

# PALEOÁGUAS EM BACIAS SEDIMENTARES DO NORDESTE

Horst Frischkorn<sup>1</sup> & Maria Marlucia Freitas Santiago<sup>2</sup>

**Resumo** - O uso de isótopos ambientais em áreas do nordeste permitiu identificar uma mudança no paleoclima da região a cerca de 10.000 anos antes de hoje. Embora a Bacia Sedimentar Maranhão – Piauí, por suas características de confinamento, tenha melhor preservado a marcação climática, foi possível observar, mesmo parcialmente, a mudança climática marcada nas águas da Bacia Potiguar, no Rio Grande do Norte e na Bacia sedimentar do Cariri, no sul do Estado do Ceará. Os resultados mostram que estas paleoáguas são provenientes de um regime climático mais favorável para recarga que o atual e que a sua exploração significa a “mineração” de um recurso não renovável.

**Palavras-chave** - paleoáguas; isótopos ambientais; águas subterrâneas

## INTRODUÇÃO

Alguns aquíferos das bacias sedimentares Maranhão – Piauí, Potiguar, no Rio Grande do Norte, e Cariri, no sul do estado do Ceará, apresentaram artesianismo com jorro, hoje observado somente na primeira delas e em jorros relativamente muito pobres em relação ao que ocorria no início das perfurações dos poços há cerca de 30 anos.

Como o jorro ocorre devido a elasticidade do aquífero confinado e da própria água, a queda da pressão decorrente da exploração, de um certo volume d’água neste tipo de aquífero é cerca de mil vezes maior do que a que ocorre em aquíferos livres.

Aquíferos em condições de jorro convidam ao desperdício já que a produção tem custo zero. Porém, as condições generosas de jorro duram pouco tempo e devem, portanto, ser aproveitadas com muita prudência para gerar recursos financeiros para o futuro bombeamento. Infelizmente, se constata que os órgãos responsáveis por este

---

<sup>1</sup> Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental - UFC , Tel: (85)2889775. E-mail:cariri@ufc.br

<sup>2</sup> Departamento de Física - UFC, Tel (85)2889913, Fax: (85) 2874220 E-mail:marlucia@fisica.ufc.br

inestimável recurso não se sensibilizaram ainda para este fato. Testemunhamos a perfuração gratuita de poços sem qualquer finalidade, a não ser a ilusão da fartura, do gosto pelo desperdício ou pelo luxo de uma piscina de água corrente.

O aquífero Açú da Bacia Potiguar já não mais apresenta artesianismo com jorro e já mostra uma queda no nível estático de aproximadamente um metro por ano, observada no município de Mossoró. Dessa maneira, o custo de produção cresce regularmente com o limite da rentabilidade à vista.

Para ser drástico: O conhecimento de que se usa água de 40.000 anos de idade, não renovável, no semi-árido nordestino, para lavagem de banheiro, como acontece na cidade de Mossoró, proporciona desconforto ao cientista, embora a situação de exploração do aquífero Serra Grande – PiauÍ seja mais irracional ainda. Nos últimos anos, o Governo fez um esforço para cadastrar os poços e disciplinar o uso do aquífero. Seja esta publicação um apoio neste caminho. Ela usa resultados de pesquisas anteriores que nunca foram sinoticamente publicados.

## **MEDIDAS ISOTÓPICAS**

O conhecimento a cerca da presença de paleoáguas e de suas condições climáticas de formação em áreas do Nordeste foi obtido por medidas dos isótopos ambientais carbono-14 e oxigênio-18 que são excelentes traçadores da idade e da origem das águas. Em adição, medidas de gases nobres dissolvidos nas amostras foram usadas como “termômetro de gases nobres de paleo-temperatura”. Este método explora a dependência da solubilidade, individualmente para cada gás nobre.

Medidas da atividade do carbono-14 nos carbonatos dissolvidos nas águas permitem determinar o tempo decorrido desde a infiltração que realimenta o aquífero quando a água deixa de estar em equilíbrio com a atmosfera (“idade de C-14”).

Terminada a interação com a atmosfera, que mantém a atividade do carbono-14 constante, resta somente o decaimento radioativo que produz uma diminuição exponencial da atividade específica da amostra com o tempo. A medida desta atividade permite a determinação da idade das águas

O isótopo do oxigênio  $^{18}\text{O}$  dá outra contribuição através da razão isotópica  $R = ^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$  que representa a razão das concentrações relativas dos dois isótopos estáveis. Este parâmetro varia em águas pluviais, de acordo com o clima do local da chuva (pluviosidade e temperatura), suas características geográficas (distância à costa, elevação) e com o grau de evaporação sofrida. Torna-se por isso um excelente traçador

da “história” da água que alimenta um aquífero. Para a quantificação do parâmetro usa-se seu desvio em por mil ( $\delta$  ‰) em relação a uma água padrão,

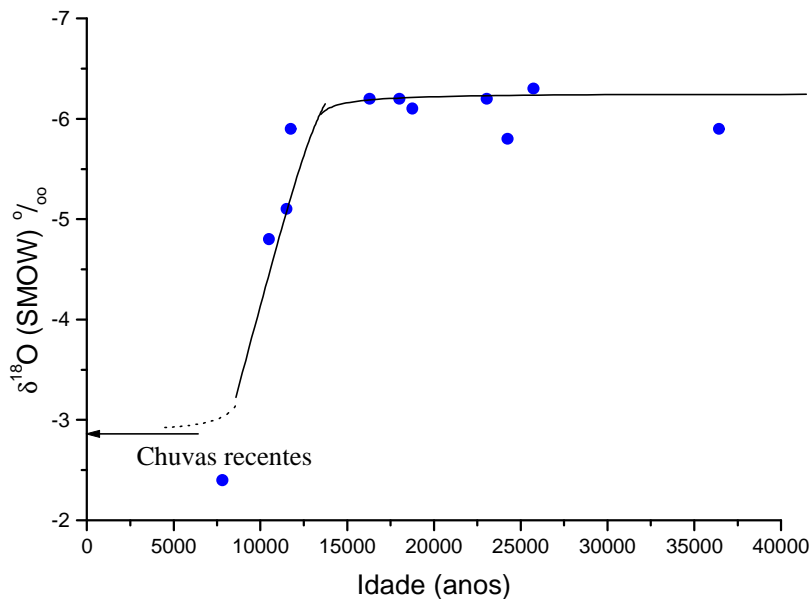
$$\delta \text{ ‰} = \frac{R_a - R_p}{R_p} 10^3$$

onde  $R_a$  é a razão isotópica na amostra e  $R_p$  no padrão V-SMOW (Vienna-Standard Mean Ocean Water), distribuído pela IAEA (International Atomic Energy Agency em Viena/ Áustria). No presente contexto a dependência de  $\delta^{18}\text{O}$  da temperatura atmosférica é de interesse especial. Informações mais detalhadas sobre os métodos isotópicos encontram-se em Clark e Fritz (1997).

### **PALEOÁGUAS NO NORDESTE**

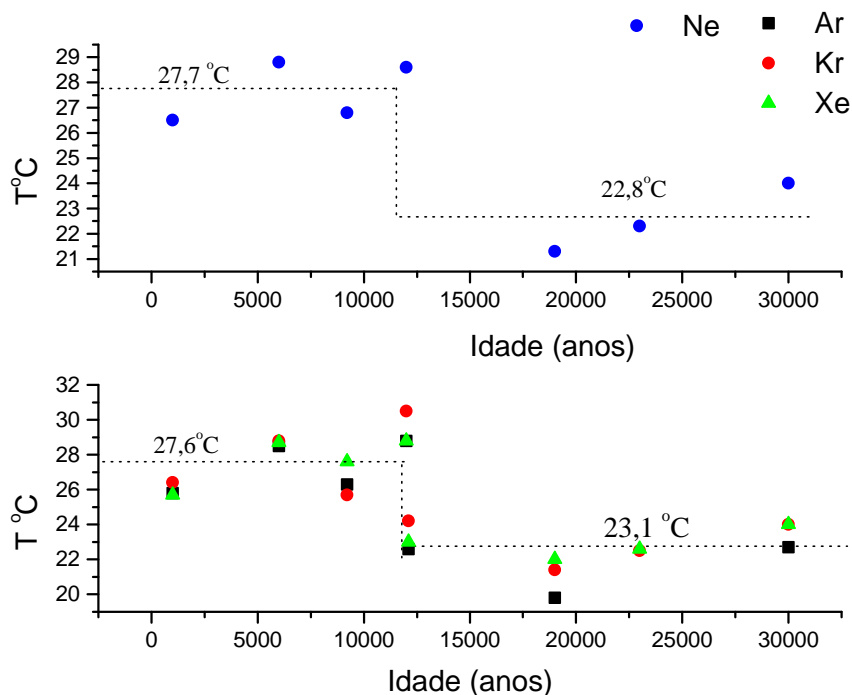
O Laboratório de Hidrologia Isotópica da UFC foi instalado, nos meados dos anos setenta, para participar das pesquisas da Missão Hidrogeológica Alemã junto à SUDENE. No âmbito destes trabalhos, foram feitas datações de C-14 e medidas de  $^{18}\text{O}$  em 14 amostras do aquífero **Serra Grande** a oeste de Picos, no sudeste do Piauí.

Colocando em gráfico  $\delta^{18}\text{O}$  em função da idade de C-14 (Figura 1) observa-se, a partir das idades menores, um “degrau” no  $\delta^{18}\text{O}$  mudando de aproximadamente - 3 ‰ para  $\approx$  - 6 ‰ para idades numa faixa de  $\approx$  8.000 anos a 36.000 anos; o primeiro valor representa chuvas atuais e o segundo não é do “mundo moderno”.



**Figura 1.**  $\delta^{18}\text{O}$  em função da idade da água subterrânea no aquífero Serra Grande na Bacia Maranhão- Piauí (Fonte: Frischkorn et al. 1984).

O valor mais baixo de  $\delta^{18}\text{O}$  tem explicação somente em uma temperatura atmosférica  $\approx 5^{\circ}\text{C}$  mais baixa na época da formação do recurso que a atual. Foi comprovada, assim, que na transição do Pleistoceno para o Holoceno (10.000 - 12.000 anos antes de hoje) a temperatura mudou nos trópicos pelo mesmo montante que foi observado em latitudes maiores. Esta descoberta foi confirmada também por medidas de gases nobres dissolvidos nas amostras (Figura 2, Frischkorn et al. 1984). Apesar disto, esta descoberta enfrentou descrença e provocou uma repetição das experiências - com o mesmo resultado (Stute et al. 1995).



**Figura 2.** Temperatura do solo na época da infiltração, determinada através da concentração de gases nobres na água, em função da idade de C-14 da amostra (Fonte: Geyh et al. 1991).

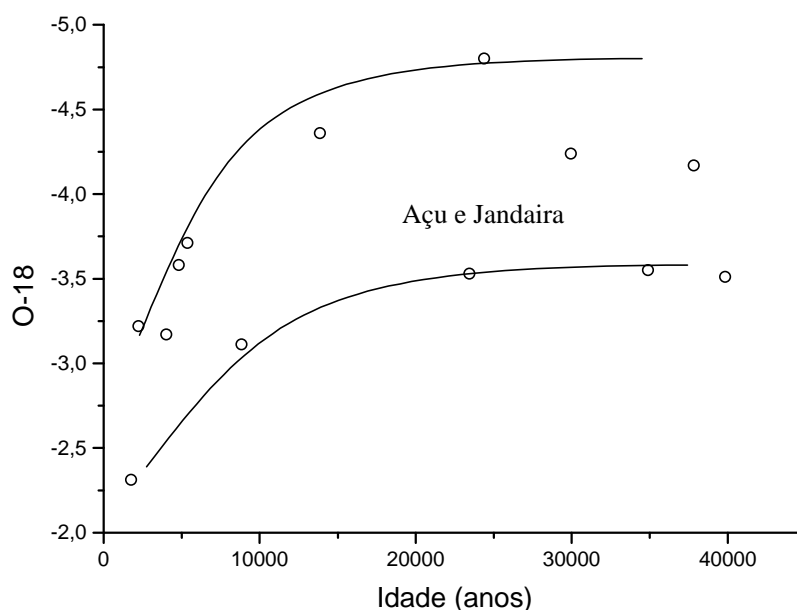
Identificamos, então, no contexto deste trabalho, como “paleo-águas”, aquelas que, através de uma idade maior do que 10.000 anos e/ou um valor de  $\delta^{18}O$  significativamente mais negativo que o da chuva local atual, revelam sua origem pleistocênica, associada a um clima diferente do atual.

Observações paleo-botânicas e sedimentológicas mostram que o aumento de temperatura foi acompanhado pela redução da pluviosidade, o que, entre outros, extinguiu os grandes mamíferos herbívoros dos quais o mais conhecido é a preguiça gigante – *Eremotherio Laurillardii*, com mais que 4m.

Para as águas no aquífero Serra Grande tiramos desses resultados a conclusão que foram formadas em um regime climático diferente do atual, com temperatura mais baixa e pluviosidade mais alta (e vegetação certamente diferente da atual). No clima atual, uma recarga à altura da exploração é altamente improvável.

O aquífero **Açu** da Bacia Potiguar aflora em uma faixa de largura  $\approx 10$  km a uma distância de  $\approx 60$  km da costa, em torno do paralelo  $5^{\circ} 30'$ . Mergulha suavemente para o

norte sendo superposto pelos calcários da formação Jandaíra. No caminho para o mar, a água adquire idades que superam o limite da datação com C-14 de  $\approx 40.000$  anos. Em grandes partes da área confinada havia condições de jorro, notadamente na região de Mossoró. Porém, a pressão sucumbiu rapidamente à exploração excessiva e o jorro cessou.



**Figura 3.**  $\delta^{18}\text{O}$  em função da idade de C-14 (sem correção) da água subterrânea no aquífero Açú na Bacia Potiguar – Rio Grande do Norte (Fonte: Frischkorn et al. 1988).

Atualmente, o nível de rebaixamento é da ordem de 1 metro por ano. A figura 3 apresenta um gráfico de  $\delta^{18}\text{O}$  versus idade. Vê-se que, diferente da figura 1, para o Serra Grande, os valores se espalham em um “céu estrelado”, sem identificação clara da mudança climática.

Esta feição é imposta por uma interação forte do aquífero Açú com os calcários do Jandaíra. Porém, a presença de paleoáguas com  $\delta^{18}\text{O}$  mais baixo que das chuvas atuais é evidente. Como valores de  $\delta$  misturam linearmente, o valor de uma mistura é o valor médio ponderado dos componentes.

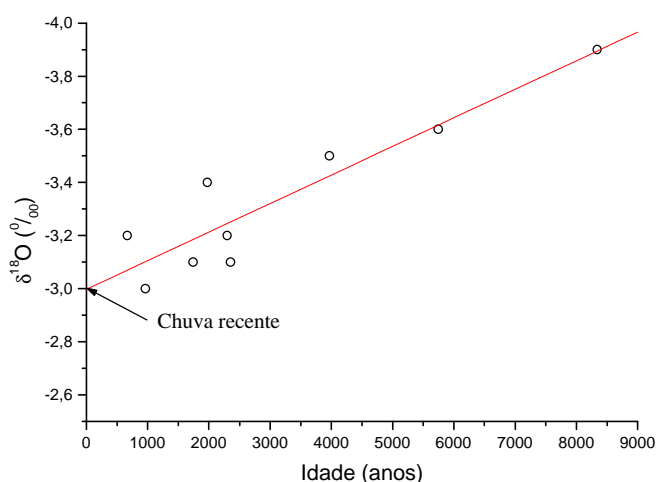
Por exemplo,  $\delta^{18}\text{O} \approx -3,5\text{‰}$  em água mais velha que 10.000 anos (sem correção) é explicável por uma mistura de 17% de uma água muito velha com  $-6\text{‰}$  (proveniente

dos arenitos do Açú) com 83 % de água mais nova que 10.000 anos com  $\delta^{18}\text{O} = -3\text{‰}$ , porém proveniente dos calcários da formação Jandaíra (que contém uma elevada percentagem de “carbono inorgânico”, diminuindo a atividade específica do C-14 e aumentando, falsamente, a idade por até 5730 anos).

A exploração do aquífero Açú e a redução crescente da pressão promove ainda mais a mistura com água do Jandaíra.

A presença de paleoáguas exploráveis é condicionada à existência de um fluxo regional em um aquífero sedimentar de grande extensão, com gradiente hidráulico pequeno, da ordem de ‰, que resulta em velocidade de fluxo de alguns metros por ano.

A **Bacia do Cariri** constitui uma lente sedimentar encravada no contexto do embasamento cristalino. Consiste de um plateau de 7500 km<sup>2</sup>, a Chapada do Araripe, e de um vale, o Vale do Cariri, na falésia norte deste. O eixo leste/oeste do Vale marca as áreas principais de descarga, por drenância vertical ascendente, dos fluxos regionais da Chapada para o Vale e da borda norte para o centro. Porém, feições tectônicas fortes seccionam e fracionam estes fluxos causando mistura de águas de vários aquíferos. Nem por isso, a presença de paleoáguas é detectável pelos componentes que se “lembram” do clima passado através do oxigênio-18 bem mais baixo que das chuvas atuais, como se vê da figura 3 para 9 poços que exploram o aquífero Missão Velha, o aquífero médio do Vale.



**Figura 4.**  $\delta^{18}\text{O}$  em função da idade (não corrigida) da água subterrânea no aquífero Missão Velha na Bacia do Cariri – Ceará (Fonte: Santiago et al. 1997).

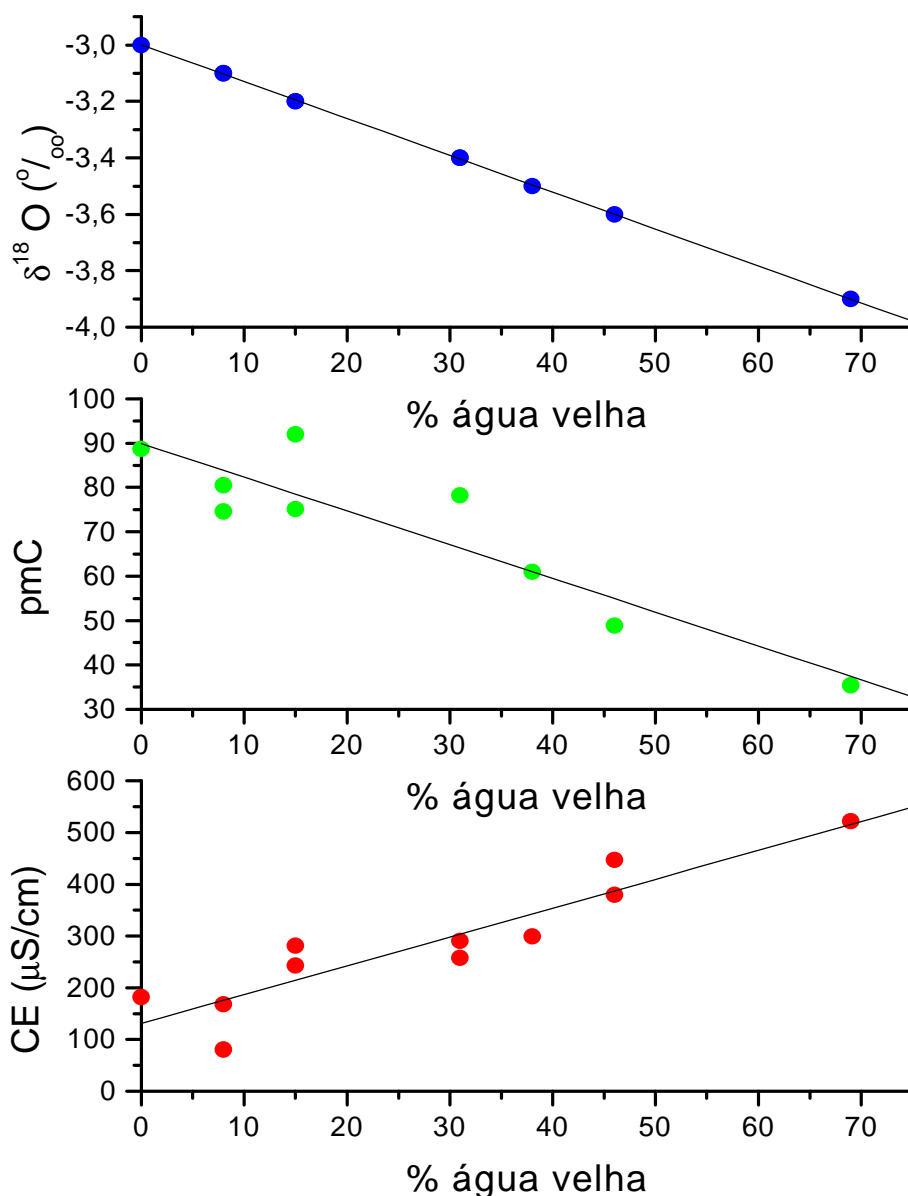
A cidade de Juazeiro do Norte dispõe, para abastecimento público, de um conjunto de 17 poços dispostos em duas baterias, a do Riacho Seco com 7 e a do Riacho dos Macacos com 10 poços. A vazão, com bombeamento de 24 horas por dia, é perto dos 6500 m<sup>3</sup> diários e provoca em anos de seca rebaixamentos de dezenas de metros. Em consequência, provoca uma drenança vertical ascendente de águas contendo paleo-componentes do aquífero médio Missão Velha para o aquífero superior (Mendonça 1996)

Foram analisados  $\delta^{18}\text{O}$ ,  $^{14}\text{C}$  e CE (condutividade elétrica) em poços da bateria do Riacho dos Macacos. Os valores em relação a todos os três parâmetros são satisfatoriamente representados por mistura de dois componentes: o primeiro de águas jovens (pmC = 90<sup>\*1</sup>), derivadas de chuvas atuais ( $\delta^{18}\text{O} = -3\text{‰}$ ) e baixa salinidade (CE = 150  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) e o segundo, representando águas velhas (pmC = 10), O-18 mais negativo ( $\delta^{18}\text{O} = -4,3\text{‰}$ ) e maior salinidade (CE = 650  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ). As retas de mistura para  $\delta^{18}\text{O}$ , pmC e CE estão mostradas na figura 5. Em anos de seca a presença de paleoáguas no aquífero superior do vale deve aumentar devido a carga reduzida nele.

---

<sup>1</sup> pmC: percentagem de carbono moderno, onde pmC = 100 representa a atividade específica do CO<sub>2</sub> da atmosfera de 1950





**Figura 5.** Variação em  $\delta^{18}\text{O}$ , pmC e condutividade elétrica nos poços da bateria de Juazeiro do Norte, em função da percentagem de água velha (Fonte: Mendonça 1996).

## CONCLUSÕES

Em bacias sedimentares do Nordeste são encontradas paleoáguas que têm origem no final do Pleistoceno, quando a temperatura era mais baixa por  $5^{\circ}\text{C}$  e a pluviosidade mais elevada. Uma recarga, no regime climático atual, à altura da exploração, não é provável. O recurso tem que ser considerado como não renovável, comparável a um minério. A exploração acontece incontroladamente, de modo não sustentável, em regime

de exaustão, onde deveria ser feita com a máxima racionalidade, com controle da vazão e do uso.

## **AGRADECIMENTOS**

Os autores agradecem às agências de financiamento à pesquisa CNPq, FINEP, FUNCAP e BNB que permitiram o desenvolvimento destas pesquisas.

## **REFERÊNCIAS**

- CLARK, I. E FRITZ, P. Environmental Isotopes in Hydrogeology, Lewis Publishers, New York, 1997.
- FRISCHKORN, H.; TORQUATO, J.R.; SANTIAGO, M.F. Medidas isotópicas em aquíferos profundos na região centro – leste do Paiuí. Anais do 3<sup>o</sup> Congr. Bras. Ág. Subt., Fortaleza, 42-51, 1984.
- FRISCHKORN, H., SANTIAGO, M.F. e TORQUATO, J.R. Dados isotópicos e hidroquímicos da porção oriental da Bacia Potiguar. Anais do 5<sup>o</sup> Congr. Bras. Ág. Subt., São Paulo, 09/88 p. 144-153, 1988.
- GEYH, M.A., STUTE, M.; FRISCHKORN, H.; SANTIAGO, M.M.F. Contribuição para a história climática do nordeste do Brasil. 20 anos de Cooperação Científica Tecnológica Brasil - República Federal da Alemanha – Ed. KFA,159-165, 1991.
- MENDONÇA, L. A. R. Modelagem matemática, química e isotópica de uma bateria de poços na cidade de Juazeiro do Norte / Ceará. Dissertação de Mestrado, Recursos Hídricos- UFC, Fortaleza, 122 p. 1996.
- SANTIAGO, M.F.; SILVA, C. M. S.; MENDES FILHO, J. and FRISCHKORN, H. Characterization of groundwater in the Cariri (Ceará/Brazil) by environmental isotopes and electric conductivity. Radiocarbon , 39(1):49 – 60, 1997.
- STUTE, M.; FORSTER, M., FRISCHKORN, H., SEREJO, A., CLARK, J.F.; SCHLOSSER, P.; BROECKER, W.S. E BONANO, G. Cooling of Tropical Brazil (5°C) During the Last Glacial Maximum. Science, v. 269, 379-383, 1995.