

# INTERAÇÃO RIO-AQUÍFERO EM UM RIO DE MÉDIO PORTE NO SEMIÁRIDO CEARENSE

*André R. de Souza<sup>1</sup> ; Alexandre C. Costa<sup>2</sup>;*

**RESUMO** – O entendimento sobre as interações rio-aquífero se tornam cada vez mais importante em decorrência do crescente aumento da demanda por água, principalmente em regiões semiáridas. Este estudo tem por finalidade avaliar as interações entre rio-aquífero em um trecho de 30 km do Rio Salgado no semiárido cearense, por meio do balanço hídrico a partir de dados de séries de vazão entre os anos de 2000 a 2010. O balanço hídrico foi realizado em duas escalas temporais: anual e mensal. Observou-se que no balanço acumulado dessa série, em apenas 30 km do rio, houve uma perda total de transmissão na ordem de  $504,81 \times 10^6 \text{ m}^3$ , valor que representa 24% da entrada de fluxo total. Observou-se também que as perdas em trânsito são sempre mais significativas nos anos em que elas ocorrem do que nos anos onde ocorrem ganhos de transmissão. Na média, no início da estação chuvosa, ocorrem as perdas em trânsito devido ao baixo nível estático no aquífero em decorrência do período seco dos meses antecedentes, então, no decorrer da estação chuvosa, as perdas vão diminuindo até ocorrer uma alteração no regime de interação, passando a ocorrer ganho de transmissão que perdura até o final da estação chuvosa.

**ABSTRACT** – The understanding of the interactions between groundwater and surface water becomes increasingly important due to the increasing water demand, especially in semi-arid regions. This study aims to evaluate the river-aquifer interactions in a 30 km stretch of the Salgado River in the Semiarid of the State of Ceará, Brazil, through the annual and monthly water balance of streamflow series from 2000 till 2010. It was observed that, in the studied river stretch, there was a total transmission loss of  $504.81 \times 10^6 \text{ m}^3$ , which represents 24% of the total input flow into the stretch. Also, annually, the transmission loss was much more relevant than transmission gain. On average, at monthly scale, the transmission losses are at highest in the beginning of the rainy season because the aquifer water level is at lowest due to previous dry season, then in the middle of the rainy season the transmission gains take place, which last until the end of the rainy season.

**Palavras-Chave** – Balanço Hídrico, Interações Rio-Aquífero, Perdas em trânsito

---

1) Instituto Federal do Ceará, Campus Juazeiro do Norte, Av. Plácido Aderaldo Castelo 1646, Planalto. CEP: 63.040-540, Juazeiro do Norte, Ceará, Brasil, +55 88 2101 5300, andrezaocca@gmail.com.

2) Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira, Campus dos Palmares, Rodovia CE-060 km 51, CEP: 62.785-000, Acarape, Ceará, Brasil, +55 85 3373 1593, cunhacos@unilab.edu.br.

## 1 – INTRODUÇÃO

O ciclo hidrológico é um fenômeno natural bastante conhecido e estudado em vários níveis de conhecimento devido a sua grande importância para manutenção da vida na terra, entretanto, uma das etapas desse ciclo ainda é muito pouco estudado frente a grande importância que ela desempenha no que se refere à disponibilidade e qualidade das águas para seus diversos usos em muitas regiões secas. Essa etapa é a relação entre as águas superficiais e subterrâneas, ou simplesmente interações entre rio-aquífero.

Essas interações se tornam cada vez mais importantes em decorrência do crescente aumento da demanda por água em regiões semiáridas, principalmente para o abastecimento humano, dessedentação animal e irrigação. Devido essa relação entre as águas superficiais e subterrâneas, a disponibilidade quantitativa e qualitativa de uma interfere diretamente na outra.

Águas subterrâneas e superficiais não são componentes isolados de um sistema hídrico, entretanto, esses componentes se comunicam de forma bastante dinâmica em função das paisagens fisiográficas e climáticas da região, assim como em função das pressões antrópicas no meio. Dessa forma, o desenvolvimento ou a contaminação de um afeta diretamente o outro. Portanto, a compreensão dos princípios básicos das interações entre as águas subterrâneas e de superfície é necessário para a gestão eficaz dos recursos hídricos (Sophocleous 2002).

Rios que atravessam regiões cobertas por aquífero freático podem tanto contribuir água para o aquífero, ou servir como dreno. Grande parte do fluxo de base é derivado a partir de águas subterrâneas. Tais fluxos são chamados de correntes efluentes (Figura 1.a). Por outro lado, quando o nível de água num rio é maior do que o nível de água num aquífero adjacente, a água vai fluir a partir do rio para o aquífero, o rio é então chamado de rio influente (Figura 1.b) (Fitts 2002).

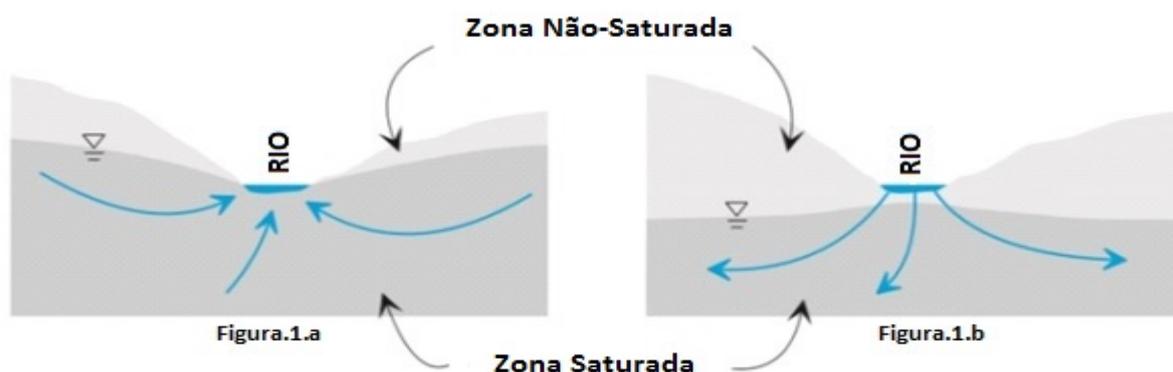


Figura 1 – Interações entre Rio-Aquífero (adaptado de Fitts 2002).

O presente trabalho se desenvolveu na bacia do Rio Salgado (figura 2), que se posiciona na porção meridional do Estado do Ceará, limitando-se a oeste com a sub-bacia do Alto Jaguaribe, ao sul com o Estado de Pernambuco, ao leste com o Estado da Paraíba e à nordeste com a sub-bacia do Médio Jaguaribe. O Rio Salgado é formado possui uma extensão de 308 km e drena uma área de 12.623,89 Km<sup>2</sup>, o equivalente a 9% do território cearense (Pacto das águas 2013).

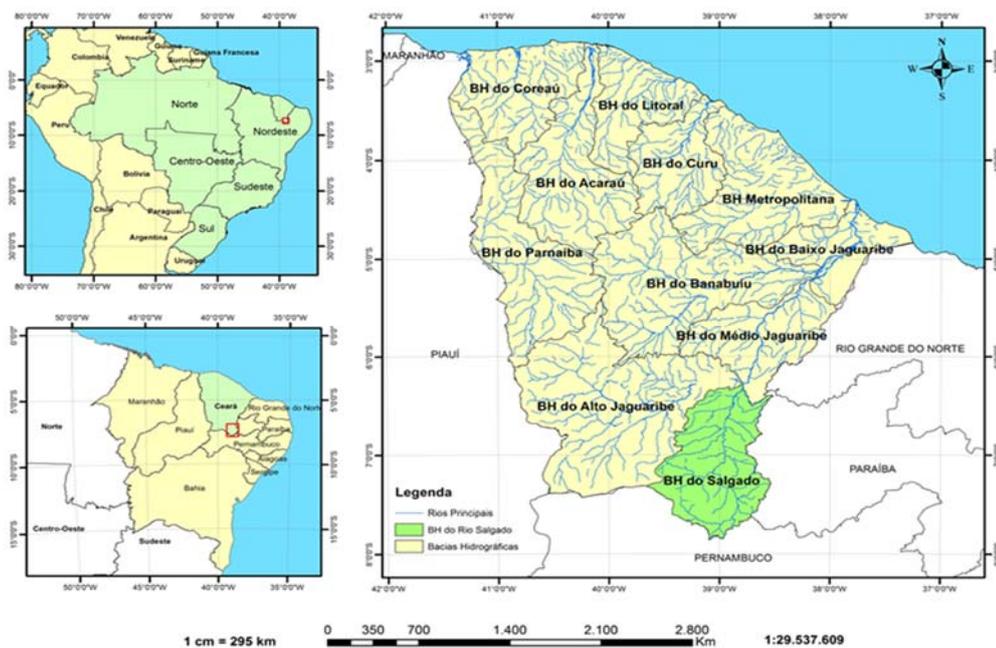


Figura 2 – Localização da Bacia Hidrográfica do Rio Salgado.

## 1.1 – Objetivos

O presente estudo tem como objetivo a avaliação entre as entradas e saídas de fluxos através de um balanço hídrico anual e mensal, afim de determinar as interações entre rio-aquífero em um trecho de 30 km do Rio Salgado, com base em dados de séries históricas de monitoramento diário de vazão.

## 2 – MÉTODOS

### 2.1 – Séries Hidrometeorológicas

Os dados das estações fluviométricas foram disponibilizados pela Agência Nacional das Águas (ANA) a partir do sistema Hidroweb (BRASIL, 2013). O trecho do Rio Salgado (figura 3) em análise é controlado pelas estações de entrada no sistema situadas no sítio Podimirim (EF<sub>01</sub>), no município de Milagres-CE e no sítio Lapinha (EF<sub>02</sub>), no município de Missão Velha-CE. O controle

de fluxo de saída é efetuado no Sítio Santa Cruz (EF03), no município de Aurora-CE. Essas estações vêm sendo monitoradas pelo Serviço Geológico do Brasil (CPRM).

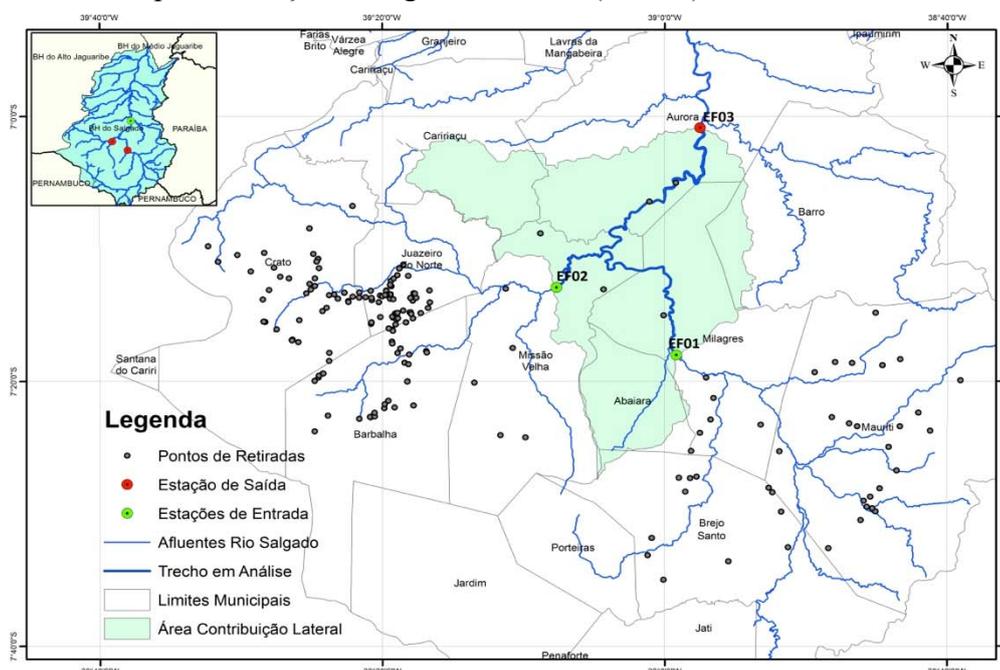


Figura 3 – Localização das estações fluviométricas, pontos de retirada, trecho de análise rio-aquífero e área de contribuição lateral.

## 2.2 – Balanço Hídrico da Interação Rio-Aquífero

Para o balanço hídrico da interação rio-aquífero (equação 1), além da manipulação dos dados das estações fluviométricas de entrada e de saída, deve também ser levado em consideração as retiradas (R) efetuadas no trecho entre as estações, sejam elas superficiais ou subterrâneas, assim como os valores de contribuições laterais (CL), decorrente de vazões geradas entre as estações e que não são contabilizadas a montante do sistema nas estações de entrada, mas que geram fluxos de acréscimo na estação de saída.

$$\Delta SG = (EF_{03} + R) - (EF_{01} + EF_{02} + CL) \quad (1)$$

A quantificação das retiradas (R) foram estimadas por meio do sistema de outorgas e licenças (SOL), sistema interno de análise da companhia de gestão dos recursos hídricos (COGERH), sub-bacia do Rio Salgado, como ferramenta de suporte e decisão nos processos de concessão de outorgas de uso de água na bacia (COGERH 2013).

Os valores de contribuição lateral (CL) foram calculados a partir da simulação do modelo hidrológico WASA-SED (Güntner e Bronstert 2004), que foi regionalizado para todo o estado do Ceará (Costa et al. 2013a), para área em questão.

Para Hacker 2005, o processo de evaporação também afeta as perdas em transmissão, entretanto, essas perdas são consideradas relativamente pequenas quando comparadas com os volumes infiltrados. Para tanto, sob as condições normais, os volumes reduzidos por infiltração é consideravelmente maior do que os volumes reduzidos por evaporação, haja visto que as perdas de transmissão por evaporação ao longo dos canais fluviais atinge um valor realista de apenas 5 por cento do valor total das perdas de transmissão totais.

O resultado da equação é uma estimativa da interação rio-aquífero, onde podem ocorrer as perdas em trânsito (TL), ou seja o rio é considerado influente, e cede fluxo para o aquífero, ou de ganho (TW), ou seja o rio é considerado efluente, e recebe fluxo do aquífero. Para situações de perdas, os resultados apresentam valores negativos de  $\Delta SG$ , caso contrário, para situações de ganho, os resultados do balanço são apresentados com valores positivos.

Para fins comparativos anuais, foi feita a análise de dados de chuva disponibilizados pela Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (FUNCEME 20013). Esses dados foram interpolados na escala a montante das estações fluviométricas de entrada através do polígono de Thiessen.

### **3 – RESULTADOS E DISCUSSÃO**

#### **3.1 - Escala anual**

Os primeiros resultados foram analisados em escala anual, levando em consideração os anos hidrológicos entre os anos de 2000 a 2010, excluindo apenas os anos de 2004 e 2008, que tiveram problemas de coleta de dados em alguma estação fluviométrica, fato esse que comprometia a confiabilidade dos cálculos.

A figura 4 a seguir representa os valores entre a interação entre rio-aquífero ( $\Delta SG$ ) e a pluviometria (mm) média calculada pelo método do polígono de Thiessen para a área a montante dos controles de fluxo de entrada no sistema.

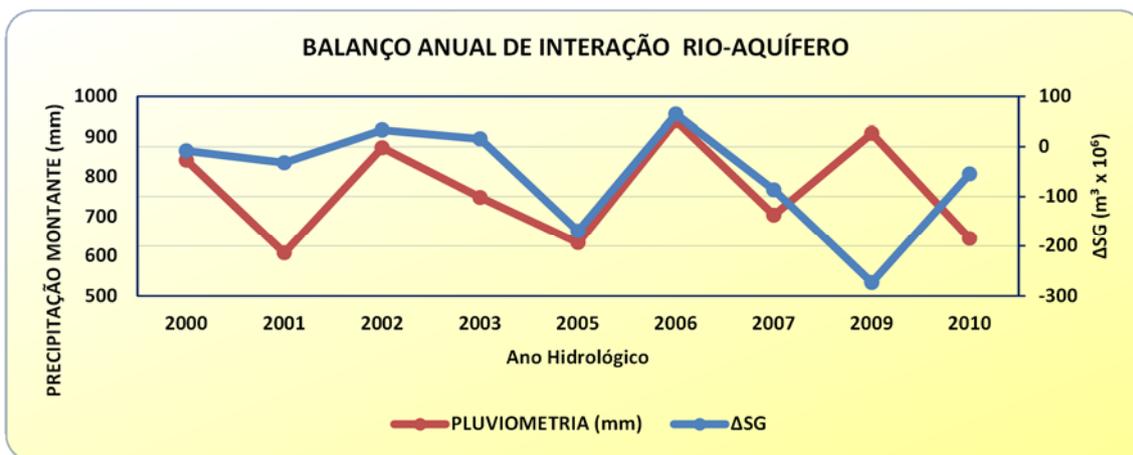


Figura 4 – Balanço Anual de Interação Rio-Aquífero.

Os resultados asseguram uma certa proporcionalidade entre os valores de pluviometria e a interação, ou seja, quanto maior a pluviometria a montante registrada, maiores os valores de  $\Delta SG$ , ou seja, maior a contribuição do aquífero para o rio (TW) ou menor as perdas em trânsito (TL).

Uma exceção apresentada no balanço foi o ano de 2009, que apresentou um valor inversamente proporcional a pluviometria a montante. Esse fato é explicado devido ao registro da pluviometria no trecho entre as estações serem superior a pluviometria a montante, o que gerou uma contribuição lateral (CL) bastante significativa, aumentando dessa forma os valores de entrada e induzindo a uma perda de fluxo (TL) maior nesse ano, que nos demais anos.

Observa-se também que os valores de perdas em trânsito (TL) são sempre mais significativos nos anos em que elas ocorrem do que nos anos onde ocorrem ganhos de transmissão (TW). Isso deve ocorrer porque o fator determinante que causa as perdas em trânsito (TL) é a geração de vazões de contribuição lateral, que ocorrem em uma área pouco explorada de retiradas para uso de água, gerando fluxos mais expressivos de escoamento superficial no balanço, enquanto que a principal condicionante do ganho de transmissão é a infiltração nas áreas a montante das estações de entrada que geram fluxo de bases, mas como isso ocorre em região de bastante exploração das águas subterrâneas, as constantes retiradas diminuem os valores de infiltração e, conseqüentemente, os fluxos de base, gerando valores de TW menores.

Durante a análise de toda a série de dados, houve uma entrada no sistema na ordem de  $2.120,69 \times 10^6 \text{ m}^3$ , enquanto que saiu apenas  $1.615,88 \times 10^6 \text{ m}^3$ , o que indica uma  $TL = 504,81 \times 10^6 \text{ m}^3$ , com percentual de perda de 24% de em apenas 30 km do Rio Salgado. Esse fenômeno de perdas ocorre principalmente devido a diferença de gradiente entre o leito do rio e o nível do lençol freático, ocasionando uma recarga do sistema aquífero, assim como através do aumento de

infiltração, ocasionado pela elevação da carga hidráulica na superfície do rio, para o caso de grandes inundações.

De acordo com Costa et al. (2013b), as perdas em trânsito em um trecho de 30 km no rio Jaguaribe no semiárido cearense, atingiu uma perda na ordem de  $880 \times 10^6 \text{ m}^3$  de redução em um total de 27 eventos em 10 anos, atingindo um percentual de cerca de 30% do volume total de entrada de fluxo no sistema.

Em Knighton e Nanson (1994), em um percurso de 420 km entre medidores de fluxos em canais no Rio Cooper Creel na Austrália, pequenas inundações não costumavam percorrer a distância total entre as estações de monitoramento, enquanto que nas maiores inundações, os fluxos gerados transmitiam até o exutório apenas por volta de 20% a 50% de sua descarga total.

De acordo com Lange (2005), em um trecho de 150 km de canal do rio Kuiseb, no deserto da Namíbia, as pequenas e médias enchentes poderiam viajar consideráveis distâncias sem perdas significativas de transmissão, enquanto significativas perdas de transmissão ocorreram durante altos picos de escoamento.

### 3.2 - Escala mensal

Posteriormente, foram analisados os dados em uma escala mais reduzida a nível mensal, com valores acumulados para cada mês do ano hidrológico. Nessa escala é possível visualizar de forma mais clara o processo de interação e suas condicionantes. Para exemplificar essa análise foi selecionado o ano de 2003 (figura 5), pois representa o funcionamento médio mensal da interação rio-aquífero.

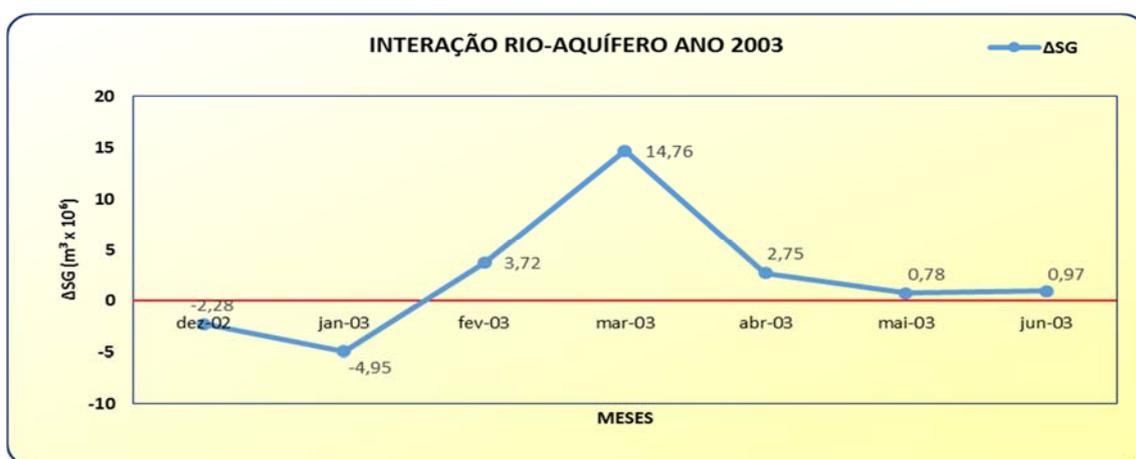


Figura 5 –Interação Rio-Aquífero no ano de 2003.

O ano hidrológico é representada entre os meses de dezembro do ano anterior até junho do corrente ano, devido as precipitações locais ocorrerem nesse período. Na figura 5 está destacado a

abscissa em zero, pois é o marco divisor entre as perdas em trânsito e os ganhos de transmissão. A princípio no início da estação chuvosa, ocorrem as perdas em trânsito em decorrência da zona não-saturada do leito do rio, e do baixo nível estático em decorrência do período seco dos meses antecedentes. No decorrer da estação chuvosa, as perdas vão diminuindo até ocorrer uma alteração no regime de interação, passando a ocorrer ganho de transmissão que perdura até o final da estação chuvosa. Fato esse explicado pela recarga do nível no lençol freático e contribuição do aquífero por meio dos fluxos de base. Observa-se também que ocorre uma estabilização da interação nos últimos meses da série, devido à diminuição da precipitação e consequente infiltração direta a montante das estações de entrada, e pelo equilíbrio das cargas hidráulicas entre rio e aquífero, e, conseguinte, diminuindo a interação entre rio-aquífero.

#### 4 – CONCLUSÕES

Após análise dos resultados, pode-se verificar em ambas as escalas que as interações entre as águas subterrâneas e superficiais se comportam de forma similar quando comparado com outros trabalhos no Ceará e em diferentes partes do mundo, entretanto, ressaltando aspectos específicos do sistema estudado. Pode-se atribuir com base nos resultados apresentados que a intermitência da maioria dos fluxos superficiais no Rio Salgado está relacionada com o excesso de perdas em trânsito que ocorrem em sua extensão, diminuindo cada vez mais o alcance dos rios, e consequentemente a disponibilidade das águas fundamentais para manter o equilíbrio ecológico e atendimento de demandas de águas mais a jusante. Haja visto a importância de um maior entendimento acerca das interações entre rio-aquífero principalmente para promover uma gestão eficiente dos recursos hídricos, sugere-se a necessidade de uma ampliação na rede de monitoramento de fluxos principalmente em bacias conflitantes.

#### BIBLIOGRAFIA

BRASIL. Agência Nacional de Águas. “Hidroweb: Sistema de informações hidrológicas”. Disponível em: [www.hidroweb.ana.gov.br](http://www.hidroweb.ana.gov.br). Acesso em: 29 mai. 2013.

COGERH. Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos. “SOL, Sistema de Outorgas e Licenças”. Disponível em: <http://portal.cogerh.com.br/eixos-de-atuacao/implementacao-dos-instrumentos-de-gestao-dos-recursos-hidricos/outorgas-e-licencas/outorgas-e-licencas/sistemas-de-outorgas-e-licencas/acompanhamento-de-processos>. Acesso em: 20 jul. 2013.

COSTA, A.C.; MARTINS, E.S.P.R.; BARROS, F.V.F.; BRONSTERT, A.; FRANCKE, T.; GÜNTNER, A. (2013a) “Regionalização de Modelagem Hidrológica Semidistribuída para todo Estado do Ceará” in Anais do XX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, São Paulo, Nov. 2013.

COSTA, A.C.; FOERSTER, S.; DE ARAÚJO, J.C.; BRONSTERT, A. (2013b) “Analysis of channel transmission losses in a dryland river reach in north-eastern Brazil using streamflow series, groundwater level series and multi-temporal satellite data”. *Hydrological Processes* 27, pp. 1046 – 1060.

FITTS, C.R. (Ed.) (2002) *Groundwater Science*. Academic Press, USA.

FUNCEME. Fundação cearense de meteorologia. “Download de séries históricas”. Disponível em: [www.funceme.br/index.php/areas/tempo/download-de-series-historicas](http://www.funceme.br/index.php/areas/tempo/download-de-series-historicas). Acesso em: 09 jul. 2013.

- GÜNTNER, A.; BRONSTERT, A. (2004) “Representation of landscape variability and lateral redistribution processes for large-scale hydrological modelling in semi-arid areas”. *Journal of Hydrology* 297, pp. 136 – 161.
- HACKER, F.(2005). “Estimation of transmission losses by infiltration at rivers in the semi-arid Federal State of Ceará” *Universität Potsdam, Institut für Geoökologie, Vertiefungsfach, Modellierung in der Geoökologie / Hydrologie*.
- KNIGHTON, A.D.; NANSON, G.C. (1994) “Flow transmission along an arid zone anastomosing river, Copper Creek, Australia”. *Hydrological Processes* 8, pp. 137–153
- LANGE J. (2005). “Dynamics of transmission losses in a large arid stream channel”. *Journal of Hydrology* 306, pp 112–126.
- PACTO DAS ÁGUAS. Secretaria de recursos hídricos do estado do Ceará. “*Caderno regional da sub-bacia do salgado*”. Disponível em: <http://www.srh.ce.gov.br/index.php/projetos-especiais/pacto-das-aguas>. Acesso em: 09 jul. 2013.
- SOPHOCLEOUS, M. (2002) “Interactions between groundwater and surface water: the state of the Science”. *Hydrogeology Journal* 10, pp. 52–67