

# IMPACTO DE ESTRATÉGIAS DE GESTÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS SOBRE A DISPONIBILIDADE DA ÁGUA PARA USOS MÚLTIPLOS NUMA BACIA HIDROGRÁFICA SEMI-ÁRIDA.

IX Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste.  
25 a 28 de novembro de 2008 – Salvador da Bahia (Br.)

*Julien Burte<sup>1</sup>, Jean-Yves Jamin<sup>2</sup>, Anne Coudrain<sup>3</sup>, Horst Frischkorn<sup>4</sup>, Eduardo S. P. M. Rodrigues<sup>5</sup>*

**RESUMO** --- Na área cristalina semi-árida do Ceará, o recente desenvolvimento da exploração dos pequenos aquíferos aluviais para a irrigação e o abastecimento doméstico das comunidades rurais, mexeu com os mecanismos tradicionais de gestão dos recursos hídricos. Na bacia do Forquilha (Quixeramobim-CE), os principais recursos hídricos são os açudes (1 a 7 hm<sup>3</sup>) e o aquífero aluvial (2,3 hm<sup>3</sup>). De 1998 a 2006, a exploração do aquífero aluvial para a irrigação aumentou de ~0 para mais de 0,7 hm<sup>3</sup>/ano, e a parte da população abastecida com sistemas de abastecimento domésticos a partir dos açudes e do aquífero aumentou de 1 para 70%. Uma dupla abordagem, física e socioeconômica, foi usada para 1) caracterizar o sistema, 2) construir cenários prospectivos de exploração dos recursos hídricos, e 3) construir modelos de balanço hidrológico que permitem simular os impactos destes cenários sobre a disponibilidade em água. Se a exploração do aquífero aluvial permaneça igual, as simulações mostram que liberações sazonais, a partir do principal açude, são necessárias para garantir o abastecimento doméstico das diferentes comunidades e manter a salinidade do açude baixa (STD < 0,7g/L). Um aumento significativo da área irrigada levaria a sérias restrições em termos de disponibilidade e salinidade dos recursos hídricos.

**ABSTRACT** --- In the semi-arid crystalline area of Ceará, the exploitation of alluvial aquifers for irrigation and domestic supply to rural communities over the last 10 years has upset the traditional mechanisms of water resources management. In the Forquilha watershed (Quixeramobim-CE), the main water resources are reservoirs (1 to 7 hm<sup>3</sup>), and an alluvial aquifer (2.3 hm<sup>3</sup>). From 1998 to 2006, pumping of alluvial groundwater for irrigation supply increased from ~0 to 0,7 hm<sup>3</sup>/year, and the fraction of population supplied through domestic water networks, using reservoirs and the aquifer, increased from 1% to 70%. Physical and socioeconomic issues were used 1) to characterize the system, 2) to build future scenarios of water resources exploitation, and 3) to build hydrological balance models in order to simulate the different impacts on water resource availability and salinity. Simulation results showed that, releases from the upstream main reservoir are necessary to keep reservoir salinity below 0.7 g/L and for guaranteeing domestic needs in the whole watershed. Moreover, the simulations showed that the area of irrigated fields cannot increase beyond the current extent (75 ha) without serious problems with water availability and salinity in the whole watershed. Otherwise, important socioeconomic problems are expected.

**Palavras-chave:** aquífero aluvial, nordeste semi-árido, gestão integrada dos recursos hídricos.

1)Pesquisador , FUNCEME, Av. Rui Barbosa 1246, 60115-221, Fortaleza-CE BRAZIL, Tel.: +55-85-88 19 26 92; fax: +55-85-31 01 10 93; E-mail address: [julienburte@yahoo.fr](mailto:julienburte@yahoo.fr)

2)Pesquisador, CIRAD, UMR G-EAU, F-34398 Montpellier, France

3)Pesquisador, IRD, Great Ice (UR IRD 032), CC 57, University of Montpellier 2, 34095 Montpellier, France

4) Professor UFC, Department of Hydraulic and Environmental Engineering, Federal University of Ceará, Fortaleza, Brazil

5)Pesquisador FUNCEME, Department of Hydrology, Fortaleza, Brazil

## 1 - INTRODUÇÃO

O Nordeste Brasileiro semi-árido (750 000 km<sup>2</sup>) é uma região semi-árida ( $P \approx 700$  mm.ano<sup>-1</sup>, ETP > 2000 mm.ano<sup>-1</sup>) onde o déficit pluviométrico anual é acentuado pela curta estação chuvosa (3 meses) e a grande irregularidade dos eventos pluviométricos. A heterogeneidade espacial e temporal das precipitações, combinada com os solos rasos, o embasamento cristalino e a elevada evaporação, conduzem a escoamentos intermitentes nos rios com duração média inferior a 3 meses (Cadier, 1993; Cadier, 1996; Dubreuil et al., 1968; Dubreuil & Vuillaume, 1975).

Em adaptação a esta disponibilidade limitada em água, a colonização do interior do Nordeste, que começou nos anos 1650, aconteceu ao longo dos rios que constituíam caminhos abertos, e possibilitava o acesso à água no próprio leito do rio ou no aquífero aluvial associado. Assim, durante a estação seca, o abastecimento animal e humano era realizado em poças naturais ou cacimbas escavadas no leito dos rios (**Molle, 1994**). Por conseguinte, a estrutura agrária das pequenas bacias hidrográficas no estado do Ceará, organizou-se, geralmente, em bandas estreitas para permitir para cada proprietário um acesso ao rio. A bacia do Forquilha (distrito de Quixeramobim, Estado do Ceará) é uma boa ilustração disto com algumas áreas de 50 m de largura no rio e até 6 km de comprimento perpendicularmente ao eixo do rio (Fig.VI-1). Hoje, o acesso livre aos rios e ao aquífero aluvial nos cruzamentos das estradas é ainda garantido pelas regras das comunidades locais. Desde os anos 1970, o Nordeste semi-árido atravessou várias crises agrícolas e socioeconômicas. Como conseqüência, a população rural diminuiu numa taxa de -1,5% anual nos anos 1990 e de -1% anual, nos últimos 10 anos, enquanto a população dos centros urbanos aumentou (**Holanda, 2005; Sampaio, 2005**).

Ao contrário deste cenário geral, o número de famílias na bacia do Forquilha aumentou de 670 a 970 durante o período 1998-2006. Este crescimento é provavelmente devido à construção de infra-estruturas essenciais no vale (eletrificação, poços, sistemas de abastecimento de água, grandes reservatórios de mais de 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup> e numerosos pequenos açudes). Em complemento destas infra-estruturas, desde 1998, a exploração da água subterrânea do aquífero aluvial foi favorecida pelo desenvolvimento de poços tubulares rasos. Este novo recurso hídrico permitiu o desenvolvimento da agricultura irrigada, mais atrativa e lucrativa que as culturas de sequeiro, com implementação de 75 há durante o período 1998-2007. Mesmo a área irrigada sendo relativamente pequena em relação a área ocupada pelas culturas tradicionais de sequeiro (feijão, milho, e forrageiras em cerca de 1000 ha), ela é muito importante em termo de recursos hídricos.

As políticas públicas de convivência com a seca e luta contra a pobreza são principalmente focadas em 1. aumentar os recursos hídricos exploráveis através de programas de infra-estrutura

(açudes, poços, bombas, eletrificação), e 2. desenvolver a irrigação através de programas de apoio à agricultura irrigada. Há carência de políticas voltadas para a boa gestão dos recursos hídricos, principalmente em termos de gestão participativa. O resultado é um forte individualismo (Molle, 1994), a ausência de laços sociais entre os diferentes territórios da água numa mesma bacia hidrográfica (Tonneau & Caron, 2006).

Finalmente, por causa da variabilidade climática interanual, a população rural permanece altamente dependente dos agentes econômicos locais e dos políticos que garantem o abastecimento por carros-pipa durante as secas. Por conseguinte, os principais fatores a serem levados em conta para construir cenários de gestão de recursos hídricos são 1. sócio-políticos e econômicos, 2. hidrológicos (dinâmica sazonal do aquífero aluvial, salinidade, sensibilidade às ações antrópicas (Burte et al., 2005), relações entre os açudes (a montante) e o aquífero (a jusante)), e 3. a interferência entre si dos usos múltiplos nos diferentes recursos hídricos.

O objetivo deste estudo é de avaliar a disponibilidade de recursos hídricos na bacia do Forquilha (221 km<sup>2</sup>) para as próximas décadas (30 anos) considerando vários cenários de desenvolvimentos da agricultura irrigada. O estudo tem três vertentes específicas:

- a caracterização dos diferentes recursos hídricos (quantidade, salinidade e variabilidade) e o desenvolvimento dos modelos hidrológicos relacionados, os diferentes usos e usuários, as principais limitações (física, sóciopolítica e econômica) na gestão dos recursos hídricos,
- o desenvolvimento de cenários de evolução para os próximos 30 anos, levando em conta o possível aumento da população, assumindo que as necessidades para o abastecimento doméstico aumentam e devem ser asseguradas (SRH, 1992) e diferentes hipóteses de crescimento, decréscimo ou estagnação da área irrigada, levando em conta a possível transposição de água de uma parte da bacia para outra (liberação de água a partir dos reservatórios a montante para recarregar uma parte do aquífero aluvial a jusante),
- as simulações com uma série pluviométrica histórica de 30 anos dos impactos dos diferentes cenários na satisfação ou não das necessidades de disponibilidade hídrica nos reservatórios (volume e salinidade) e no aquífero (volume) para as principais categorias de usuários, levando em conta uma variabilidade climática realística.

## 2 - ÁREA DE ESTUDO

A bacia do Forquilha tem uma área de cerca de 221 km<sup>2</sup> e é ocupada por 17 comunidades organizadas ao redor de pequenas vilas (Figura 1 **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**). No período 1998-2007, os rios permaneceram escoando de 0 a 7 meses por ano, com uma média de 3 meses.

A disponibilidade de recursos hídricos na bacia evoluiu muito nas últimas décadas. Até 1989, não existia infra-estrutura hídrica, e a única fonte de água era o rio, na estação chuvosa, e o aquífero aluvial, na estação seca (através de cacimbas escavadas no leito do rio). A ação pública após as severas secas de 1978-83, 1993 e 1998 levou a construção de reservatórios e favoreceu a exploração do aquífero aluvial através da construção de cacimbões (a partir de 1989) e poços tubulares (a partir de 1998). A partir de 2000, programas públicos focados no abastecimento hídrico apoiaram a construção de açudes, sistemas comunitários de abastecimento doméstico e perfuração de poços tubulares manuais, com financiamentos do Banco Mundial (70%), do Estado do Ceará (20%) e das associações comunitárias.

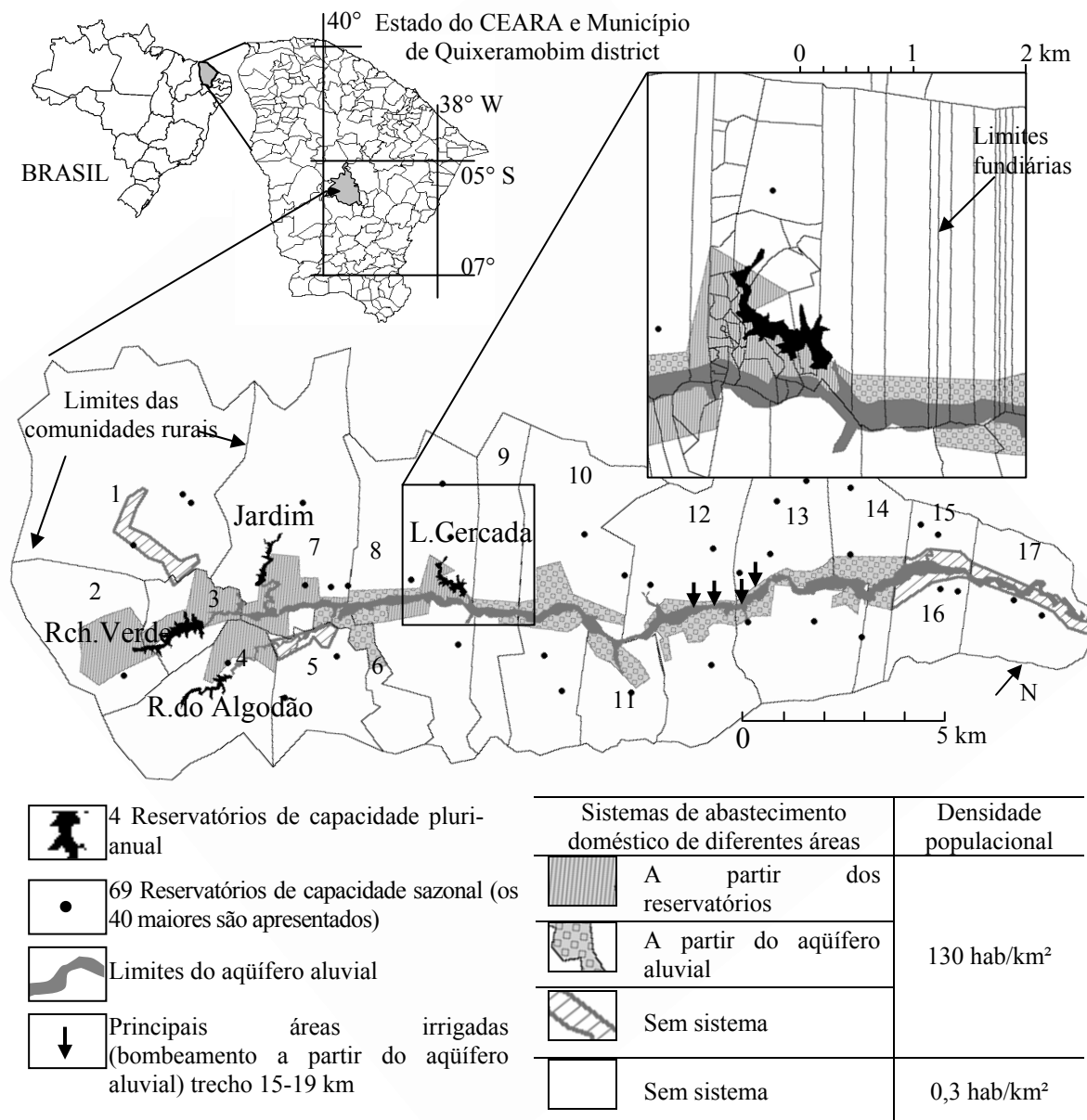


Figura 1: Localização da bacia do Forquilha (Quixeramobim-CE) com os limites das comunidades rurais, as áreas de densidades populacionais baixas e elevadas com os respectivos tipos de sistemas de abastecimento de água doméstica, principais recursos hídricos (reservatórios e aquífero aluvial) e áreas irrigadas. Uma área próxima ao açude de L.Cercada é detalhada para mostrar a estrutura fundiária (IDACE, 2005) com propriedades estreitas para permitir um acesso ao rio.

A bacia do Forquilha tem uma densidade elevada de reservatórios (1 reservatório para 5 km<sup>2</sup>), cujo volume varia de 0,05 até 7 hm<sup>3</sup> e cuja salinidade é baixa (inferior a 0,4 g/L). O impacto da evaporação na dinâmica hidrológica dos reservatórios é alto: somente os mais profundos têm capacidade plurianual. As populações a montante usam, preferencialmente, os quatro maiores reservatórios que acumulam os principais recursos hídricos a montante. As cisternas (5 a 30 m<sup>3</sup>), que forneçam uma água de baixa salinidade constituem um recurso hídrico auxiliar importante para usos domésticos para 5% a 45% das famílias, dependendo da comunidade.

O aquífero aluvial estende-se em cerca de 6,0 km<sup>2</sup> (23 km de comprimento para 250 m de largura) e tem uma profundidade média de 6,8 m, com o nível piezométrico a 2,8 m (**Burte et al., 2005**). Ele tem cerca de 2,3 hm<sup>3</sup> e é tradicionalmente explorado por culturas forrageiras (pelos proprietários ribeirinhos), abastecimento animal e usos domésticos. Este manancial é explorado de forma manual, sem bombeamento, através da construção de cacimbas onde a água sub-aflora no leito do rio (**Fabre & Burte, 2007; Ribeyre, 2006**). A água subterrânea do aquífero aluvial é muito mais usada a jusante, como se podia esperar. Ela não é muito sujeita a evaporação e tem uma salinidade mais elevada (STD ~ 0,7 g/L). Tradicionalmente, o aquífero aluvial é o recurso estratégico em caso de seca severa. Um grande número de poços tubulares (180) foi perfurado desde 1998, permitindo atividades ligadas à exploração mais intensiva da água tanto na estação seca quanto na estação chuvosa: 1. agricultura irrigada intensiva (horticultura, fruticultura e culturas forrageiras), usando 95% dos volumes bombeados durante o período 2000-2007, e beneficiando 5% das famílias; 2. abastecimento doméstico via sistemas comunitários de abastecimento, usando 5% do volume bombeado durante o período 2000-2007, e beneficiando até 70% das famílias (**Ribeyre, 2006**).

Por conseguinte, a questão crucial é saber se é possível satisfazer as necessidades ligadas às práticas intensivas, restritas a alguns irrigantes (principalmente proprietários), garantir a disponibilidade de água para os usos dos proprietários mais pobres e dos sem-terra (que acessam à água no leito do rio sem bombeamento) e por fim garantir o abastecimento doméstico dos sistemas comunitários.

Quadra 1: Principais necessidades em recursos hídricos na bacia do Forquilha para diferentes usos.

| Nome                                 | Necessidade média anual (m <sup>3</sup> ) | Limiar de Salinidade (g/L) | Localização (nº das comunidades cf Fig.VI-1) |
|--------------------------------------|---|----------------------------|--|
| <b>Território 'Açudes'</b>           |   |                            |  |
| Uso doméstico (1560 pessoas)         | 57.10 <sup>3</sup>                        | < 0,7                      | 2, 3, 4, 7, 8                                |
| Uso animal                           | 13.10 <sup>3</sup>                        | < 5                        |  |
| <b>Território 'Aquífero'</b>         |   |                            |  |
| Uso doméstico (1170 pessoas)         | 43.10 <sup>3</sup>                        | < 0,7                      | 5, 6, 7, 9-14                                |
| Uso animal                           | 22.10 <sup>3</sup>                        | < 5                        |  |
| Irrigação (75 ha)                    | ≈ 10 <sup>6</sup>                         | < 1,2                      |  |
| <b>Território 'Habitat Disperso'</b> |   |                            |  |
| Uso doméstico (1170 pessoas)         | 13.10 <sup>3</sup>                        | < 0,7                      | 1 to 17                                      |
| Uso animal ater                      | 23.10 <sup>3</sup>                        | < 5                        |  |

### **3 - DADOS E MÉTODOS**

#### **3.1 - Caracterização hidrológica da bacia do Forquilha**

Neste estudo, dados mensais de precipitação eram necessários para as simulações dos cenários para um horizonte de 30 anos. Para períodos tão longos, os dados disponíveis próximos à bacia do Forquilha são as de dois pluviômetros da rede brasileira de monitoramento, para o período 1977-2007. Estas estações pluviométricas são Manituba (05°13'S, 39°34'O) e São Miguel (05°20'S, 39°30'O), que ficam a cerca de 8 km ao oeste e 6 km ao leste, respectivamente. Imagens de satélite SPOT5 (10/2002 e 07/2003) com resolução espacial de 10 m foram usadas para mapear a bacia hidrográfica e os limites dos depósitos aluviais e para estimar a área dos espelhos de água nos reservatórios nestas datas. O nível de água e a condutividade elétrica foram monitorados nos 4 açudes de capacidade plurianual (03/2003 até 06/2007) e em 20 piezômetros localizados ao longo do aquífero aluvial (09/2000 até 06/2007). A vazão liberada e a propagação do fluxo no rio foram monitoradas durante três eventos de liberação de água a partir do açude do Riacho Verde em 2003, 2004 e 2005. Esses dados serviram para calibrar os modelos usados neste estudo.

#### **3.2 - Usos, usuários e limitações para a gestão dos recursos hídricos**

Uma tipologia dos recursos hídricos foi construída em duas etapas.

Uma primeira tipologia foi obtida a partir de entrevistas e inquéritos semi-diretivos conduzidos em 15 das 17 comunidades da bacia (Figura 1 **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**), de julho até setembro de 2005 (Ribeyre, 2006). Esta tipologia permitiu evidenciar os principais grupos de usuários, os tipos de uso, as percepções e os principais critérios de uso e gestão dos recursos hídricos. Os resultados foram comparados com as observações qualitativas e quantitativas coletadas de julho a agosto de 1998 através da aplicação sistemática de um questionário socioeconômico, aplicado em 1024 casas correspondentes a mais de 90% da população da bacia.

Na segunda etapa, a tipologia precedente foi detalhada através de estudos mais exaustivos (questionários de escolha múltipla, grades de análises, etc.) em cinco comunidades (Rch. Algodão, Rch. Verde, V. Meio, S. Bento, Veneza) representando os principais tipos de usuários e usos (irrigação, abastecimento doméstico a partir de açudes ou do aquífero, presença ou não de sistema comunitário de abastecimento). Por fim, estas informações foram complementadas pelas observações e pelos dados coletados desde 1998 nas discussões com atores internos e externos à bacia, inclusive políticos. A partir destes dados, critérios de satisfação e limitações na exploração dos recursos hídricos foram definidos e usados para discutir os impactos de cenários na disponibilidade dos recursos hídricos e na satisfação dos usos e dos usuários.

### 3.3 - Construção de cenários

O objetivo é de fornecer, através de diferentes simulações, elementos de resposta sobre a disponibilidade de água em termos de quantidade e qualidade para os próximos 30 anos, levando em conta a hipótese de um aumento populacional e testando o caso de três hipóteses contrastantes de área irrigada:

- ‘Área irrigada de 0 ha’, o que corresponde à situação que prevalecia até 1998. Os recursos hídricos são reservados ao abastecimento doméstico e animal; a agricultura é de sequeiro.
- ‘Área irrigada de 75 ha’, o que corresponde à situação em 2007. O bombeamento a partir do aquífero aluvial nas comunidades 12 e 13 é necessário para garantir a produção das áreas agrícolas irrigadas. Em caso de falta de água, as culturas perenes desaparecem após 6 meses sem água.
- ‘Área irrigada de 150 ha’, correspondente ao dobro da área irrigada atual.

Nas simulações, as condições climáticas levadas em conta são do período 1977-2007. Este período inclui alguns períodos de seca plurianual (1979-1983, 1997-1998). Nestas condições, um abastecimento doméstico paliativo é assegurado por carros-pipa com uma oferta de 30 L/pessoa/dia. O custo médio pode ser estimado em 5,4 US\$/m<sup>3</sup> (Araujo et al., 2005).

Estes cenários são usados como dados de entrada para os modelos hidrológicos. Por causa das mudanças climáticas atuais, não é bem definido como as condições locais poderiam evoluir na região, especialmente em termos de precipitações. Por conseguinte, os resultados deste estudo devem ser usados sabendo que a aridez poderia aumentar e agravar as necessidades hídricas no Nordeste.

### 3.4 - Estratégia de modelagem

A modelagem tem dois principais objetivos. O primeiro é de testar a nossa conceitualização do funcionamento hidrológico dos principais corpos hídricos (reservatórios, aquífero aluvial e rio) e das relações entre si. No Nordeste Brasileiro semi-árido, os escoamentos superficiais são o principal mecanismo de recarga dos reservatórios (Dubreuil, 1966; Dubreuil et al., 1968); gerando também os eventos de cheias que são a principal fonte de recarga dos pequenos aquíferos aluviais (Burte et al., 2005). Como não existem dados fluviométricos, os escoamentos superficiais são estimados com o modelo Sudene/Orstom de precipitação/deflúvio anual (Cadier, 1993; Molle & Cadier, 1992). Um modelo de balanço hidrológico e de massa dos reservatórios foi construído e acoplado com o modelo de balanço hidrológico do aquífero aluvial existente (Burte et al., 2005). Um outro modelo, para a propagação no rio do deflúvio liberado de um reservatório, foi construído. Ele permite simular as relações entre os açudes e o aquífero aluvial. Os modelos foram calibrados com passo de tempo mensal a partir das observações do monitoramento (níveis de água e condutividade elétrica).

## **4 - RESULTADOS**

### **4.1 - Tipologia dos recursos hídricos, dos usuários e dos usos.**

A sobrevivência das populações e dos rebanhos sempre foi relacionada à questão da água nesta região semi-árida, e conseqüentemente, forte laços históricos estruturaram comunidades em torno do problema do abastecimento de água. Assim, a gestão dos recursos hídricos nas pequenas bacias segue regras, antigas e aceitas por todos, como por exemplo, o acesso livre e gratuito aos recursos hídricos para usos domésticos e água de beber. É o caso da bacia do Forquilha. Os modos de exploração são regulados pelos direitos de acesso aos corpos de água, pela sua proximidade (estradas e meios de transportes precários favorecem um abastecimento de proximidade) e pela sua qualidade. Como todas as propriedades são cercadas, o acesso à água não é sempre fácil.

A gestão das pequenas infra-estruturas (cisternas, pequenos açudes, poços tubulares) é feita em nível local (grupo de algumas casas). A infra-estrutura comunitária (açudes, cacimbões, poços, sistemas de abastecimento) é gerenciada pelas associações comunitárias, que estipulam regras claras para o acesso e o uso. O acesso aos açudes e a exploração da água são estritamente regulados pelos proprietários (individuais ou comunitários) para prevenir poluição de origem humana ou superexploração. O acesso aos açudes é livre para a população ribeirinha para abastecimento humano e animal, mas não para o banho ou a lavagem de roupas. O aquífero aluvial, pelo contrário, permanece de livre acesso nos cruzamentos das estradas com o rio, sem controle efetivo dos usos (que incluem água para consumo humano e animal, usos domésticos, lavagem de carros e de bombas de pulverização com pesticidas). Mesmo se a água subterrânea é potencialmente mais protegida da poluição antrópica que os reservatórios superficiais, análises bacteriológicas realizadas durante a estação seca mostraram que o aquífero aluvial é localmente muito poluído. Isto é o resultado de práticas locais de preservação somente da água superficial, mas não da água subterrânea.

O acesso a todos os recursos (açudes e aquífero aluvial) pelos animais é feito principalmente sem bombeamento (acesso direto) em toda a bacia. A irrigação somente existe em áreas próximas ao aquífero aluvial, na parte jusante do vale (principalmente no trecho 15-19 km). Assim, não há irrigação na maior parte da bacia. As principais razões são a pobreza das famílias (limitando o acesso ao crédito bancário), a fraca fertilidade das áreas ribeirinhas dos açudes e a sua elevada evaporação (limitando a disponibilidade de água).

A partir da análise dos recursos hídricos e dos usuários, foram caracterizados três principais territórios da água (Figura 2) onde “os pensamentos e as ações são estruturadas pela questão da água” (Tonneau & Caron, 2006).



O território 'Reservatórios' (com 40% da população) se estende na área das comunidades assentadas a montante da bacia ao redor dos quatro principais açudes (Rch. Verde, Rch. Algodão, Jardim, L. Cercada). Todos os usos (água para beber, para uso doméstico e para os animais) são assegurados por sistemas de abastecimento comunitários que bombeiam água destes reservatórios. Não existe alternativa local de abastecimento. Estas populações são pobres, estabelecidas em áreas de solo raso com declividade acentuada, pouco favoráveis à agricultura e pecuária.

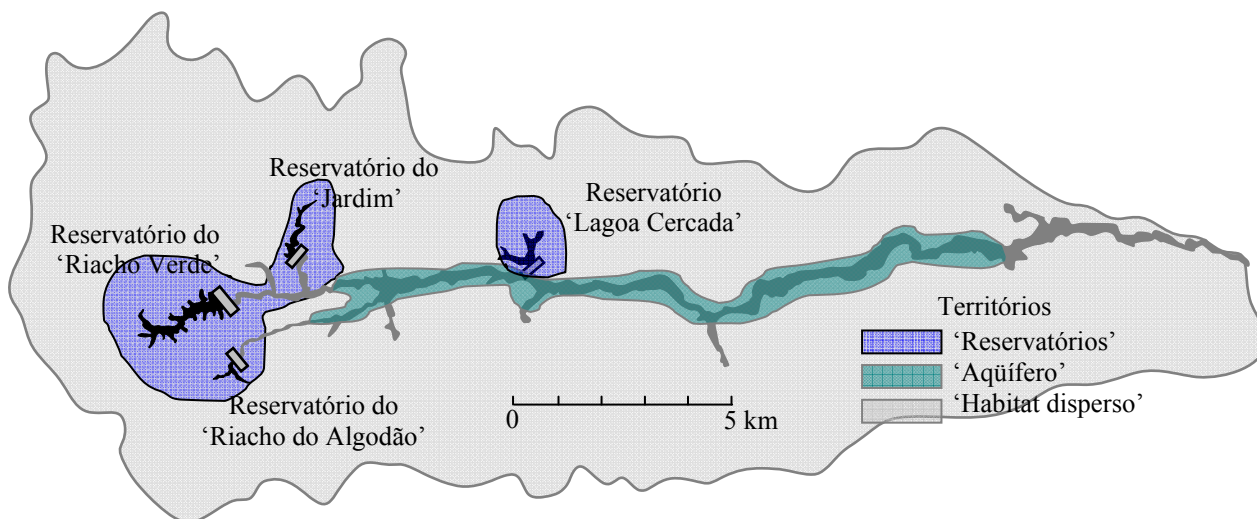


Figura 2: Principais territórios da água na bacia do Forquilha, organizados em torno dos açudes (preto) e do aqüífero aluvial (cinza escuro).

O território 'Aqüífero' (com 30% da população) corresponde às comunidades a jusante cujas necessidades hídricas são satisfeitas por bombeamento no aqüífero aluvial (sistemas de abastecimento comunitário para uso doméstico, irrigação e abastecimento animal). A irrigação existe somente neste território com bombeamento no aqüífero aluvial e aumentou desde 1998 em decorrência de um programa municipal de perfuração de poços manuais tubulares. As áreas irrigadas estão principalmente localizadas na secção 15-19 km a jusante do açude do Rch. Verde. As cisternas e os pequenos açudes cuja água tem uma alta taxa de renovação asseguram somente o abastecimento de água potável.

Nestes dois territórios, o desenvolvimento dos sistemas de abastecimento comunitários levou ao progressivo abandono dos tradicionais meios de exploração das antigas fontes de abastecimento (não execução das tarefas de manutenção, abandono dos animais de carga que permitiam o transporte da água). Como conseqüência, aumentou a dependência destas populações nos sistemas de abastecimento. Os sistemas de abastecimento estão sendo gerenciados por um encarregado local, escolhido pela associação comunitária, e responsável da manutenção do sistema e da coleta de uma taxa mensal (5 a 10 R\$ para 10m<sup>3</sup> de água).

O território 'Habitat Disperso' (30% da população) estende-se na área onde o habitat é disperso e o abastecimento de água satisfeito a partir de pequenos recursos hídricos locais (cisternas, pequenos

açudes com alta taxa de renovação da água). A recarga destes recursos acontece durante a estação chuvosa, mas é muito irregular: a cada ano, e às vezes, durante uma única estação, as famílias devem adaptar a sua fonte de abastecimento de acordo com os recursos disponíveis. O acesso à água é, de forma recorrente, problemático durante as secas.

Durante a estação seca, os usuários do território 'Aqüífero' pressionam os políticos locais para que seja liberada água do açude do Rch. Verde. Esta situação sazonal de tensão social pode degenerar em conflitos sociais porque as comunidades do território 'Reservatórios', para preservar a "sua" fonte de água, aceitam de liberar água somente quando o nível do reservatório é alto.

De 2003 até 2005, comunidades do território 'Aqüífero' requereram uma liberação de água no meio da estação seca para recarga do aqüífero aluvial. De 2006 para cá, estas comunidades pediram liberações durante períodos que superaram 3 meses seguidos para manter o rio perene. Com efeito, isto resulta da percepção das populações que moram perto do rio que a água correndo no rio é uma "fonte de benefícios" ("pouco salgada", "limpa", "dinâmica", "de qualidade") enquanto as águas paradas são "mais salgadas", "poluídas" e de "má qualidade" (Galizoni, 2005).

Mas, para conseguir uma recarga significativa do aqüífero aluvial, a liberação de água dos açudes precisa de ações coordenadas a montante e a jusante, o que realmente não acontece. Assim, o manejo das liberações não permitiu alcançar os resultados esperados, desapontando tanto as comunidades a montante quanto aquelas a jusante. Particularmente, a ausência de ferramentas de simulação permitindo testar diferentes estratégias de liberação de água, a curto e longo prazo, dificultou a implantação de um manejo adequado. A dificuldade de comunicação entre comunidades a montante e a jusante permanece, entretanto, como o principal problema.

## 4.2 - Modelagem

Foram construídos três modelos para simular a dinâmica dos principais recursos hidrológicos (Figura 3): 1) um modelo de balanço hidrológico dos reservatórios, onde a evaporação é o principal fluxo de saída, 2) um modelo do aqüífero aluvial (Burte et al., 2005), com forte impacto dos bombeamentos no balanço hidrológico e mecanismo principal de recarga a partir dos escoamentos dentro do rio, 3) um modelo de propagação a jusante dos fluxos liberados do açude do Rch. Verde, permitindo a avaliação do impacto destas liberações na recarga do aqüífero a jusante.

### 4.2.1 - Modelo de balanço hidrológico dos reservatórios

O modelo de balanço hidrológico ao passo de tempo mensal foi desenvolvido levando em conta os principais fluxos de saída (Evaporação E, perdas por infiltração I, fluxo liberado L e bombeamento P), e fluxos de recarga R (precipitações e escoamentos da parte montante da bacia hidrográfica durante a

estação chuvosa). As relações ligando nível de água  $H$  (m), área do espelho  $S$  (m<sup>2</sup>) e volume armazenado  $V$ (m<sup>3</sup>) descritas por  $V=KH^\alpha$  e  $S= \alpha KH^{\alpha-1}$  foram usadas para caracterizar cada reservatório, onde  $\alpha$  e  $K$  são dois parâmetros adimensionais ligados a forma dos perfis transversais e verticais de cada reservatório (Cadier, 1993; Molle & Cadier, 1992). Os dados usados para calibrar os parâmetros foram a altura máxima de água no reservatório (medido), o nível de água (medido) e a área do espelho de água (obtido da imagem SPOT5 com 5 m de resolução) em 17/7/2003.

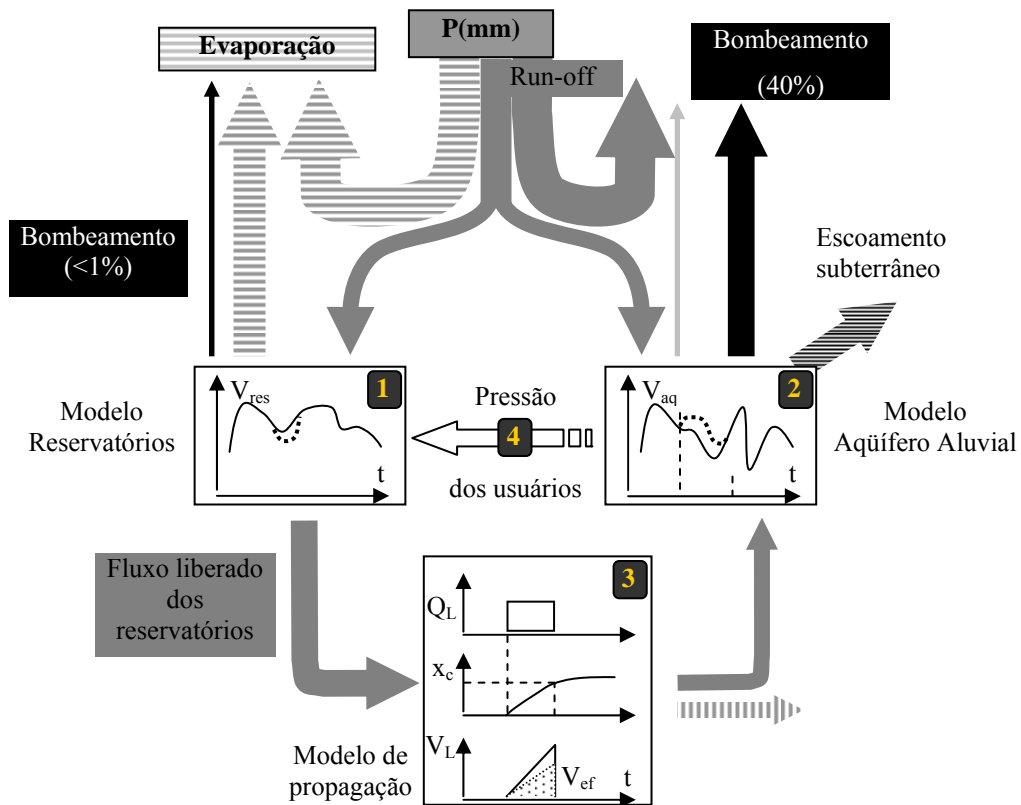


Figura 3: Modelos hidrológicos construídos com um passo de tempo mensal para simular a dinâmica hidrológica (1) dos reservatórios (variações do volume  $V_{RES}$ ), (2) do aquífero aluvial (variações do volume  $V_{AQ}$ ) e (3) da propagação do deflúvio liberado (Vazão  $Q_L$  e volume  $V_L$  liberados, volume eficaz  $V_{EF}$ , abscissa curvilínea atingida  $X_C$  após o tempo  $t$ ). Os fatores ligados à pressão social são levados em conta (4) e correspondem à fluxos de informação montante-jusante.

O volume de recarga é a soma do volume precipitado no reservatório e do volume escoado na bacia hidrográfica a montante que foi estimado a partir do estudo regional realizado em 165 bacias que resultou no modelo Sudene/Orstom (Cadier, 1993). Para cada bacia dos reservatórios, a lâmina escoada característica  $L600$  (mm) foi calculada segundo parâmetros geomorfológicos, de vegetação e de solos para uma pluviometria anual de 600 mm. em seguida, para qualquer lâmina anual precipitada  $P$  (mm), a lâmina escoada  $L$  (mm) é estimada por:  $L = L600 \times 1,4^{(P-600)/100}$ . Se  $P = 0$  (estação seca), a lâmina escoada é nula bem como a recarga dos reservatórios. Os volumes perdidos por infiltração ( $V_I$ ) foram desprezados salvo no caso do açude de L. Cercada, onde as perdas por infiltração são significativas (elas foram medidas e apresentaram variações de 15L/s até 30L/s, dependendo do nível de água no

reservatório). A lâmina evaporada  $E$  (mm) é ligada de forma linear à evapotranspiração potencial (ETP) segundo o coeficiente  $\beta$ , com  $E = \beta \times ETP$  (Cadier, 1993; Cadier et al., 1992; Molle & Cadier, 1992). O coeficiente  $\beta$  foi calibrado com as curvas de rebaixamento observadas nas estações secas durante o período 2003-2007 ( $\beta = 1,14$ ).

Um balanço de massa ao passo de tempo mensal foi realizado para testar nossas hipóteses (referentes ao valor de  $\beta$  e desprezo das perdas por infiltração). Os valores de salinidade da água foram comparados com os valores observados durante as estações secas do período 2003-2007.  $R^2$  é de 0,91 para o açude de L.Cercada e de 0,96 para o açude do Rch.Verde.

#### 4.2.2 - *Modelo de balanço hidrológico do aquífero aluvial*

O modelo de balanço hidrológico do aquífero aluvial foi detalhado em Burte et al., 2005.

#### 4.2.3 - *Modelo de balanço hidrológico de propagação da água no leito do rio*

A recarga do aquífero aluvial pela liberação de água dos açudes diminui com a distância ao açude por causa da evaporação da água no leito do rio e dos bombeamentos. O impacto das liberações de água do aquífero é esperado principalmente pelos agricultores das áreas irrigadas, no trecho de 15-19 km do aquífero aluvial (Figura 1 **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**).

Um modelo foi construído e usado para simular a propagação do fluxo liberado ao longo do rio e o tempo necessário para recarregar o aquífero até o trecho 15-19 km para diferentes vazões liberadas e cenários de bombeamento. A hipótese é que a propagação do fluxo no rio necessita um nível  $h_0$  de água no rio ( $h_0 > 0$ ), e que o aquífero aluvial esteja cheio a montante. As condições iniciais são o nível de água no aquífero aluvial ( $Z_0$ ) e a vazão liberada ( $Q$ ). As perdas são o volume evaporado  $V_E$  no leito do rio e os fluxos saindo do aquífero aluvial  $V_P$  (bombeamento e fluxo subterrâneo), o que pode ser representado como uma função de  $x_c$  (abscissa curvilínea ao longo do rio).

Durante um tempo  $\Delta t$ , o volume liberado  $V$  pode ser dividido em três componentes: o volume evaporado  $V_E$ , o volume bombeado  $V_P$ , e o volume no leito do rio  $V_R$  (Figura 4).  $V_R$  contribua para a elevação do nível piezométrico e a progressão da água no rio de  $x$  até  $x + \Delta x$  segundo:

$$V_R = L \rho \Delta x \Delta z + h_0 \Delta x [I_R + \rho(L - I_R)]$$

De fato, as observações na bacia mostram que no trecho 8 - 12 km,  $Z_0 - Z_{REF} \sim 0$ . Isto é devido às infiltrações de água no aquífero a partir ao açude de L. Cercada. Uma das formas de levar em conta esta contribuição, tendo em vista o nosso objetivo de modelar de forma simples a propagação do fluxo liberado no leito do rio, é de adicionar uma condição inicial  $Z_0 = Z_{REF}$  para  $8 \leq x \leq 12$ . O parâmetro do modelo  $h_0$  foi calibrado a partir dos dados coletados durante o monitoramento de três eventos de liberação em 2003, 2004 e 2005.

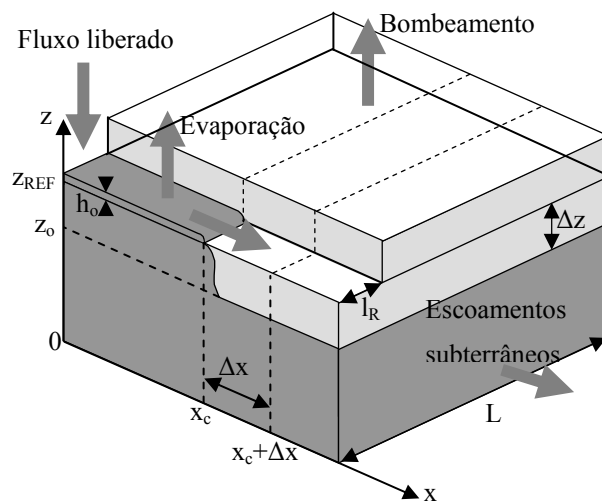


Figura 4: Croquis do aquífero aluvial e do leito do rio, com os principais fluxos do balanço hidrológico durante um tempo  $\Delta t$  (fluxo liberado, evaporação, bombeamento, escoamentos subterrâneos), resultando na recarga do aquífero aluvial numa distância  $\Delta x$ .  $L$  é a largura do aquífero,  $l_R$  é a largura do rio,  $\Delta z$  é a diferença entre o nível piezométrico antes da recarga ( $Z_0$ ) e o nível do rio ( $Z_{REF}$ ).

### 4.3 - Cenários de evolução

Estes cenários correspondem a diferentes conjunturas econômicas e sociopolíticas. Os impactos de três cenários de evolução são comparados à situação atual e estratégias a curto, médio e longo prazo. Eles são discutidos em termos de consequências na qualidade e durabilidade dos recursos hídricos, e de satisfação dos objetivos das diferentes categorias de usuários.

O objetivo é de projetar para os próximos 30 anos (2007-2037) a disponibilidade dos recursos hídricos. Como esta disponibilidade depende do cenário pluviométrico, foi usada a série temporal (1977-2007) que integra uma distribuição realista de períodos secos e úmidos. Na bacia do Forquilha ocorreu no período 1998-2006 um crescimento populacional de cerca de 2% anual. Por causa de limitações fundiárias e pedoclimáticas, foi escolhida uma taxa de crescimento anual decrescente de 2,5% a 0,5% no período 2007-2037. Para todos os cenários, o desenvolvimento populacional é o mesmo, i.e. um crescimento em 30 anos de 974 para 1400 famílias (i.e. de 3500 para 5600 pessoas).

Nas simulações, as necessidades em água para beber e uso doméstico são satisfeitas em prioridade, a cada passo de tempo. O território 'Reservatórios' é abastecido por bombeamento a partir dos 4 principais reservatórios de capacidade plurianual, enquanto o território 'Aquífero' é abastecido por bombeamento no aquífero aluvial. No território 'Habitat Disperso, as famílias abastecem-se a partir de pequenos açudes ou, no caso de estas estarem secas, a partir do aquífero aluvial.

Para todas as simulações, o bombeamento a partir dos reservatórios para abastecimento doméstico é possível enquanto o volume não cai abaixo do volume de reserva (15% da sua capacidade de armazenamento) e enquanto a salinidade da água é inferior a 1,5 g/L. O bombeamento a partir do

aquífero aluvial é possível para abastecimento doméstico e irrigação enquanto o nível de água é superior a 50% (i.e. 2 m) do nível de referência ( $Z_{REF} = 4$  m). Quando o nível piezométrico baixa, os agricultores diminuem os bombeamentos ou param totalmente se o nível cai abaixo de 2m. No território ‘Habitat Disperso’, as famílias usam reservatórios de capacidade sazonal e às vezes o aquífero aluvial enquanto o nível piezométrico do mesmo permanece acima de 75% de  $Z_{REF}$  (i.e. 3 m).

- Cenário ‘Atual / 75 ha’. Este cenário é baseado no modo de exploração atual do aquífero e dos reservatórios (75 ha irrigados, população crescente, liberações de água do Rch. Verde). Várias hipóteses de liberações são testadas.

- Cenário ‘Sem irrigação / 0 ha’. Este cenário corresponde à ausência de irrigação. A pressão sobre o aquífero aluvial é mínima: este cenário foi usado como referência de máxima disponibilidade de água para abastecimento humano e animal no caso de eventos de seca plurianual.

- Cenário ‘Duplicação da irrigação / 150 ha’. Este cenário considera um forte aumento da área irrigada, até o dobro (150 ha) do atual. Este cenário de crescimento das áreas irrigadas é o mais plausível porque este tipo de agricultura é atrativo para os jovens agricultores e estimulado pelas políticas públicas. As principais limitações são ligadas à acessibilidade dos agricultores aos créditos bancários.

#### **4.4 - Resultados das simulações**

No território ‘Reservatórios’, o bombeamento para abastecimento doméstico varia de 0,4 até 1,2% (no açude do Rch. Verde) e 0,8 até 2% (no açude do Rch. Algodão) dos fluxos mensais saindo e conseqüentemente, tem uma influência desprezível no balanço hidrológico dos reservatórios. Por exemplo, o bombeamento médio no açude do Rch.Verde é de  $1,3 \times 10^3$  m<sup>3</sup>/mês e representa, por família, um consumo médio de 10 m<sup>3</sup>/mês. Isto pode ser comparado aos volumes evaporados, estimados a partir do modelo, e que variam de  $80 \times 10^3$  m<sup>3</sup>/mês até  $250 \times 10^3$  m<sup>3</sup>/mês.

Com o modelo de propagação, simulações de descarga a partir do açude do Rch.Verde foram realizadas com vazões de até 280 L/s (vazão máxima possível com a válvula instalada) para determinar as características das liberações (volume e tempo) necessárias para recarregar o aquífero aluvial até as principais áreas de bombeamento (trecho 15-19 km a jusante). Duas hipóteses de estado inicial foram testadas: 1) a liberação começa no início da estação seca (i.e. o aquífero aluvial esta saturado até  $Z_{REF}$ ) e termina no fim da estação seca, e 2) a liberação começa quando nível de água no aquífero aluvial cai abaixo de 75% de  $Z_{REF}$  (i.e. 3m), o que equivale a 1 a 3 meses após o início da estação seca. Com a liberação de água ininterrupta e começando quando o aquífero aluvial é 100% cheio, vazões mínimas de descarga de 30 L/s, 50 L/s e 70 L/s para áreas irrigadas de 0 ha, 75 ha e 150 ha respectivamente são necessárias para manter o rio perene até o trecho 15-19km. Uma descarga de 20 L/s é suficiente somente para manter o rio perene 7 km a jusante porque o fluxo de água liberado é insuficiente para

compensar os bombeamentos e a água evaporada no rio. Os impactos da vazão liberada variando de 0 L/s até 280 L/s foram simulados no caso da descarga começar quando o aquífero aluvial está cheio a 75% para avaliar o tempo de liberação necessário para recarregar o aquífero aluvial até o trecho 15-19 km a jusante. As simulações mostram que quanto maior a vazão liberada, menores são as perdas em trânsito e mais rápida é a recarga do aquífero.

Quadra 2: Tempo necessário (dias) para recarregar o aquífero aluvial até o trecho 15-19 km, com o aquífero aluvial inicialmente cheio até 75%, para vários cenários e vazões de descarga (L/s).

| Vazão liberada (L/s) | Cenário / Área irrigada (ha) |       |      |
|----------------------|------------------------------|-------|------|
|                      | 0                            | 75    | 150  |
| 80                   | 90 d                         | 120 d | - *  |
| 130                  | 50 d                         | 62 d  | 66 d |
| 280                  | 22 d                         | 23 d  | 24 d |

\* o fluxo liberado não atinge o trecho 15-19 km (setas na Fig. VI-1).

Como vazões liberadas superiores a 130 L/s provocam inundações de alguns campos na parte mais a montante da planície aluvial (o rio transborda), o que não é permitido pelos proprietários, as simulações para o período 2007-2037 foram conduzidas somente com vazões variando de 0 a 130 L/s.

#### 4.4.1 - Cenário 'Atual - 75 ha'

Durante o período 1989-1998, as populações do território 'Reservatório' não permitiram que seja liberado água dos reservatórios para garantir a disponibilidade dos "seus" recursos. Assim, duas hipóteses (sem ou com liberação de água) são plausíveis e devem ser testadas (Figura 5).

##### Hipótese 1: sem liberação de água

Na hipótese de não liberação de água, simulações do período 2007-2037 mostram que o volume do açude permanece sempre acima do volume crítico  $V_c$  e a salinidade atinge em 6 de 10 anos 0,7 g/L (limiar para consumo humano) e 1 de 6 anos 1,5 g/L (limiar para uso doméstico). Durante as secas plurianuais, a recarga do açude do Rch. Verde é insuficiente durante vários anos consecutivos, levando a níveis altos de salinidade e eutrofização. Nesta simulação numa série de 30 anos, a qualidade da água permanece inadequada para consumo humano ( $C > 0,7$  g/L) a metade do tempo. O limiar de 1,5 g/L é ultrapassado em dois longos períodos (23 e 15 meses) durante os quais as comunidades do Rch. Verde deveriam ser abastecidas por carros-pipa por um custo anual de  $3 \times 10^3$  US\$. O volume e a salinidade da água dos pequenos reservatórios (Rch. Algodão e Jardim) nunca ultrapassam os limites para uso doméstico por causa da alta taxa de renovação.

O aquífero aluvial tem uma dinâmica sazonal e é inteiramente recarregado em 9 de 10 anos. Entretanto, sem liberação de água do açude do Rch. Verde, o nível de água baixa em 9 de 10 anos mais do que 25%, levando os irrigantes a adaptar-se diminuindo as áreas irrigadas no fim da estação seca.

Ademais, o acesso a água do aquífero aluvial é difícil para as famílias que não têm possibilidades de bombear a água (territórios 'Aquífero' e 'Habitat Disperso') e para os rebanhos. Entretanto, os sistemas de abastecimento domésticos funcionam. Em 1 a cada 30 anos, o nível de água baixa mais do que 50%. Conseqüentemente, a irrigação pára e os usos domésticos são fortemente limitados. Restrições são necessárias temporariamente (menos do que 3 meses consecutivos).

#### Hipótese 2: com liberação de água

No caso de uma gestão com liberações de água do açude do Rch. Verde, duas simulações foram realizadas com hipóteses de descarga diferentes: 50 L/s durante 5 meses na estação seca e 130 L/s durante 1 mês quando o nível piezométrico no aquífero aluvial baixa mais do que 25%. Entretanto, se o volume do açude é inferior à  $V_C$ , não tem liberação. Com as duas hipóteses de liberação, o volume do açude do Rch. Verde cai abaixo de  $V_C$  em 1 a cada 10 anos e durante 15% do tempo. A salinidade da água permanece abaixo de 0,7 g/L durante 95% e 91% do tempo nas hipóteses 50 L/s e 130 L/s, respectivamente. O volume do reservatório é insuficiente para liberar água em 1 a cada 10 anos. O maior período com o volume do reservatório abaixo de  $V_C$  é de 11 meses consecutivos. O abastecimento doméstico com carros-pipas, quando o nível de água cai abaixo de  $V_C$ , leva a custo anual de  $3,5 \times 10^3$  US\$. Com as duas hipóteses, em 8 a cada 10 anos o volume do aquífero é suficiente para satisfazer as necessidades domésticas e para a irrigação e é facilmente acessível, sem bombeamento, para os rebanhos e as famílias do território 'Habitat Disperso'. Em 1 a cada 10 anos, restrições quantitativas ocorrem para a irrigação, mas não para o abastecimento doméstico. Em caso de seca plurianual (uma vez em 30 anos), a liberação de água do Rch. Verde não é possível porque o nível de água é baixo demais: conseqüentemente, o nível de água no aquífero aluvial cai mais do que 50%.

A prática sazonal de liberação de água com hipóteses de descarga de 50 L/s em 5 meses ou 130 L/s em 1 mês, permite melhorar significativamente a disponibilidade de água para as áreas irrigadas do território 'Aquífero' e mantém a salinidade do açude do Rch. Verde baixa. Entretanto, o volume crítico  $V_C$  do açude do Rch. Verde é atingido em 1 de 3 anos o que pode causar interrupção no abastecimento das comunidades que usam a água deste reservatório.

#### *4.4.2 - Cenário 'Sem irrigação / 0 ha'*

O principal resultado desta simulação é que o rebaixamento sazonal do nível piezométrico do aquífero aluvial é somente de 10 a 20%, garantindo todos os usos no território 'Aquífero', mesmo sem liberação de água dos açudes. Entretanto, liberar água do açude do Rch. Verde aparece como necessário para manter a salinidade baixa neste corpo de água. Com uma descarga sazonal de 30 L/s durante 5 meses, a simulação mostra que não tem redução do volume do aquífero durante 99% do tempo o que é particularmente favorável para os usos agrícolas tradicionais (pecuária, culturas forrageiras nas beiras do



rio) e para os usos domésticos das populações mais pobres (que têm um acesso garantido à água no leito do rio). A disponibilidade dos recursos hídricos (reservatório e aquífero) para abastecimento doméstico é garantida 100% do tempo para o território 'Aquífero' e 98% do tempo para o Rch. Verde. Estes resultados podem ser comparados com os do cenário 'atual' com uma descarga de 50 L/s durante 5 meses (abastecimento doméstico garantido 96% do tempo para o aquífero e 90% do tempo para o Rch.Verde).

#### 4.4.3 - *Cenário 'Duplicação da irrigação / 150 há'*

Se a área irrigada for de 150 ha e se não houver liberação de água a partir do açude do Rch. Verde, o nível piezométrico do aquífero aluvial cai abaixo de 50% em 9 a cada 10 anos, o que leva os agricultores a parar a irrigação e restringir fortemente os usos domésticos no território 'Aquífero'. Assim, esta hipótese não é viável. No caso de uma gestão com liberação de água do açude do Rch. Verde, somente descargas superiores à 80 L/s durante 5 meses permitem recarregar o aquífero aluvial até o trecho 15-19 km. Com este modo de gestão, o volume do açude cai abaixo do volume crítico  $V_C$  em 1 a cada 2 anos e durante 25% do tempo. O volume do reservatório é insuficiente para liberar a água em 2 a cada 10 anos. O abastecimento doméstico com carros-pipa, nesta situação, leva a um custo anual de  $5,5 \times 10^3$  US\$. O volume do aquífero cai abaixo de 50% em 1 a cada 5 anos, restringindo a irrigação. O acesso à água do aquífero aluvial pela população do território 'Habitat Disperso' e pelos rebanhos é muito difícil. O volume do aquífero cai abaixo de 75% em 1 a cada 3 anos, levando ao abastecimento das populações do território 'Aquífero' com carros-pipa a um custo anual de  $12 \times 10^3$  US\$.

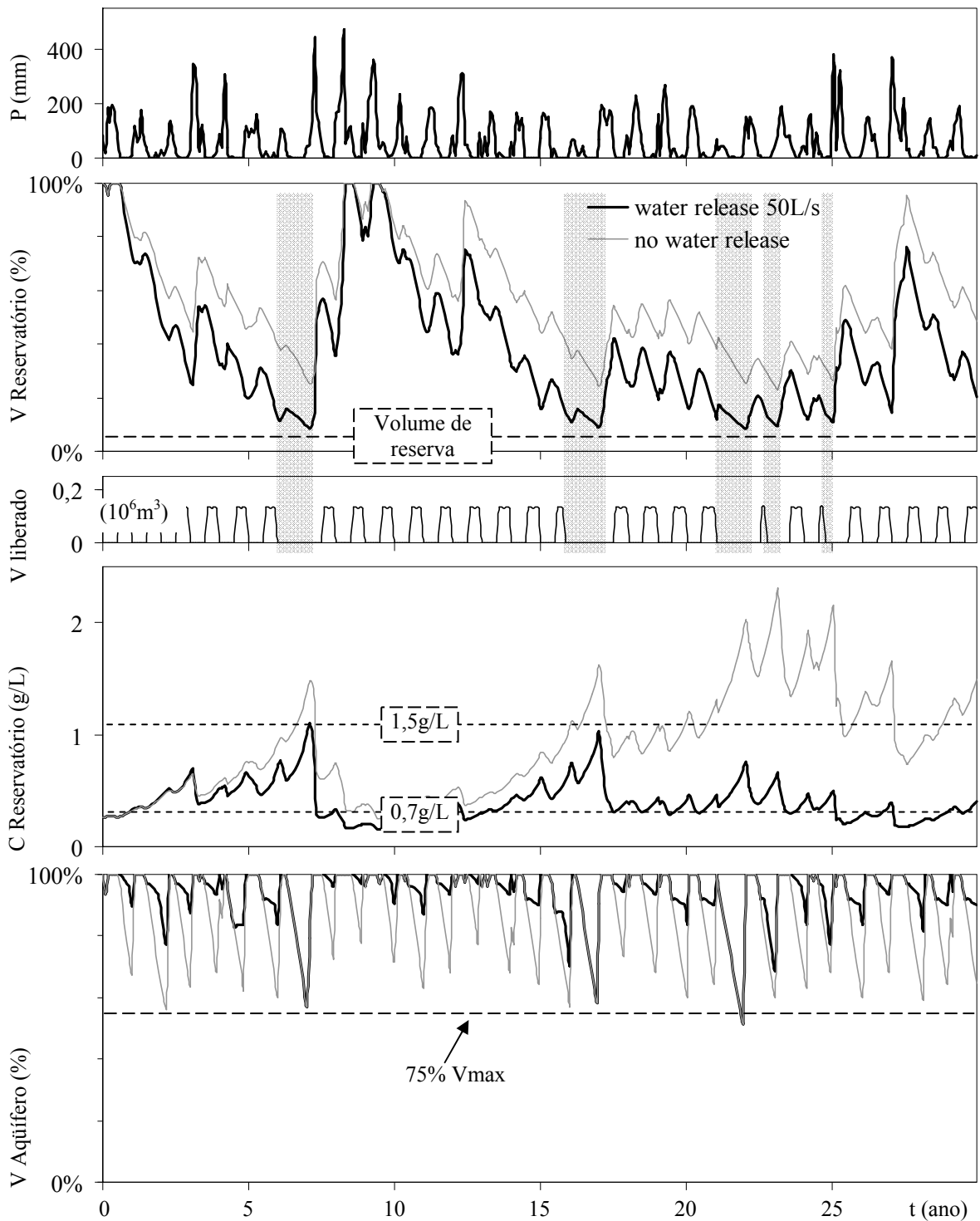


Figura 5: Cenário “75 ha”. Precipitações (série de 30 anos) e simulações das variações de (1) Volume do açude RV (%), (2) volumes liberados ( $10^6 m^3$ ) do RV, (3) STD da água (g/L) e (4) volume do aquífero aluvial (%). As hipóteses de descarga a partir do açude do Rch. Verde são: nula (linhas cinzas) e 50 L/s (linhas pretas e áreas cinzas mostrando os períodos críticos em termo de volume do reservatório).

## 5 - CONCLUSÃO

A caracterização do ambiente físico foi realizada em paralelo com o estudo dos usos e usuários dos recursos hídricos na bacia do Forquilha. Isto permitiu elaborar cenários relevantes de gestão dos recursos hídricos e construir modelos de balanço hidrológico simples para simular os impactos destes cenários. A partir da experiência extraída da bacia do Forquilha, o uso de simples fórmulas para pequenas bacias hidrográficas do Nordeste semi-árido (**Cadier, 1993**) comprova ser satisfatório para caracterizar os reservatórios superficiais para nossa estratégia de modelagem. Os dados hidrológicos mínimos necessários para a esta abordagem devem ser salientados: 1) o monitoramento do nível e da salinidade da água dos principais corpos hídricos durante um ano é necessário para caracterizar a dinâmica (quantidade e qualidade) do aquífero aluvial e dos reservatórios e permitir a calibração dos modelos de reservatório e de aquífero, 2) um evento de liberação de água resultando na recarga completa do aquífero aluvial deve ser monitorado para calibrar o modelo de propagação.

O principal resultado das simulações é que a liberação sazonal de água a partir do açude do Rch. Verde é efetiva para manter a salinidade da água do reservatório em nível compatível com o abastecimento doméstico e aumentar a garantia de abastecimento do território 'Aquífero'. Dependendo da vazão liberada e dos cenários, seria possível recarregar o aquífero aluvial a jusante até as principais áreas de bombeamento (trecho 15-19 km). As liberações por parte dos outros reservatórios são somente possíveis com vazões pequenas ( $< 20$  L/s), o que não teria um impacto significativo sobre a recarga do aquífero aluvial. Para o cenário 'sem irrigação', a disponibilidade dos recursos hídricos para o uso doméstico e os rebanhos é máxima: 100% do tempo, para os territórios 'Aquífero' e 'Habitat Disperso' e 98% a 100% do tempo para o território 'Reservatórios'.

As práticas atuais de gestão são avaliadas no cenário 'atual'. No caso de uma descarga de 50 L/s durante as estações secas, a disponibilidade de água para uso doméstico é garantida 99% do tempo no território 'Aquífero' e durante 90% até 100% do tempo para o território 'Açudes'. Para a irrigação, o abastecimento hídrico é garantido em 8 a cada 10 anos. Sem liberação, a irrigação no território 'Aquífero' seria garantida somente em 1 a cada 10 anos: durante a estação seca, restrições sobre a irrigação apareceriam em 9 a cada 10 anos. Os resultados das simulações com o cenário 'irrigação dobrada' evidenciaram que tal crescimento da área irrigada seria incompatível com a satisfação dos usos prioritários, particularmente os usos domésticos.

A gestão integrada dos principais corpos de água em nível desta bacia é hidrológicamente efetiva e socialmente desejável, porque ambas as comunidades dos territórios 'Açudes' e 'Aquífero' se beneficiariam.

## BIBLIOGRAFIA

- ARAUJO, J.C.D., MOLINAS, P.A., LAMARTINE LEÃO JOCA, E., PACHECO BARBOSA, C., SOUZA BEMFEITO, C.J.D., CARMO BELO, P.S.D., 2005. Custo de Disponibilização e Distribuição da Água por Diversas Fontes no Ceará. *Revista Econômica do Nordeste*. 36 (2), 281-307.
- BURTE, J., COUDRAIN, A., FRISCHKORN, H., CHAFFAUT, I., KOSUTH, P., 2005. Human impacts on components of hydrological balance in an alluvial aquifer in the semiarid Northeast, Brazil. *Hydrological Sciences Journal*. 50 (1), 95-110.
- CADIER, E., 1993. Hydrologie des petits bassins du Nordeste brésilien semi-aride. Transposition à des bassins non étudiés. PhD Thesis. Université Montpellier 2. pp. 404.
- CADIER, E., 1996. Small watershed hydrology in semi-arid north-eastern Brazil: basin typology and transposition of annual runoff data. *Journal of Hydrology*. 182 (1), 117-141.
- CADIER, E., MOLLE, F., ALBUQUERQUE, C.H., DOHERTY, F.R., MONTGAILLARD, M., 1992. Dimensionnement de petits barrages dans le Nordeste brésilien semi-aride. in: ORSTOM (Ed.), pp. 28.
- CHRISTENSEN, J.H., HEWITSON, B., BUSUIOC, A., CHEN, A., GAO, X., HELD, I. et al. 2007. Regional Climate Projections. in: S. Solomon, D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, T. M., H.L. Miller (Eds.). *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 94.
- COUDRAIN, A., TALBI, A., LEDOUX, E., LOUBET, M., VACHER, J., RAMIREZ, E., 2001. Subsurface transfer of chloride after a lake retreat in the central Andes. *Ground Water*. 39 (5), 751-759.
- DUBREUIL, P., 1966. L'étude pluvio-hydrologique du bassin de Jaguaribe. *Terres et eaux*. 19 (47), 22-31.
- DUBREUIL, P., GIRARD, G., HERBAUD, J., 1968. Monographie hydrologique du bassin du Jaguaribe (Ceara-Brésil). ORSTOM, pp. 397.
- FABRE, N., BURTE, J., 2007. Estudo de caso da bacia do Riacho Forquilha – Quixeramobim - CE. in: UFRGS (Ed.) *Agricultura familiar: Interação entre políticas públicas e dinâmicas locais*. RS, 221-248.
- GALIZONI, F.M., 2005. Águas da vida: população rural, cultura e água em Minas. PhD. Universidade Estadual de Campinas. Campinas SP, pp. 198.
- HOLANDA, M.C., 2005. Perfil básico municipal de Quixeramobim. IPECE - Instituto de Planejamento do Estado do Ceara. Quixeramobim, pp. 10.
- IBGE, 2004. *Uso da terra no Brasil Indicadores de desenvolvimento sustentável*. Brasília, pp. 42.
- IPCC, 2007. *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press. Cambridge, pp. 996.

- JAKEMAN, A.J., LETCHER, R.A., 2003. Integrated assessment and modelling: features, principles and examples for catchment management. *Environmental Modelling & Software*. 18 (6), 491-501.
- KROL, M.S., BRONSTERT, A., 2007. Regional integrated modelling of climate change impacts on natural resources and resource usage in semi-arid Northeast Brazil. *Environmental Modelling & Software*. 22 (2), 259-268.
- LIU, Y., GUO, H.C., ZHANG, Z.X., WANG, L.J., DAI, Y.L., Y.Y., F., 2007. An optimization method based on scenario analysis for watershed management under uncertainty. *Environmental Management* 39 (5), 678-690.
- MAINUDDIN, M., KIRBY, M., QURESHI, M.E., 2007. Integrated hydrologic-economic modelling for analyzing water acquisition strategies in the Murray River Basin. *Agricultural Water Management*. 93 (3), 123-135.
- MERMET, L., 2005. *Etudier des écologies futures : un chantier ouvert pour les recherches prospectives environnementales*. PIE Peter Lang. Bruxelles.
- MOLLE, F., 1994. Politique de l'eau, irrigation et société - le cas du Nordeste brésilien. *Les cahiers de la Recherche Développement*. 37, 18-32.
- MOLLE, F., CADIER, E., 1992. *Manual do pequeno açude*, pp. 528.
- RIBEYRE, D., 2006. La vallée du Forquilha : multi-usages et stratégies de gestion de l'eau dans le Nordeste semi-aride (Ceara - Brésil). CNEARC (Montpellier-France). pp. 145.
- SALAZAR, L.F., NOBRE, C.A., OYAMA, M.D., 2007. Climate change consequences on the biome distribution in tropical South America. *Geophysical Research Letters*. 34 (9), L09708.
- SAMPAIO, J.L.F., 2005. Policies for land access. Territory of Sertão Central, Ceará. In *Land Access and Participatory Territorial Development*. Natural Resources Institute. Greenwich-UK, pp. 83.
- SRDJEVIC, B., MEDEIROS, Y.D.P., FARIA, A.S., 2004. An objective multi-criteria evaluation of water management scenarios. *Water Resources Management*. 18 (1), 35-54.
- SRH, 1992. *Política Estadual de Recursos Hídricos*. Secretaria de Recursos Hidricos - Governo do Estado do Ceara, pp. 1-18.
- TONNEAU, J.-P., CARON, P., 2006. Sécheresse et développement territorial. *Colloque eau et territoires*. Lyon, 1-9.
- TREYER, S., 2005. L'adaptation sur le long terme à la limitation des ressources en eau. Une prospective par scénarios pour la région de Sfax, en Tunisie. *Etudier des écologies futures. Un chantier ouvert pour les recherches prospectives environnementales*. Bruxelles, 325-341.
- WASY, 2005. *Feflow - Finite element Subsurface Flow & Transport Simulation System*. Berlin. [www.wasy.de](http://www.wasy.de).