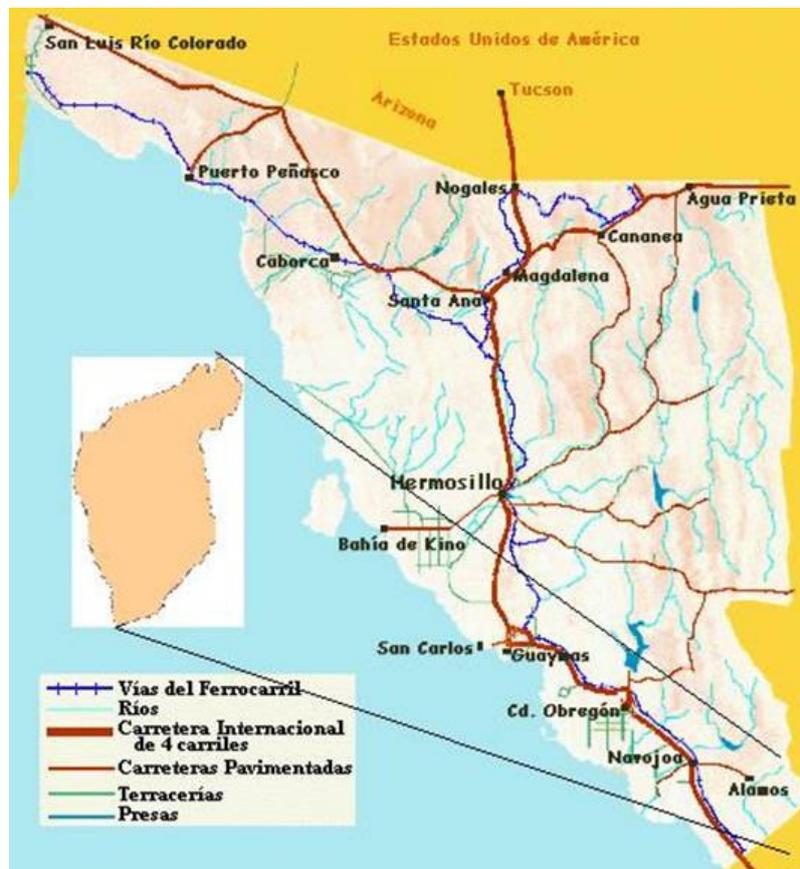
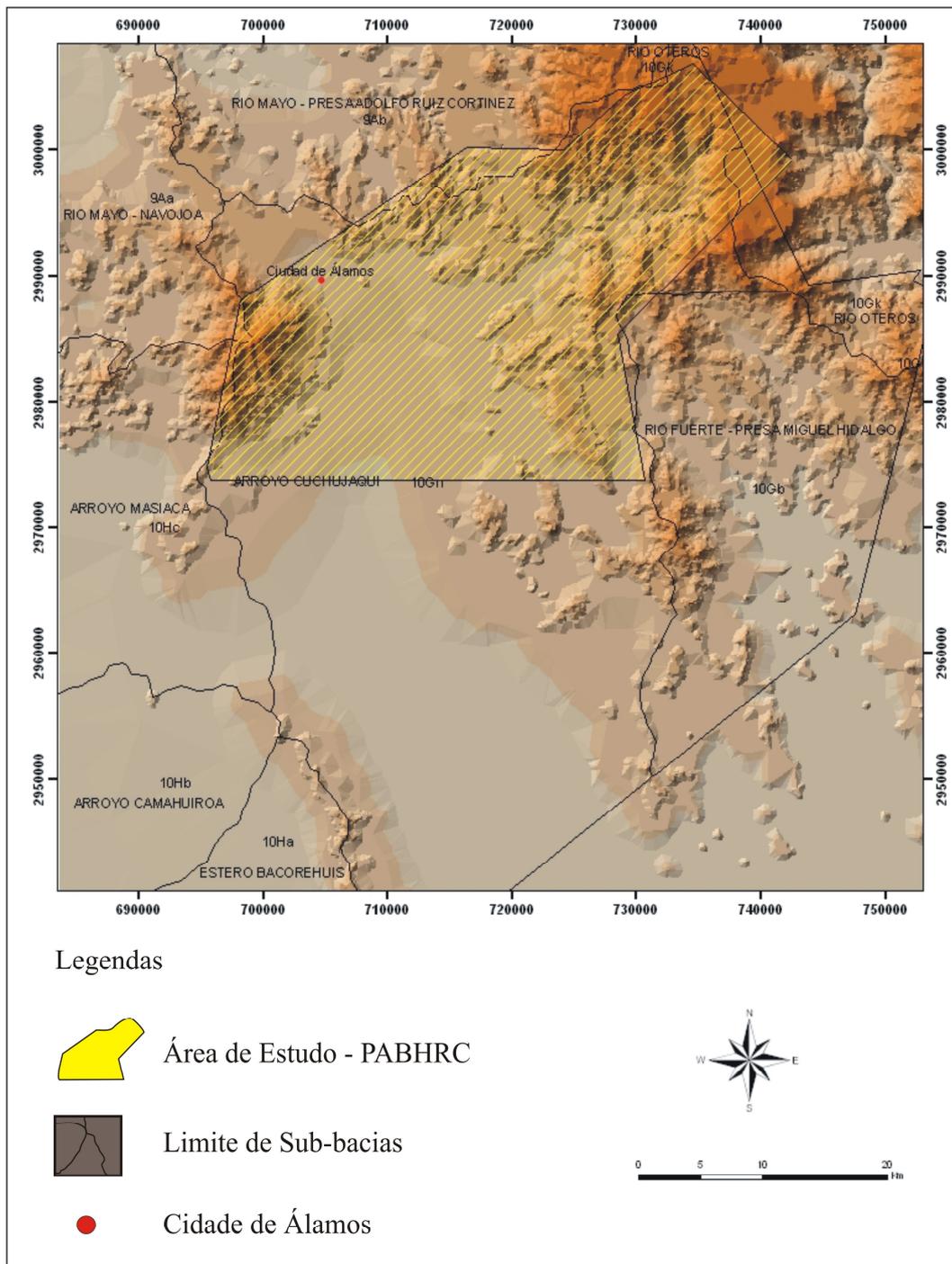


Figura 1. Forma e localização de toda a bacia hidrográfica do rio Cuchujaqui (CONANP, 2005).

#### 4.2 - Hidrografia da PABHRC

A partir da Figura 2, pode-se observar que: a bacia hidrográfica *Rio Fuerte* (10G) está localizada dentro da região hidrográfica *Sinaloa* (RH10) e abrange toda a PABHRC, já que é representada pelas sub-bacias *Arroyo Álamos* -10Gn (também conhecida por *Rio Cuchujaqui*), *Rio Fuerte – Presa Miguel Hidalgo* (10Gb) e *Río Otero* (10Gk). O Cuchujaqui (principal rio da PABHRC) escoa no sentido nordeste – sudoeste quando dentro da parte alta e, no sentido norte-sul quando a jusante desta. Os principais afluentes do Cuchujaqui são: os arroios *La Mezcalera*, *Guadalupe* e *Los Otates* (ao nordeste, onde nasce a bacia hidrográfica), *El Potrero* e *El Palmarito* (centro-norte), *La Palma* (sul-centro) e *El Mentidero* (a oeste). Outro escoamento, que pode ser considerado como o segundo mais importante, é o *Arroyo Guirocoba*, do qual apenas uma pequena porção está presente na PABHRC, que se une ao rio Cuchujaqui a aproximadamente 20 km a jusante do limite sul da PABHRC, (INEGI; 1985, 1992).



### 4.3 - Saneamento Básico

Segundo OOMAPASA (2006), o problema mais grave (relativo a saneamento) da cidade de Álamos é a falta de água potável para abastecimento público. Isto devido principalmente às fontes de abastecimento, já que algumas das fontes utilizadas (poços) se esgotaram definitivamente e percebe-se que há dificuldade de encontrar novas fontes. Pode-se dizer que esta dificuldade se deve

mais a problemas técnicos, de gestão e administração do que por falta de fontes, já que o estudo de Castillo e Morales (2005) apresenta unidades hidrogeológicas favoráveis para a exploração do manancial subterrâneo.

A rede de distribuição de água apresenta grandes deficiências. Utilizam-se diâmetros inadequados, que não proporcionam suficiente pressão de água, além da tubulação antiga de cimento, que em grande parte da rede ocasiona vazamentos e possui vida útil limitada.

Na cidade de Álamos não há tratamento de águas residuárias. Existe apenas sistema de coleta dos esgotos, sendo que o efluente é despejado diretamente no arroio La Aduana. Também não há manejo e tratamento adequado dos resíduos sólidos, apenas um lixão onde se pratica a incineração. Esses dois aspectos negativos provocam a contaminação do solo, ar, águas subterrâneas e superficiais, além de incêndios ocasionais.

#### **4.4 - Hidrogeologia da PABHRC**

Analisando o mapa hidrológico de águas subterrâneas do INEGI (1985), percebe-se que a natureza das rochas dentro da PABHRC e da APFF apresenta pouca superfície com capacidade de armazenar água; estas se localizam nas áreas de confluência dos leitos de vários arroios, tais como El Zorrillo, Álamos, El Mentidero que se juntam ao rio Cuchujaqui, assim como, o caso do arroio Guirocoba, no seu trecho inicial dentro da PABHRC.

Ainda assim, analisou-se dados e imagens do estudo de Castillo e Morales (2005) referentes ao aquífero Cuchujaqui. Na Figura 3, a seguir, pode-se observar as unidades hidrogeológicas das partes alta e baixa da bacia hidrográfica que envolvem este aquífero; estas foram delimitadas e estudadas pelos autores citados.

Percebe-se que a unidade que compreende maior parte do aquífero é Meio Fissurado (Rochas de diferentes composições), em verde na figura 3, com 64,1% do total da área, zona esta com características hidrogeológicas desfavoráveis para a extração de água subterrânea.

Outra área com características hidrogeológicas também desfavoráveis é a unidade Conglomerado, em azul na figura 3, representando uma pequena porção da área total (7,6%), sendo, talvez, a que apresente as piores características hidrogeológicas para exploração de água subterrânea.

Logo a seguir vem a unidade Terraços Fluviais (em roxo na figura 3), com 22% do total da área, sendo que esta zona possui características hidrogeológicas melhores do que as anteriores.

Por último, observa-se a unidade Aluvial (em amarelo), com 6,3% da área total, que está intrinsecamente ligada aos leitos dos rios. Apresenta as melhores características para extração de

água subterrânea, mas sua maior parte localiza-se notadamente na parte baixa da bacia, desfavorecendo a exploração das águas subterrâneas próximo à cidade de Álamos que localiza-se na parte alta da bacia.

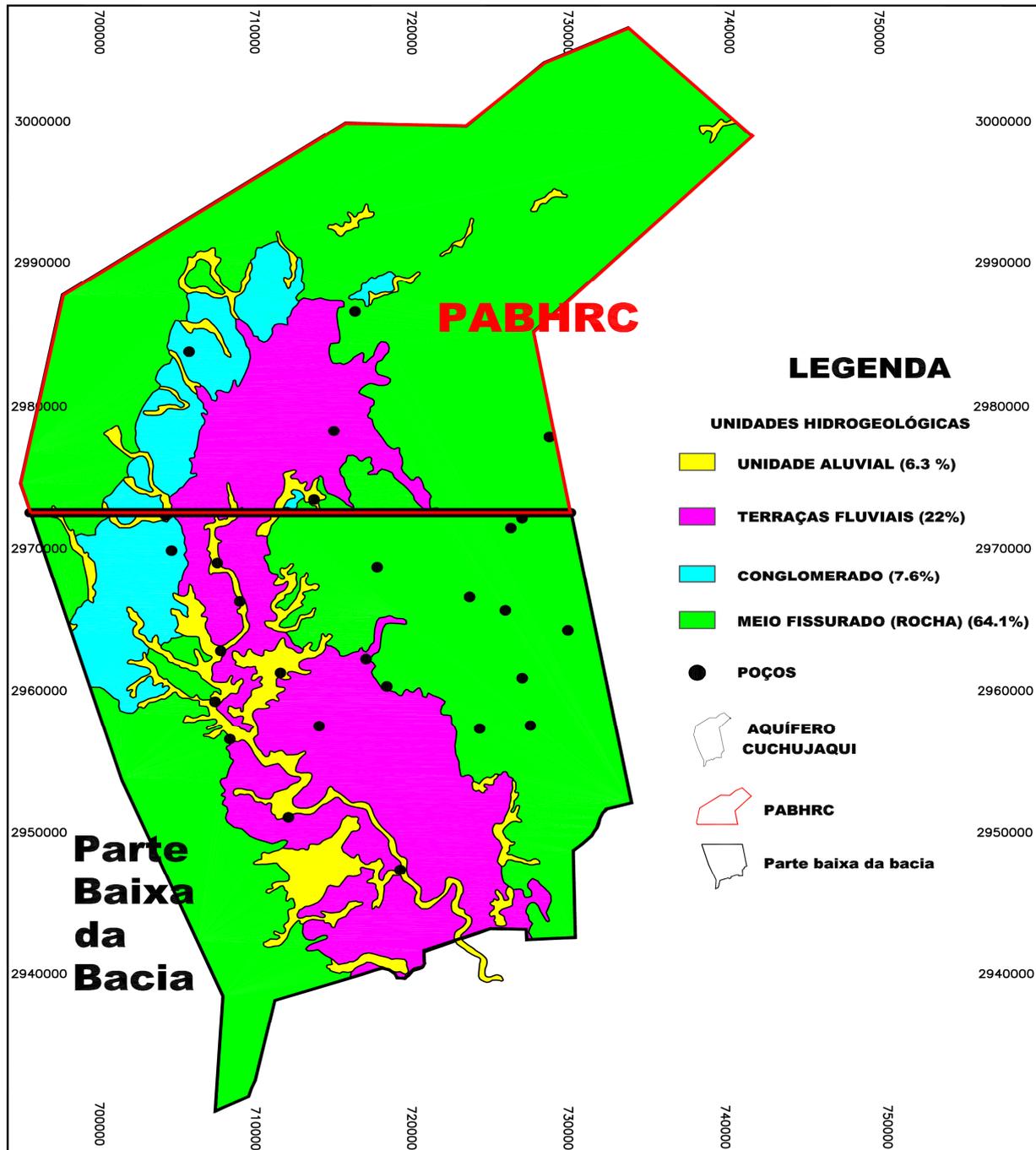


Figura 3. Unidades Hidrogeológicas do aquífero Cuchujaqui. (modificado a partir do estudo de Castillo e Morales, 2005).

#### 4.5 - Qualidade da água subterrânea

Para obter um diagnóstico sobre este tema na PABHRC, baseou-se no estudo de Castillo e Morales (2005).

Nota-se que na PABHRC existe somente uma fácies hidrogeoquímica principal:

Ca - HCO<sub>3</sub> > Bicarbonatada Cálcica

Esta fácies ou tipo de família de água se relaciona com as diferentes origens e meios de depósito.

Em geral, a qualidade da água de toda a bacia é muito boa, e é excelente no poço do Sabinito Sur, fonte de abastecimento da Cidade de Álamos. Observa-se que no poço de Santa Lucía existe um caso de contaminação pontual por nitratos, dado que está situada dentro dos currais de manejo de gado. Os dois poços estão na PABHRC, assim como os do Rancho Las Uvalamas e o do *Güirocoba*.

Quanto aos Sólidos Totais Dissolvidos, existe uma faixa de 100 a 600 mg/l, apresentando-se os valores mais altos na região leste da bacia. Isto demonstra que a água é de boa qualidade para o consumo humano, já que o limite máximo permitido é de 1000 mg/l (Norma Oficial Mexicana NOM 127-SSA1-1994, “*Salud ambiental, agua para uso y consumo humano - limites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización*”).

A análise da condutividade elétrica mostra que os valores flutuam numa faixa de 150 a 950 microSiemens/cm ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ), observando-se os valores mais elevados na região leste da bacia, dado este confirmado na análise de Sólidos Totais Dissolvidos. Os dois parâmetros, além dos demais, confirmam a boa qualidade da água subterrânea.

## **5 - RESULTADOS E DISCUSSÕES**

### **5.1 - Análise dos Usos das Águas e Poços**

A metodologia estabelecida para obter um diagnóstico sobre os usos das águas e poços, foi compreendida entre saídas de campo para aplicar a Entrevista sobre Águas e Poços com os habitantes das comunidades, realizar medições, coletar dados, analisar poços, entre outros, como, análise e sistematização dos dados, produção e edição dos mapas. Estas entrevistas visavam obter informações sobre: os usos e demandas da água, suas mudanças, seus respectivos motivos, assim como, volumes aproximados de captação diária e fontes de abastecimento; além disso, outro objetivo era de verificar como o aquífero Cuchujaqui se comportou nos últimos anos, através da análise dos poços, e obter de forma comparativa como se comportam em épocas de chuva e de seca.

No total foram realizadas 30 entrevistas em 13 comunidades e ranchos.

Uma vez produzidos os mapas e cadastrados os poços, somaram-se os volumes de extração estimados para se obter o volume de extração anual de todos os poços pesquisados. A maioria destes poços não está registrada no REPDA, nem na Prefeitura, nem em nenhum outro órgão. Devido a esse fato, torna-se relevante o cálculo desse volume de extração, no qual utilizou-se a seguinte metodologia: multiplicação dos dias de uso no ano pela vazão diária estimada, considerando também as variações dos seus usos.

Segundo o registro da *Asociación Ganadera del Municipio de Álamos*, em 2002 existiam 252 poços e 230 nascentes (70% permanentes) no município. Por este motivo e para efeito de cálculo, considerou-se que existe pelo menos o dobro de poços e volume de extração na PABHRC que os pesquisados.

Constatou-se que em todas as comunidades ou ranchos havia mais de uma fonte de abastecimento (Gráfico 1), ainda que, em alguns casos, se utilize apenas em época de seca ou de chuva. Em outros casos não havia poço, como em Choquincahui e Guadalupe.

O uso da água (todas as fontes) nas comunidades e ranchos é, basicamente, doméstico e para o gado (produção), ou seja, aproximadamente 50% pecuário e quase 50% doméstico e, raramente para agricultura (para cultivar algo em pequena escala), ainda que este uso possa ser considerado doméstico, já que cultivam nas próprias casas.

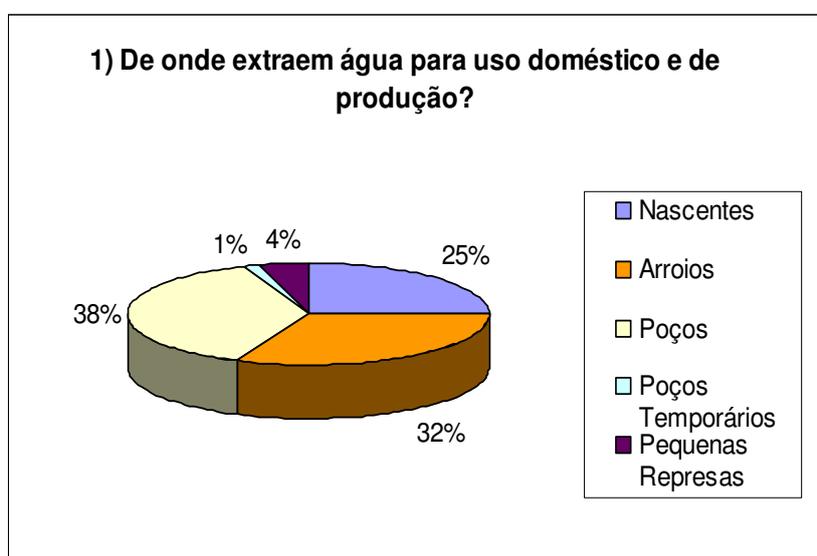


Gráfico 1. Fontes de Abastecimento de Água.

A partir do Gráfico 2, é possível visualizar o uso a que se destinam as águas extraídas dos poços. Constata-se que a maior parte do volume de extração dos poços é para uso doméstico durante o ano todo e para o gado em época de seca.

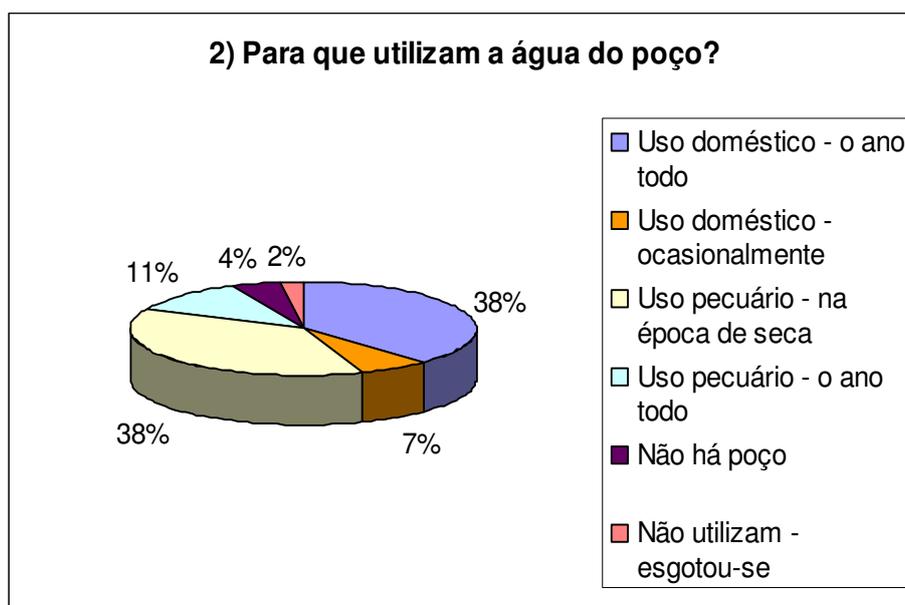


Gráfico 2. Usos da Água dos poços.

No verão concentram-se 90% ou mais das chuvas, provocando longos períodos de seca no decorrer do ano (geralmente de dezembro a junho), todos os anos, sendo que, em alguns, a situação piora. De uma forma geral, aparecem problemas e mudanças relacionados ao uso da água nas comunidades e ranchos que não têm abastecimento público de água por parte do OOMAPASA, além dos problemas que todo ano se apresentam na cidade de Álamos.

Existem vários motivos para as mudanças do uso da água, mas o principal foi o esgotamento dos poços, principalmente pela seca, ou seja, são dois fatores que se inter-relacionaram quando ocorreram mudanças.

Todas as mudanças no uso da água verificadas por esse levantamento estão relacionadas às fontes de abastecimento, exceto em Guiricoba, onde na seca administraram o uso da água por turnos: uso doméstico e pecuário. Em Santa Bárbara tiveram que usar água de um reservatório natural na última seca, devido aos três poços pesquisados quase não terem água ou estarem praticamente secos. Em San José, os que utilizavam a água do poço Palo Blanco tiveram que usar a água do arroio Caparroa depois que o poço secou.

## 5.2 - Balanço Hídrico e Disponibilidade de Água

O balanço hídrico relaciona a quantidade de cada componente do ciclo hidrológico, podendo ser efetuado em diversos níveis, de acordo com a unidade em questão: uma bacia hidrográfica ou aquífero, por exemplo. Nesse caso, a equação hidrológica fundamental é expressa por RIGHETTO (1998):

$$Q_e - Q_s = V(t) \quad \dots(1)$$

Na qual  $Q_e$  é a vazão de entrada,  $Q_s$  a vazão de saída e  $V$  o volume armazenado na bacia ou no sistema hídrico.

Segundo Castillo e Morales (2005), em alguns sistemas pode-se simplificar o cálculo do balanço hídrico a partir do princípio de conservação da matéria, tendo como objeto principal a determinação do volume de recarga de aquíferos:

$$\text{Vol. Precipitado} = \text{Recarga} + \text{Vol. Evapotranspirado} + \text{Vol. Escoado} \quad \dots(2)$$

Logo,

$$\text{Recarga} = \text{Vol. Precipitado} - \text{Vol. Evapotranspirado} - \text{Vol. Escoado} \quad \dots(3)$$

Para avaliar a disponibilidade de água, primeiramente foi realizado o cálculo do balanço hídrico, o qual se baseou em dados de outros estudos, métodos e, estimativas.

Para concluir este cálculo, recorreu-se ao conhecimento de pessoas com experiência no assunto e no local de trabalho, como o Dr. José Castillo Gurrola e a M.I. Eva Lourdes Vega Granillo da UNISON.

A forma utilizada para se alcançar os resultados nas diversas etapas do balanço hídrico e do cálculo de disponibilidade de água, será apresentada a seguir:

#### a) Precipitação

No estudo da CNA os professores Castillo e Morales (2005) selecionaram a isoietta de **600 mm**, pelo fato de que atravessa o centro do Aquífero Cuchujaqui; neste trabalho também se utilizou o mesmo dado.

- Volume Precipitado para a área da PABHRC 894,653 km<sup>2</sup> (calculada com o software ArcView):

$$\text{Volume precipitado} = \text{Área} * \text{Precipitação} = 894,653 \text{ km}^2 * 0,0006 \text{ km} \quad \dots(4)$$

$$\underline{\text{Volume precipitado (média anual)} = 0,53679 \text{ km}^3 = \mathbf{536,79 \text{ hm}^3}}$$

#### b) Escoamento Superficial

Para a determinação do escoamento superficial que sai da PABHRC, utilizou-se o Método Indireto do INEGI, publicado no Estudo Hidrológico do Estado de Sonora (1993). Este método leva em conta três parâmetros básicos: a permeabilidade de solos e rochas, a densidade de cobertura

vegetal e a variação espacial da chuva. Com a interação destes parâmetros se obtém um coeficiente de escoamento.

Por meio deste método, se obteve uma relação de permeabilidade x densidade vegetal de 0,22, e relacionando com a precipitação de 600 mm utilizada, se obteve um coeficiente de escoamento de 8,5 % ou 0,085.

$$\text{Escoamento Superficial} = \text{Área} * \text{Precipitação} * \text{Coef. Esc.} \quad \dots(5)$$

- Escoamento Superficial (médio anual) =  $894,653 \text{ km}^2 * 0,0006 \text{ km} * 0,085 = 0,04563 \text{ km}^3 = \underline{\underline{45,63 \text{ hm}^3}}$

Este **volume de escoamento superficial médio anual de 45,63 milhões de metros cúbicos** é relativamente proporcional ao volume de escoamento médio anual da bacia hidrográfica (inteira), registrado na estação hidrométrica Cazanate (exutória da bacia), que é de  $107,5 \text{ Hm}^3$  (Arámbula e Palomino, 1991).

### c) Evapotranspiração

A evapotranspiração é determinada por variáveis meteorológicas como radiação solar, temperatura, umidade relativa e velocidade do vento.

Para este estudo utilizou-se o Método de Turc, que utiliza a seguinte fórmula:

$$\text{Evpt} = P / (0.9 + (P^2/L^2))^{1/2} \quad \dots(6)$$

Onde:

$$\begin{aligned} \text{Evpt} &= \text{Evapotranspiração real anual (mm)} \\ L &= 0.05T + 25T + 300 = 866,04 \\ P &= \text{Precipitação média anual} = 600 \text{ mm} \\ T &= \text{Temperatura média anual} = 21,7^\circ \text{ C} \\ A &= \text{Área} = 894,653 \text{ km}^2 \end{aligned}$$

Substituindo estes valores na equação de Turc, se obtém:

$$\text{Evpt} = 510,758 \text{ mm.}$$

Logo,

$$\begin{aligned} \text{Volume evpt} &= \text{Área} * \text{Evpt} = 894,653 \text{ km}^2 * 0,000510758 \text{ km} \\ \text{Volume evapotranspirado} &= 0,45695 \text{ km}^3 = \underline{\underline{456,95 \text{ hm}^3}} \end{aligned}$$

Este valor corresponde a aproximadamente **85,13% do Volume precipitado**, o qual é bem razoável já que, segundo estudos de Renard (1970), a bacia hidrológica experimental de Walnut Gulch, no Arizona, EUA, que possui clima e características similares a Sonora, apresenta um valor de 83% de retenção e infiltração, o qual, na sua totalidade, é devolvido para a atmosfera (evapotranspiração), ao qual também se somam perdas em canais e vegetação, chegando a evapotranspiração acima de 90%.

#### d) Recarga do Aquífero

Com base no princípio de conservação da matéria (CASTILLO e MORALES, 2005), e considerando que o aquífero Cuchujaqui possui níveis pouco profundos, pela seguinte equação do balanço hídrico, pode-se calcular a recarga do aquífero ou mantos subterrâneos:

$$\text{Vol. Inf. (Recarga)} = \text{Vol. Prec.} - \text{Vol. Evpt.} - \text{Vol. Esc.} \quad \dots(7)$$

$$\begin{aligned} \text{Vol. Inf. (Recarga)} &= \text{Vol. Prec.} - \text{Vol. Evpt.} - \text{Vol. Esc.} \\ \text{Recarga} &= 536,79 \text{ hm}^3 - 456,95 \text{ hm}^3 - 45,63 \text{ hm}^3 \\ \text{Recarga} &= \mathbf{34,21 \text{ hm}^3} \end{aligned}$$

Este valor equivale a **6,37% do Volume precipitado**, mas esta não é a recarga real.

Brady e Weil (1966), afirmam que a evapotranspiração e a recarga, através do solo em diferentes regiões climáticas, se comportam de forma diferente, sendo que para regiões áridas, a evaporação é da ordem de 94% e a recarga do aquífero é de 6%.

Porém, no presente estudo, devido à reduzida presença de formações hidrogeológicas com permeabilidades razoáveis, somada à evapotranspiração da água subterrânea em algumas partes do aquífero (níveis de água sub-superficiais), que são do tipo livre, considerou-se que somente a metade do volume calculado de recarga (34,21 hm<sup>3</sup>) chega a formar parte da recarga real do aquífero (**3,2% do Vol. precipitado**), o que equivale a **17,11 hm<sup>3</sup> anuais**.

#### e) Censo de aproveitamentos de água

A partir da informação do Registro Público de Direitos de Água (REPDA) da CNA (2004) para todo o aquífero Cuchujaqui, eliminaram-se os aproveitamentos que estavam fora da PABHRC, baseando-se nas coordenadas geográficas. O que resultou no valor de **0,91 Hm<sup>3</sup>** de consumo por ano registrado na PABHRC; a este consumo somaram-se os valores não registrados, que foram pesquisados, calculados e estimados pelo autor, para avaliar a Disponibilidade de Águas do presente estudo.

#### f) Descarga Natural Comprometida

A descarga natural comprometida ou fluxo de base se quantifica mediante medição dos volumes de água procedentes de mananciais ou de caudal (vazão) base dos rios alimentados pelo aquífero, os quais são aproveitados e concessionados como água superficial, assim como as saídas subterrâneas que devem ser preservadas (uso equilibrado) para não afetar as unidades hidrogeológicas adjacentes. Segundo Castillo e Morales (2005), saem, subterraneamente (descarga total), **19.524.568 metros cúbicos ou 19,52 hm<sup>3</sup> por ano**, de **todo** o aquífero Cuchujaqui. Como este é o único dado que temos desta área, e a PABHRC representa 46,27 % da área de toda a bacia, estimou-se que a descarga natural comprometida para o aquífero sob a PABHRC, também é de 46,27% que, aplicado à descarga total, resulta em **9.034.018 m<sup>3</sup> ou 9,03 hm<sup>3</sup> por ano**. Apesar de este não ser o melhor método para estimar o volume da descarga natural comprometida, resulta como o único viável para este estudo, já que para se ter um dado mais preciso seria necessário realizar a perfuração de poços, instalar equipamentos específicos de medição e elaborar um estudo mais profundo.

#### g) Disponibilidade de Água

Para o cálculo da disponibilidade da água subterrânea aplicou-se o procedimento indicado na Norma Oficial Mexicana NOM-011-CNA-2000, que estabelece as especificações e o método para determinar a disponibilidade média anual das águas nacionais, que na fração relativa às águas subterrâneas estabelece a seguinte expressão:

$$\text{Disponibilidade} = \text{Recarga} - \text{Descarga} - \text{Vol. Concessionado} \quad \dots(8)$$

Sendo que:

- Disponibilidade = Disponibilidade média anual da água subterrânea na unidade hidrogeológica.
- Recarga = Recarga total média anual
- Descarga = Descarga natural comprometida
- Vol. Concessionado = Volume anual de águas subterrâneas concessionado e inscrito no REPDA

$$\begin{aligned} \text{Disponibilidade de Águas Subterrâneas (segundo a Norma)} &= \\ &= 17,11 \text{ hm}^3 - 9,03 \text{ hm}^3 - 0,91 \text{ hm}^3 = 7,17 \text{ hm}^3 \end{aligned}$$

Para este estudo também calculou-se a disponibilidade de águas subterrâneas por outro método, subtraindo o Volume de extração anual não registrado no REPDA calculado a partir da pesquisa de campo:

$$\begin{aligned} \text{Disponibilidade de Águas Subterrâneas (segundo este estudo)} &= \\ &= 17,11 \text{ hm}^3 - 9,03 \text{ hm}^3 - 0,91 \text{ hm}^3 - 0,097 \text{ hm}^3 = \underline{7,07 \text{ hm}^3} \end{aligned} \quad \dots(9)$$

As duas cifras indicam que existe volume disponível para novas concessões na parte da unidade hidrogeológica denominada Aquífero do Rio Cuchujaqui localizada sob a PABHRC, no estado de Sonora.

De acordo com toda a informação gerada e analisada neste trabalho, pode-se concluir que o Aquífero Cuchujaqui localizado sob a PABHRC, considerado como um sistema hidrogeológico integrado, está sub-explotado (sub-explorado).

## 6 - CONCLUSÕES E SUGESTÕES

Este estudo confirma o que diz o OOMAPASA, que o principal problema da cidade de Álamos é a falta de água potável para abastecimento público, devido principalmente a problemas com as fontes de abastecimento, já que com base no balanço hídrico constata-se que há água disponível ou que o manancial em questão encontra-se sub-explotado, partindo do pressuposto que o sistema aquífero é integrado (interligado). Por outro lado pode-se dizer que este estudo também demonstra que o cálculo do balanço hídrico pode ser questionável, quando utilizados fórmulas ou métodos empíricos ao invés de dados reais, principalmente se tratando do método de Turc para calcular a evapotranspiração (que representa 85,13% do volume total precipitado). O cálculo de disponibilidade de água segundo a norma mexicana também pode ser questionável neste trabalho, devido à forma como se estimou a descarga natural comprometida, apesar de ter sido a única viável para o estudo. Por este motivo sugere-se que as unidades hidrogeológicas sejam estudadas separadamente e de forma mais profunda, verificando se o sistema é realmente integrado (interligado), para se obter um resultado mais concreto.

Alguns dos poços utilizados nos últimos anos como fontes de abastecimento à cidade de Álamos se esgotaram definitivamente, percebe-se que há dificuldade de encontrar novas fontes, mas pode-se dizer que isso se deve mais a problemas técnicos, de gestão e administração do que por falta do próprio recurso hídrico. Isso é possível ser afirmado novamente com base no resultado do balanço hídrico, com base no contato pessoal com o Dr. José Castillo Gurrola (2007) e também devido às unidades hidrogeológicas mais favoráveis para captação de água subterrânea e a represa

Mocuzarit), localizada no município vizinho, não estarem sendo exploradas para o abastecimento público de Álamos.

A maior demanda relacionada a usos da água nas comunidades pesquisadas e na cidade de Álamos é visivelmente a de consumo humano, ficando a de uso pecuário em segundo lugar nas comunidades e a agrícola em segundo lugar na PABHRC segundo um registro do REPDA.

Sugere-se que a água para abastecimento público seja captada da represa Mocuzarit, localizada a aproximadamente 30 km a noroeste da cidade, de onde se pode construir um aqueduto ou implantar uma rede (tubulação) para transportar a água. Outra opção seria extrair água subterrânea da parte baixa da bacia hidrográfica do rio Cuchujaqui ao sul da cidade, onde há maior presença de zonas hidrogeológicas Aluviais, sendo que os poços presentes nessas regiões possuem melhores parâmetros hidráulicos e maior vazão. Porém, seria necessário construir um aqueduto ou implantar uma rede com extensão entre 25 e 35 km, dependendo da localização do(s) poço(s), proporcionando possivelmente melhores resultados a curto e médio prazo para as comunidades que se encontram próximas da possível zona de exploração.

É extremamente recomendado implantar um aterro sanitário e uma estação de tratamento de esgoto segundo as normas oficiais mexicanas. Com a finalidade de preservar os recursos naturais e o meio ambiente em geral, dando ênfase aos recursos hídricos.

Outra recomendação seria de ampliar e renovar o sistema de coleta de esgoto e reestruturar e renovar o sistema de abastecimento de água da cidade, obtendo assim maior cobertura e eficiência destes serviços básicos.

Considera-se ainda, de fundamental importância a implantação de um programa permanente de educação ambiental de forma a empoderar a população sobre informações e conhecimento para o crescimento da consciência coletiva sobre a preservação e o uso sustentável da água e do meio ambiente no município de Álamos. Esse processo implicaria também na qualificação dos diversos setores da sociedade para participar ativamente da formulação, controle e gestão das políticas públicas.

## **7 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

ARÁMBULA M. D.A., J.C. PALOMINO M. **Panorama Geohidrológico del Estado de Sonora.** Tesis Profesional. Depto. de Geología. Universidad de Sonora, Hermosillo, México, 1991.

BORGHETTI, J. R.; BORGHETTI, N. R. B.; ROSA FILHO, E. F. **Aquífero Guarani: A verdadeira integração entre os países do Mercosul.** Curitiba, 2004.

BRADY N.C., R.R. Weil. 1996. **The nature and proprieties of soils**. Eleventh edition. Prentice Hall. New Jersey. USA.

CASTILLO José Gurrola. MORALES, Mariano Montaña. **Determinación de la Disponibilidad de Agua en el Acuífero Cuchujaqui**. CNA. Sonora, México, 2005.

CLARKE, Robin; KING, Jannet. **O Atlas da Água**. São Paulo: Publifolha, 2005.

CNA. Comisión Nacional del Agua. Subgerencia Regional Técnica. Gerencia Estatal del Noroeste, 2004. Hermosillo, Sonora, México.

CNA. **Ley de Águas Nacionales**. Disponível em: <www.cna.gob.mx>. Acesso em: 10 set. 2006. México.

CNA. **Norma Oficial Mexicana NOM-011-CNA-2000**. Disponível em: <www.cna.gob.mx>. Acesso em: 10 set. 2006. México.

CONANP; IMADES. **Programa de Manejo del Área de Protección de Flora y Fauna “Sierra de Álamos – Río Cuchujaqui”**. Álamos, Sonora, México, 2002.

FERREIRA, Celso Moller. **Cenários de uso e outorga de água para a bacia hidrográfica do rio Canoas: uma contribuição à gestão social da água**. Florianópolis, 2006. 163 p. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, UFSC.

INEGI (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática). **Cartas topográficas e hidrológicas de aguas superficiales y subterráneas**. Hermosillo, México, 1981-2002. Cartas hidrológicas de águas superficiais, escala 1:250.000 de 1981. Cartas hidrológicas de águas subterráneas, escala 1:250.000 de 1981. Cartas topográficas, escalas 1:50.000 de 2002 e 1:250.000 de 1998.

INEGI. **Estudio Hidrológico del Estado de Sonora**, México. 1993.

OOMAPASA. **Plan Municipal de Desarrollo 2006-2009**. Prefeitura de Álamos, Sonora, México, 2006.

RIGHETTO, A. M. (1998). **Hidrologia e Recursos Hídricos**, Edusp, São Carlos, 819 p.

SILVA, Daniel José da. **Uma abordagem cognitiva ao planejamento estratégico do desenvolvimento sustentável**. Florianópolis, 1998. 240p. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico.