

# RECURSOS HÍDRICOS SUBTERRÂNEOS EM PENAFORTE –CE - UMA SOLUÇÃO PARA O ABASTECIMENTO D'ÁGUA –

**Antônio Ferreira Neto<sup>1</sup>; Luilson Tarcisio Leal e Sá<sup>1</sup>; Osvaldo Pereira Sobrinho<sup>1</sup> & José Murilo Pontes Santos<sup>1</sup>.**

**Resumo** - Com a realização do trabalho aqui apresentado pretendeu-se levantar e quantificar a potencialidade e disponibilidade hídrica do Município de Penaforte-CE. Geologicamente, o município é formado por três tipos litológicos distintos: terrenos de rochas sedimentares, terrenos aluvionares, que é formado por sedimentos inconsolidados, e terrenos cristalinos. Destes, os terrenos aluvionares, caracterizados como aquífero livre, e em especial, os terrenos de rochas sedimentares, caracterizados como aquífero livre a confinado, constituem-se no principal manancial hídrico do município, com uma exploração da ordem de  $Q = 306.617 \text{ m}^3/\text{ano}$ , que equivale, apenas, a cerca de 10,26 % da recarga (potencialidade) do aquífero, que era de  $Q = 2.988.838 \text{ m}^3/\text{ano}$  (1998). Dos 156 poços cadastrados e analisados, 152 poços (65 tubulares e 87 amazonas) estão nos terrenos de rochas sedimentares / terrenos aluvionares, que são responsáveis por uma disponibilidade instalada de  $Q = 3.191.317 \text{ m}^3/\text{ano}$  (98,67 % do total do município) e uma exploração de  $Q = 306.617 \text{ m}^3/\text{ano}$  (100 % do total), ou seja, o aproveitamento do manancial hídrico subterrâneo do Município de Penaforte ainda está muito aquém de sua potencialidade.

**Palavras-chave** - Penaforte, hidrogeologia, potencial hídrico.

## INTRODUÇÃO

O Município de Penaforte-CE está localizado na região do Araripe, sul do Ceará – região do semi-árido do nordeste do Brasil, fazendo divisa com o Estado de Pernambuco – Municípios de S. J. do Belmonte, Verdejante, Salgueiro e Cedro, os quais pertencem as

Bacias Hidrográficas do Pajeú e de Terra Nova. Sua área com 213 km<sup>2</sup>, tem 179 km<sup>2</sup> (84%) de sedimento/aluvião e 34 km<sup>2</sup> (16%) de cristalino.

## **GEOLOGIA / TIPOS DE AQÜÍFEROS**

Têm-se no município de Penaforte-CE a representação de três terrenos litológicos distintos, aos quais estariam relacionados os seguintes tipos de aquíferos:

- Terrenos de rochas sedimentares – aquífero livre a confinado
- Terrenos aluvionares (sedimentos inconsolidados) – aquífero livre
- Terrenos cristalinos – aquífero fissural

## **TERRENOS DE ROCHAS SEDIMENTARES**

A princípio desconhece-se qualquer estudo realizado especificamente para o sedimento de Penaforte-CE, exceto os que foram realizados para a bacia sedimentar do Araripe, fazendo assim, algumas referências sobre a parte que está localizada neste município. O sedimento no Município de Penaforte-CE é uma extensão da Bacia Sedimentar do Araripe e das Bacias do Cedro-PE e de S. J. do Belmonte-PE. Com a primeira e com e com a segunda as ligações são diretas, sem separação por afloramentos cristalinos; com a terceira existe apenas uma faixa estreita de cristalino fazendo a separação entre os sedimentos dos dois municípios.

O Estudo Geral de Base do Vale do Jaguaribe (GVJ) realizado pela SUDENE (1964), aponta duas formações sedimentares dentro do município de Penaforte-CE: Missão Velha (Ja2) e Mauriti (Pja). Por outro lado, o Inventário Hidrogeológico Básico do Nordeste, também realizado pela SUDENE (1971), mostra duas formações: Brejo Santo (JBV) e Mauriti (SM (St)). Segundo Costa (1998), informação extra-oficial, o sedimento do Município de Penaforte é da Formação Mauriti, que é correlata à Formação Tacaratu da Bacia Sedimentar de S. J. do Belmonte-PE. Estas duas formações, também segundo alguns pesquisadores, possuem a mesma litologia, que estende-se por outras bacias, sobretudo no Estado de Pernambuco. Já a SRH-CE (1996) informa que parte da Formação Mauriti está mergulhada sob uma camada argilosa da Formação Missão Velha. Porém, a SECTMA (1998), através do Plano Estadual de Recursos Hídricos do Estado de Pernambuco (PERH-PE), Estudos Hidrogeológicos -- Bacia Sedimentar do Cedro, afirma que a camada argilosa a qual a SRH-CE se refere é da formação Brejo Santo. Já o estudo realizado pelo Departamento Nacional de Produção Mineral – DNPM (1996),

---

<sup>1</sup> Secretaria de Recursos Hídricos - Pernambuco, CEP - 52.061 - 070 Recife-PE, FONE/FAX: 441.56.36/441.75.25

Intitulado: Projeto de Avaliação Hidrogeológica da Bacia Sedimentar do Araripe, incluiu a formação Mauriti e faz as seguintes afirmações sobre a mesma:

- “Trata-se da formação mais antiga da Bacia do Araripe”;
- “Constitui-se assim uma ampla cobertura sedimentar sobre a Província da Borborema e da Bacia do Parnaíba. Sobre a primeira, são encontrados vários testemunhos como sejam, nas Bacias do Araripe, Cedro e Barro (Formação Mauriti); nas Bacias do Jatobá e Mirandiba e nos remanescentes sedimentos presentes em São José de Belmonte, Tupanaci, Betânia e Afogados da Ingazeira, no Estado de Pernambuco (Formação Tacaratu)”;
- “Litologicamente é constituída por uma seqüência monótona de arenitos claros, quartzozos e/ou feldspáticos de granulometria média a grosseira, com grãos sub-angulosos e mal selecionados. Geralmente são silificados, principalmente em áreas próximas às falhas e no topo da unidade. O grau de litificação é um importante limitador da capacidade de acumulação de água subterrânea nesta unidade, sendo esta a razão pela qual é encontrada, sobretudo relacionado às fraturas, um comportamento semelhante ao embasamento pré-cambriano, ou seja, de um aquífero fissural. Quando friáveis, mostram-se com boa permo-porosidade”
- Trata-se de uma unidade arenítica afossilífera, datada provavelmente do Siluro-Devoniano, constituindo um pacote com espessura variável entre 10 e 50 metros, sobreposto e sotoposto, discordantemente, respectivamente, ao Embasamento Precambriano e à Formação Brejo Santo (Jurássico Superior).

Nas fichas técnicas dos poços profundos perfurados no sedimento do Município de Penaforte-CE, constam ser esta unidade sedimentar da Formação Mauriti, embora, não apresentem as litologias dos perfis, que permitiriam assim se fazer uma correlação com a dos outros municípios - Cedro, Brejo Santo, S. J. do Belmonte, etc.

Quanto às vazões, até mesmo as dos poços profundos podem ser consideradas baixas, atingindo no máximo 20m<sup>3</sup>/h. Sobre este aspecto, faremos referência específica no item relacionado a poços. Não existe nenhuma fonte natural d'água dentro do Município de Penaforte-CE. A primeira fonte natural decorrente das águas subterrâneas do município ocorre no sítio S. Francisco, a 13km de distância da nascente do riacho Penaforte, já no Município de Jati, na confluência do riacho Penaforte com o riacho Santo André, seu principal afluente. A partir deste ponto surgem vários “poços

naturais”(minadouros) na calha do Riacho Penaforte até a confluência com o riacho dos Porcos e a partir daí continua a surgência na calha do riacho principal. Segundo os moradores ribeirinhos, estes poços mesmo nos anos de secas severas nunca secaram e atendem a toda a demanda para pecuária ao longo do estirão do riacho. Nos anos de invernos após o período chuvoso, janeiro - abril, estes poços continuam alimentando a calha do riacho até o mês de agosto, quando corta a correnteza, porém permanecem “vivos”.

Existem algumas áreas no Município de Penaforte-CE em que tem se detectado artesianismo, porém, nenhum poço perfurado até o momento chegou a jorrar.

### **CARACTERÍSTICAS DIMENSIONAIS**

A área de sedimento é de  $179 \text{ km}^2$  (84%), enquanto que a do cristalino perfaz  $34 \text{ km}^2$  (16%). Para o cálculo do volume de sedimento, vamos adotar uma espessura média de 66m (DNPM, 1996), então,  $V = 179 \times 10^6 \text{ m}^2 \times 66 \text{ m} = 1,18 \times 10^{10} \text{ m}^3$ . Para o cálculo do volume saturado, adotamos uma espessura saturada da ordem de 40m e uma redução na área de 15%, devido a possíveis problemas de descontinuidade que comprometam a acumulação das reservas, assim temos o seguinte volume saturado  $V_S = 0,85 \times 179 \times 10^6 \text{ m}^2 \times 40 \text{ m} = 6,09 \times 10^9 \text{ m}^3$ .

### **ALIMENTAÇÃO E CIRCULAÇÃO**

A princípio, faz-se necessário algumas considerações sobre a alimentação destes aquíferos, que foram abordadas nos estudos realizados para as Formações Mauriti e Tacaratu da região:

- No Plano Diretor do Vale do Pajeú-PE, realizado pela TECNOSAN para o DNOCS(1981), foi adotada uma taxa de infiltração de 0,22% da precipitação para as bacias sedimentares de Mirandiba e de S. J. do Belmonte, vizinhas do município de Penaforte. Como a precipitação nestas bacias é de 644mm, então a alimentação é de 1,42 mm. Este valor parece ser muito baixo para sedimento, embora diga este estudo ser o mesmo silificado, funcionando assim como um aquífero fissural.

- A SECTMA (1998), PERH-PE – Estudos Hidrogeológicos, adotou para as Bacias Sedimentares de S. J. do Belmonte e do Cedro –PE, também vizinha de Penaforte, uma taxa de infiltração da ordem de 3% da precipitação, o que corresponde a uma lâmina da ordem de 20 mm.

- A SRH-CE (1996) estimou para o aquífero da Formação Mauriti uma taxa de infiltração de 0,51% da precipitação. Adotando-se para Penaforte-CE uma precipitação da ordem de 635 mm, então a lâmina infiltrada será de 3,24 mm.

Através de estudo realizado pelo DNPM (1996) para bacia sedimentar do Araripe, calculou-se, através da vazão de escoamento, as seguintes taxas de infiltração para Formação Mauriti: Região Juazeiro - Missão Velha, 4,7%, e região Milagres - Mauriti, 0,98%, dando uma taxa de infiltração média da ordem de 1,9%. Como no Município de Penaforte-CE, onde ocorre o confinamento, e conseqüentemente artesianismo, está coberto por solos argilosos - Vertissolo e Bruno Não Cálcico, e outra parte do sedimento tem como solo de superfície areia quartzosa, ficando a favor da segurança vamos adotar a taxa de 2,00%, o que representa uma lâmina infiltrada da ordem de 13 mm. Logo, o volume médio infiltrado da precipitação será da ordem de  $V = 179 \times 10^6 \text{ m}^2 \times 0,013 = 2.273.300 \text{ m}^3/\text{ano}$ . Porém, podemos considerar mais duas fontes alimentadoras para este aquífero: a drenagem da área de cristalino e a outra da açudagem existente no município, 171 açudes – (Ferreira Neto, 1998). Admitindo que no embasamento cristalino o escoamento seja da ordem de 25% da precipitação e que a infiltração seja de 2% desta lâmina, então temos a seguinte recarga:  $V = 34 \times 10^6 \text{ m}^2 \times 0,25 \times 0,635 \text{ m} \times 0,02 = 108.000 \text{ m}^3/\text{ano}$ . A terceira fonte de alimentação é devido a açudagem que existe no município, 171 barramentos. A maioria destes açudes tem suas fundações em cima de sedimentos, o que vai permitir de certa forma uma infiltração no subsolo. De acordo com estudos da SUDENE (Série Hidrologia/25, 1988), a pequena açudagem do Semi-Árido perde por infiltração em média 23% do rebaixamento do nível d'água. Vamos adotar uma infiltração de 21% da capacidade de armazenamento dos 171 açudes, que é estimada em  $2.889.229 \text{ m}^3$  (Ferreira Neto, 1998). Logo, o volume infiltrado será,  $V = 2.889.229 \times 0,21 = 606.738 \text{ m}^3/\text{ano}$ . Então o volume total de infiltração para este aquífero será a soma dos três acima citados.  $V = 2.273.300 + 108.000 + 606.738 = 2.988.838 \text{ m}^3/\text{ano}$  (1998), que corresponde a uma lâmina infiltrada de aproximadamente 17 mm – 2,64% da precipitação, um pouco maior do que a média 1,9% encontrada para este aquífero, pelo DNPM (1996). Em termos de percentuais a repartição da alimentação é a seguinte: infiltração devido a precipitação – 75,09%; infiltração da drenagem superficial da área do cristalino – 3,61%; e infiltração devido à açudagem – 20,30%.

## EXUTÓRIOS

Três podem ser os tipos de exutórios para este aquífero. O primeiro é o escoamento natural que surge através dos poços naturais na calha do riacho Penaforte, iniciando na

divisa deste município com o Município de Jati (Sítio S. Francisco). No entanto, o escoamento neste ponto não se mostra permanente, tendo duração de apenas 120 dias, nos anos normais de inverno. Porém, poderá haver um escoamento subterrâneo através do aluvião e/ou fratura no cristalino, com surgência na calha do riacho dos porcos. O segundo exutório caracteriza-se pela evapotranspiração, uma vez que o lençol freático se torna cada vez mais raso a medida que se desloca para jusante. O terceiro exutório é a própria exploração que se faz através dos poços Amazonas (66) e profundos (56), 122 ao todo. Podemos ainda supor um quarto exutório, o escoamento através de fratura no cristalino e/ou no sedimento silicificado, ou mesmo através da massa sedimentar não silicificada, que drenaria para outras áreas fora do município, devido a diferença de linhas piezométricas, causadas por um maior rebaixamento nestas áreas.

### **RECARGA (RESERVAS EXPLOTÁVEIS = POTENCIALIDADE)**

precipitações A recarga ou reservas explotáveis é representada pela alimentação devido às

(2.273.300 m<sup>3</sup>/ano, 260 m<sup>3</sup>/h – 72 l/seg.), às infiltrações provenientes do escoamento superficial da área do cristalino (108.000 m<sup>3</sup>/ano, 12,3 m<sup>3</sup>/h - 3,4 l/seg.), e às infiltrações procedentes dos mananciais de superfície (606.738 m<sup>3</sup>/ano, 69 m<sup>3</sup>/h – 19 l/seg.), que juntas perfazem assim um volume total de **R<sub>exp</sub> = 2.988.838 m<sup>3</sup>/ano**, 341 m<sup>3</sup>/h - 95 l/seg. Uma quarta fonte poderá ser citada, mas sem condições de ser quantificada, é o lançamento, a céu aberto, de esgotos domésticos da zona urbana. E uma quinta fonte, também sem condições de ser quantificada é o aluvião do riacho Jardim, que chega a cortar o sedimento de Penaforte, na parte de jusante.

### **RECESSÃO OU FLUXO DE BASE**

A recessão ou fluxo de base, atualmente, é representada pela recarga ou infiltração total menos o volume captado, através dos poços em operação. O volume, atualmente, explotado corresponde ao abastecimento da zona urbana (175.200 m<sup>3</sup>/ano, 20 m<sup>3</sup>/h -- 5,60 l/seg.); a parcela que é destinada ao abastecimento de parte da população rural, 1.621 hab. (41.417 m<sup>3</sup>/ano, 4,72 m<sup>3</sup>/h – 1,31 l/seg.); e a quota que é destinada para irrigação, 15 ha x 8.000 m<sup>3</sup>/ha.ano (dados estimados) = 90.000 m<sup>3</sup>/ano, 10,27 m<sup>3</sup>/h – 2,85 l/seg. Assim sendo, a exploração atual é da ordem de 306.617 m<sup>3</sup>/ano – 35 m<sup>3</sup>/h (10 l/seg.), ou seja, 10,26% da recarga total. Portanto, temos para o fluxo de base, que ocorre, devido a restituição das águas subterrâneas em superfície - na calha do riacho, e em subsuperfície, no aluvião, um valor da seguinte ordem: VEN = 2.988.838 – 306.617 =

2.682.221 m<sup>3</sup>/ano, 306 m<sup>3</sup>/h - 85 l/seg.. Este balanço foi considerado para um ano normal de inverno, tendo em vista que nestes anos a pecuária se abastece dos pequenos açudes. Nos anos secos toda a população e a pecuária passam a ser abastecidas por poços.

## **DISPONIBILIDADE INSTALADA (PERMISSÍVEL) DOS POÇOS**

Esta disponibilidade é considerada como o volume d'água captado anualmente por todos os poços, adotando-se a vazão máxima permissível de cada poço e em regime de 24/24h. Este volume corresponde a 3.234.485 (369 x 24 x 365) m<sup>3</sup>/ano – 369 m<sup>3</sup>/h (103 l/seg.), ou seja 108% do potencial estimado (2.988.838 m<sup>3</sup>/ano (1998), 341 m<sup>3</sup>/h – 95 l/seg.).

## **RESERVAS PERMANENTES**

As reservas permanentes são calculadas considerando as condições do aquífero, se livre ou confinado. A parte confinada é considerada como aquela que está sobre pressão. Então temos que calcular o volume devido ao coeficiente de armazenamento, e o referente a porosidade efetiva para a mesma área. Para todo o aquífero foi adotada uma redução de 15% em sua área, isto devido a problemas de continuidade de armazenamento, preservando-se assim a segurança. A parte confinada foi considerada em 50% da área, região que está coberta pelo menos superficialmente por Vertissolo e por solo Bruno Não Cálxico, decorrentes de argila da Formação Missão Velha (SRH-CE, 1996), ou Formação Brejo Santo (SECTMA, 1998 – PERH-PE).

Os valores do coeficiente de armazenamento e da porosidade efetiva destes aquíferos – Formação Mauriti e Formação Tacaratu, merecem alguns comentários à luz dos estudos realizados para estas duas unidades localizadas na região:

- No Plano Diretor do Vale do Pajeú-PE, realizado pela TECNOSSAN para o DNOCS(1981), foi considerado para o sedimento silicificado da Formação Tacaratu, bacia sedimentar de S. J. do Belmonte, um coeficiente de armazenamento igual a  $1,57 \times 10^{-4}$  ;
- A SRH-CE (1996) adotou para a Formação Mauriti (Bacia Sedimentar do Araripe) uma porosidade efetiva de 0,5%, e espessura média saturada de 50 m. Não fez referência ao coeficiente de armazenamento devido ao confinamento;
- A SECTMA (1998) – PERH-PE, adotou para Bacia Sedimentar do Cedro, respectivamente, 2,00% e  $10^{-5}$  para a porosidade efetiva e coeficiente de armazenamento; e

- No estudo realizado pelo DNPM (1996) para a Bacia Sedimentar do Araripe, o qual incluiu a Formação Mauriti, apesar da falta de dados a respeito do coeficiente de armazenamento e da porosidade efetiva para esta unidade, foram estimados, respectivamente, os seguintes valores para estes parâmetros:  $10^{-5}$  e 2,00%.

Sendo assim, a nível deste trabalho, adotaremos os seguintes valores, para os parâmetros que fazem parte do cálculo das reservas permanentes:

- Área estudada = 179 km<sup>2</sup>
- Coeficiente de correção para área = 0,85
- Espessura média do aquífero (DNPM – 1996) = 66 m
- Espessura saturada = 40 m
- Área sob confinamento = 50% da área total (estimado)
- Coeficiente de armazenamento:  $10^{-5}$
- Porosidade efetiva: 2,00%

Cálculo das Reservas Permanentes:

a) Aquífero confinado:

$$R_{Pc1} = 0,85 \times 0,50 \times 179.000.000 \times 40 \times 0,00001 = 30.430 \text{ m}^3 \text{ (devido ao confinamento)} \quad (1)$$

$$R_{Pc2} = 0,85 \times 0,50 \times 179.000.000 \times 40 \times 0,02 = 60.860.000 \text{ m}^3 \text{ (devido a porosidade efetiva)} \quad (2)$$

$$R_{Pc} = R_{Pc1} + R_{Pc2} = 30.430 + 60.860.000 = 60.890.430 \text{ m}^3 \quad (3)$$

b) Aquífero Livre:

$$R_{Pl} = 0,85 \times 0,50 \times 179.000.000 \times 40 \times 0,02 = 60.860.000 \text{ m}^3 \quad (4)$$

Aquífero Total:

$$R_p = R_{Pc} + R_{Pl} = 60.890.430 + 60.860.000 = \mathbf{121.750.430 \text{ m}^3} \quad (5)$$

## QUALIDADE DAS ÁGUAS

As águas subterrâneas do sedimento e/ou do aluvião no Município de Penaforte-CE, prestam-se muito bem para o consumo humano. Embora, seja muito limitada a quantidade de análises destas águas, as mesmas são aceitáveis ao paladar, sem nenhuma rejeição por parte do consumidor. Todos os poços perfurados no sedimento, incluindo-se aí os aluviões, apresentam água de boa qualidade para o consumo humano e para outras finalidades. O estudo realizado pelo DNPM (1996) para Bacia do Araripe, apresentou três análises d'água de poços do Município de Penaforte-CE. O resíduo seco

destas amostras tem média de 291,33 mg/l. Desta forma, as águas apresentam-se com excelente qualidade química para consumo humano. O resíduo seco está muito abaixo do limite máximo de potabilidade que é de 1000 mg/l. Na parte bacteriológica, entretanto, não se tem maiores conhecimentos, devida a falta de informações ou de análises que já tenham sido realizadas neste sentido. Sabemos, apenas, que muitos dos poços Amazonas não têm proteção, tampa contra o acesso de animais - répteis, batráquios etc.

## POÇOS

Existem 156 (cento e cinquenta seis) poços no Município de Penaforte, destes 131 (83,98%) estão situados nos sedimentos das formações Mauriti e Tacaratu; 21 (13,46%) no aluvião; e 4 (2,96%) no cristalino. Os poços profundos são 69 (44%) e os Amazonas 87 (56%). Apenas 4 poços profundos estão no cristalino.

A perfuração destes poços no município começou com o tipo Amazonas, sobretudo nos anos de secas. Nestes últimos 20 (vinte) anos a perfuração ocorreu com poços profundos, tanto no âmbito do poder público com por parte dos particulares. Isto tem como justificativa: maior facilidade de aluguel de perfuratriz, na região; obtenção de maiores vazões; preservação do ponto de vista microbiológico (bacteriológico); e a expansão da eletrificação rural, permitindo a instalação de eletrobomba, sendo assim compensador fazer o investimento. Pelas mesmas razões foi incrementado o abastecimento d'água para consumo humano, dos poços profundos. A disponibilidade virtual "instalada" destes poços, vazão máxima permissível por cada poço e em regime de bombeamento de 24/24h, é de 3.234.485 m<sup>3</sup>/ano – 108% da potencialidade (recarga) estimada, **2.988.838 m<sup>3</sup>/ano (1998)** – 341 m<sup>3</sup>/h (95 l/seg.). Esta disponibilidade é de 1,47 vezes a demanda total do ano 2020, estimada em 2.206.502 m<sup>3</sup>.

Ressaltamos que, conforme pesquisa realizada especificamente para este trabalho, todos os poços, com exceção daqueles que estão desativados e/ou situados no cristalino, tem utilização no abastecimento humano, bem como, no atendimento da pecuária em anos secos. Na irrigação a utilização é da ordem de 22,44% - 35 (trinta e cinco) poços, sendo todos profundos. Toda a população urbana é abastecida por água subterrânea, bem como 61% da população rural. A disponibilidade virtual per capita média em 1998 era da ordem de 1.148 l/hab.dia (419 m<sup>3</sup>/hab.ano). É evidente que esta disponibilidade era para todos os tipos de demandas. Um outro dado que chama atenção é que quase a totalidade dos poços Amazonas não tem instalação de bomba, enquanto que os poços profundos são instalados com eletrobombas.

O DNPM (1996) analisando os parâmetros técnicos de 28 (vinte e oito) poços no município de Penaforte chegou aos seguintes resultados, em 28 poços a profundidade média é de 86 m; em 23 o nível estático é de 22,80 m; em 18 o nível dinâmico é de 46,10 m; em 26 a vazão é de 3,7 m<sup>3</sup>/h; e em 18 a vazão específica é de 0,25 m<sup>3</sup>/h.m. Então como pode ser observado, a produtividade média destes poços é bastante baixa, isto significa dizer que o aquífero sedimentar em Penaforte não oferece boas vazões, com raras exceções, como é o caso dos dois poços localizados no Sítio Retiro, que abastecem a cidade – 20 m<sup>3</sup>/h e 10 m<sup>3</sup>/h.

Analisando algumas características técnicas dos poços Amazonas chegamos ao seguinte resultado: a profundidade média é de 12,58 m, a máxima de 29,80 m e a mínima de 3,60 m. O nível estático tem profundidade média de 8,25 m, a máxima de 25,80 m e a mínima de 2,00 m. Quanto à coluna d'água, que aqui é definida como profundidade menos nível estático, a sua profundidade média é de 5,12 m, a máxima de 19,10m.

## **FONTES POLUIDORAS**

No município de Penaforte, existem fontes poluidoras que poderão atacar as águas subterrâneas do sedimento, porém, para muita destas fontes, as condições poderão ser remotas, haja vista que o lençol freático está, em média, a 10m de profundidade nas várzeas. Dentre estas fontes, pode-se destacar as seguintes:

- Infiltração de esgoto bruto lançado a céu aberto;
- Fossas negras (secas ou com água);
- Percolação de chorume resultante de depósito de lixo;
- Infiltração de águas usadas na irrigação, contendo agrotóxicos – pesticidas e/ou fertilizantes;
- Resíduo de cemitério; e
- Infiltração de águas de currais.

Na realidade, estas fontes existem em potencial, porque a probabilidade de forma efetiva de uma contaminação do lençol freático talvez seja maior, apenas, por parte dos agrotóxicos, uma vez que estes podem ser carregados pelas próprias águas de irrigação. Acredita-se que as demais fontes, em tese, têm baixo poder de contaminação, pois, conforme já foi explicado, além do lençol freático ser considerado profundo, estas fontes são dispersas e algumas delas – esgoto urbano e cemitério, encontram-se nas bordas do pacote sedimentar, porém, à montante do fluxo subterrâneo natural.

## **TERRENOS ALUVIONARES**

As aluviões, depósitos sedimentares quarternários (inconsolidados) presentes ao longo do curso dos riachos, são muito limitados no Município de Penaforte-CE, chegando mesmo em campo a ser confundido com os solos sedimentares propriamente ditos. Isto deve-se ao fato da topografia deste município na área de sedimento/aluvião ser plana, apenas com ondulações suaves.

Sendo assim, tendo em vista a limitação desta unidade, bem como o fato de estar em sua maior parte sobreposta às rochas sedimentares propriamente ditas (arenitos das formações Mauriti e Tacaratu, e argilas/argillitos da Formação Brejo Santo), consideramos e incluímos as mesmos no âmbito das rochas sedimentares, quando da realização dos cálculos de suas características dimensionais, alimentação, recarga, exutórios, etc.

## **TERRENOS CRISTALINOS**

Este aquífero com uma área de 34 km<sup>2</sup> – 16% da área do município, é formado por rochas do Pré-cambriano, rochas ígneas e metamórficas quais sejam: quartzito, diorito, granodiorito, filitos, xistos verdes e quartzitos com intercalações de itabiritos. Este tipo de aquífero tem baixa capacidade de armazenamento, haja vista que o mesmo só ocorre em fraturas das rochas e em um pequeno percentual da área, 20% na Bacia do Vale do Jaguaribe (SRH-CE,1996). Desta forma as vazões dos poços neste aquífero são muito baixas. Além disso, geralmente, tem um alto teor salino. Porém, presta-se muito bem para o abastecimento da pecuária, sobretudo para o rebanho bovino. Os poços deste aquífero tem profundidade média de 60m. A partir desta profundidade a ocorrência de fraturas com água se torna mais remota, devido as pressões das cargas fecharem as fraturas.

## **CARACTERÍSTICAS DIMENSIONAIS**

Quanto ao volume de cristalino não se calcula, devido ter espessura “infinita” e as fraturas só ocorrerem em um pequeno percentual da área, além de nem sempre serem abertas e conectadas entre si, bem como com a fonte alimentadora. No PERH-CE, realizado pela SRH-CE (op. cit.), adotou-se uma metodologia para o cálculo do volume saturado de cristalino na Bacia do Vale do Jaguaribe, representado pela seguinte fórmula:

$$V_s = C.A.H \quad (6)$$

sendo:

- C – percentual da área fraturada, 20% para a Bacia do Jaguaribe
- A – área do cristalino, Penaforte – 34 km<sup>2</sup>
- H – altura média das fraturas - 1,8m (determinado por pesquisa)

Logo,

$$V_s = 0,20 \times 34.000.000 \times 1,8 = 12.240.000 \text{ m}^3 \quad (7)$$

## **ALIMENTAÇÃO E CIRCULAÇÃO**

O meio cristalino é caracterizado como um meio heterogêneo e anisotrópico, logo sua porosidade primária, intergranular, é muito diminuta ou praticamente inexistente. Desta forma a alimentação e circulação deste aquífero só ocorre nas fraturas, desde que elas sejam abertas, estejam conectadas entre si e interligadas a uma fonte alimentadora. Duas são as fontes alimentadoras: a primeira refere-se às águas infiltradas devido a precipitação, porém, quando a evaporação é muito intensa e não existe um manto de intemperismo a taxa de infiltração é muito reduzida, implicando assim, também, num baixo potencial hídrico. A segunda fonte alimentadora diz respeito aos cursos d'água superficiais nos pontos de congruência entre faturas e drenagem, bem como pelos leitos aluviais, funcionando os mesmos como aquíferos de transferência.

## **EXUTÓRIOS**

No caso específico do cristalino em Penaforte, podem ocorrer três tipos de exutórios: um artificial e dois naturais, estes últimos em face da área do cristalino estar situada como divisor d'água entre a Bacia do Jaguaribe-CE, e as Bacias do Pajeú e Terra Nova, em Pernambuco. O exutório artificial é a própria exploração d'água dos poços neste aquífero, ao passo que os naturais são a evapotranspiração e o aquífero sedimentar, que poderá receber a drenagem do cristalino a uma certa profundidade.

## **RECARGA = POTENCIALIDADE = VOLUME EXPLOTÁVEL**

Sendo o cristalino um meio heterogêneo e anisotrópico, não existe uma fórmula precisa para o cálculo da recarga. Em alguns estudos, os autores apresentaram estimativas para o cálculo da potencialidade – reservas renováveis. Dentre alguns destes métodos destacamos três:

- No Plano Diretor do Vale do Pajeú-PE (DNOCS, 1981) foi adotado uma taxa de infiltração de 0,11% da precipitação da bacia para este aquífero. Com uma precipitação

de 635 mm para Penaforte e sendo a área do cristalino de 34 km<sup>2</sup>, então o volume infiltrado será:

$$V = 0,0011 \times 0,635 \times 34.000.000 = 23.749 \text{ m}^3. \quad (8)$$

- Segundo Rebouças, citado por Vieira et al (1994) – Projeto Áridas, a taxa de infiltração para o cristalino no Semi-Árido nordestino do Brasil é da ordem de 100 a 500 m<sup>3</sup>/km<sup>2</sup>.ano. Vamos adotar para Penaforte uma taxa média de 300 m<sup>3</sup>/km<sup>2</sup>.ano, neste caso o volume infiltrado será:

$$V_i = 300 \times 34 = 10.200 \text{ m}^3 \quad (9)$$

- A SRH-CE (1996) utilizou um método de autoria de Siqueira (1967) para o cálculo das reservas renováveis no cristalino, porém, é dado como falho em vários pontos. A fórmula é a seguinte:

$$R_r = C.A.H.S \quad (10)$$

sendo:

- C – percentual da área estudada com fratura, 20% para a Bacia do Jaguaribe
- A – área total estudada, 34 km<sup>2</sup> para Penaforte
- H – altura das fraturas que circula água, 1,80m – resultado de pesquisa
- S – coeficiente de armazenamento,  $4 \times 10^{-3}$

Logo,

$$R_r = 0,20 \times 34.000.000 \times 1,8 \times 4 \cdot 10^{-3} = 48.960 \text{ m}^3/\text{ano} \quad (11)$$

Observamos que os valores estão muito distantes uns dos outros, no entanto, a taxa de infiltração adotada pelo Plano Diretor do Vale do Pajeú-PE aproxima-se da média dos três métodos, em razão disto adotamos este valor – 23.749 m<sup>3</sup>/ano.

## RESERVAS PERMANENTES

Sendo o cristalino um meio heterogêneo e anisotrópico como aquífero, e por falta de parâmetros hidrodinâmicos, não é possível estimar as reservas permanentes.

## DISPONIBILIDADE INSTALADA

A disponibilidade instalada neste aquífero é da ordem de 42.924 m<sup>3</sup>/ano, ou seja, maior do que a recarga (23.749 m<sup>3</sup>/ano), então, ou estão erradas as vazões dos poços ou o cálculo da recarga.

## QUALIDADE DAS ÁGUAS

As águas do cristalino no Semi-Árido do Nordeste do Brasil, em geral, apresentam alto teor de sais, sendo assim um dos limitadores para consumo humano. Penaforte também não foge a regra geral. Embora, não se tenha obtido análise físico-química ou mesmo bacteriológica referente às águas do cristalino. Dentre os fatores que causa a salinidade e/ou má qualidade destas águas, destacam-se: os externos – clima, troca de água com outros sistemas/poluição; internos – profundidade do nível estático, gradiente hidráulico, manto alteração, permeabilidade, circulação, comprimento do percurso, tempo de contato, interação água x rocha, hidratação, hidrólise, troca iônica, dissolução e precipitação. As águas do cristalino no Semi-Árido têm uso mais freqüente para abastecimento da pecuária, sobretudo para o rebanho bovino e caprino. Atualmente o uso de dessalinizador tem aumentado o consumo para o abastecimento humano.

## **POÇOS**

Neste aquífero, em Penaforte, só foram construídos 4 poços, todos pelo poder público. Apresentam vazão muito baixa, como é de praxe. Estão, no momento, todos desativados. Os motivos são os seguintes: primeiro, quando construídos, além de apresentarem vazão baixa e água com mau paladar – salgada, não foram instaladas bombas. Em segundo, existem na área do cristalino vários açudes que atendem as demandas em anos normais de invernos, sendo muitos deles preservados de fontes poluidoras.

Nesta unidade, as profundidades dos poços variam de 50 – 80 m, sendo comum a média de 60m. A partir desta profundidade são remotas as possibilidades de se encontrar fraturas com água, pois as pressões da carga existente fecham as mesmas. Quanto às vazões são de até  $Q = 2,00 \text{ m}^3/\text{h}$ , enquanto a capacidade específica vai de  $Q/S_w = 0,002$  a  $0,5 \text{ m}^3/\text{h.m}$ . Nível estático em torno de  $NE = 10 \text{ m}$  e nível dinâmico de  $ND = 30 \text{ m}$ .

## **FONTES POLUIDORAS**

Este aquífero pela sua posição geográfica no município e servindo de divisor d'água de bacias hidrográficas, tendo uma topografia elevada, está imune de fontes poluidoras – esgotamento sanitário urbano, agrotóxicos, etc., salvo no caso onde ocorrem as aluviões.

## **BALANÇO HÍDRICO**

Para o cálculo do balanço hídrico, foram calculados todos os tipos de demandas - humana, pecuária, indústria e irrigação, bem como as disponibilidades, com crescimento de 1% ao ano, e as potencialidades, levando-se em consideração o aumento de infiltração

devido a construção de mais açudes, tudo isto , para os três cenários - 2000/2010/2020. Em assim sendo, fez-se o confronto das demandas com as potencialidades e as disponibilidades instaladas das águas subterrâneas, conforme **Tabela 1** a seguir:

**Tabela 1:** Balanço Hídrico com Todos os Aquíferos

Ano	Hab.	VARIÁVEIS-CHAVES			ÍNDICES DE SUSTENTAB.			ÍNDICES PER CAPITA	
		POT. (m <sup>3</sup> /ano)	DISP. (m <sup>3</sup> /ano)	DEM. (m <sup>3</sup> /ano)	IAP	IUP	IUD	POT. (m <sup>3</sup> /hab.ano)	DISP. (m <sup>3</sup> /hab.ano)
2000	6 527	3 023 982	3 234 485	1 328 461	1.07	0.44	0.41	463	496
2010	7 355	3 088 736	3 572 884	1 709 343	1.16	0.55	0.48	420	486
2020	8 357	3 166 265	3 946 686	2 206 502	1.25	0.70	0.56	379	472

**POT.** – potencialidade;

**DISP.** – disponibilidade instalada;

**DEM.** – demanda;

**SUSTENTAB.** – sustentabilidade;

**IAP** – índice de ativação da potencialidade = disponibilidade/potencialidade - quanto da potencialidade já foi ativada:  $\leq 1$

**IUP** – índice de utilização da potencialidade = demanda/potencialidade – quanto da potencialidade é necessária para atender a demanda:  $\leq 1$ ; e

**IUD** – índice de utilização da disponibilidade = demanda/disponibilidade – quanto da disponibilidade é necessária para atender a demanda:  $\leq 1$ .

Como se ver em todos os cenários há superávit d'água das potencialidades e das disponibilidades instaladas em relação as demandas, o que se conclui que há sustentabilidade em recursos hídricos, no município, no mínimo até o ano 2020, apenas, com uso das águas subterrâneas. Como a maioria dos poços são em sedimento e bem distribuídos no espaço, e sendo as águas de boa qualidade, então existem também sustentabilidades do ponto de vista do espaço e de qualidade das águas. No tocante aos índices per capita das potencialidades, como se trata de água subterrânea, podem ser considerados bastantes altos, haja vista, não existirem perdas por evaporação. Quanto às disponibilidades, também pode-se fazer a mesma consideração, pois, isto significa em água superficial ter açudagem com mais ou menos quatro vezes a capacidade de acumulação das disponibilidades totais com eficiência de 20% a 100%, valores estes só possíveis de serem alcançados nos grandes barramentos do Semi-árido, o que não

acontece em Penaforte, pois, não existem bacias hidrográficas nem boqueirões para isto, tendo em vista ser o município é uma microbacia com relevo suave a muito suave.

## **CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Apesar dos vários estudos realizados para Bacia Sedimentar do Araripe, existe ainda uma carência muito grande de dados precisos – parâmetros técnicos e hidrodinâmicos, que permitam fazer uma avaliação mais precisa das águas subterrâneas dos seus aquíferos. Neste sentido, recomendamos, antecipadamente, que seja realizado um estudo específico para avaliação das águas subterrâneas no município de Penaforte. Em relação a construção de poços, verifica-se um crescimento muito bom na perfuração de poços tubulares, do tipo profundo, nestes últimos vinte anos. A densidade de poços, no momento, é de 1 (um) poço para cada 1,69 km<sup>2</sup>, ou seja, em média os poços estão equidistantes de 1,3 km. Existe ainda a necessidade de perfuração de mais poços no município para que contemple alguns sítios e/ou comunidades que não possuam ainda este tipo de manancial. Porém, é necessário que haja um certo disciplinamento na questão espacial, haja vista, que a perfuração de um novo poço poderá prejudicar um outro, baixando sua vazão, ou seja interferindo no seu cone de depressão. Um outro aspecto importante é o registro dos poços, contando com dados geográficos e parâmetros técnicos e hidrodinâmicos, quais sejam: município, bacia, localidade, latitude, longitude, altitude, órgão executor, data da perfuração, profundidade, nível estático, nível dinâmico, rebaixamento, litologia do perfil, cota do terreno, tipo de aquífero, vazão, vazão específica, método de perfuração, finalidade, código, tipo de bomba, características da instalação, população beneficiada, resíduo seco, Ph, alcalinidade total, alcafenol, dureza, resistividade, Ca, Mg, Na, K, Fe, Cl, sulfato, bicarbonato, nitrato.

Ressaltamos ainda que, é importante a implementação do aproveitamento e a preservação dos poços Amazonas. Isto poderá ser feito com a instalação de eletrobombas e a colocação de tampas de madeira na boca dos poços, evitando assim, o acesso de batráquios, répteis, etc. Alertamos ainda que, apesar das recargas encontradas para os aquíferos do município serem bem maiores do que a exploração, e do que as demandas, o seu aproveitamento deverá ser feito com prudência, evitando assim, comprometer as reservas permanentes.

## **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

. DNPM, 1996. Projeto Avaliação Hidrogeológica da Bacia Sedimentar do Araripe. Fortaleza - 4º Distrito / Recife - 6º Distrito. Fortaleza - CE.

- . DNOCS, 1981. Plano Diretor do Vale do Pajeú. Recife - PE.
- . SUDENE, 1964. Estudo Geral de Base do Vale do Jaguaribe. Recife - PE
- . SUDENE, 1971. Inventário Hidrogeológico Básico do Nordeste. Recife - PE.
- . SRH - CE, 1996. Plano Estadual de Recursos Hídricos do Estado do Ceará - PERH-CE. Fortaleza-CE.
- . SECTMA - PE, 1998. Plano Estadual de Recursos Hídricos do Estado de Pernambuco - PERH-PE. Recife-PE.
- . SUDENE, 1989. Perdas por Evaporação e Infiltração em Pequenos Açudes. Série Hidrologia /31.SUDENE / ORSTOM, Recife - PE.
- . VIEIRA, V. P. P. B. et al., 1994. Projeto Áridas, Regional. Grupo de Recursos Hídricos.