

# DOMÍNIOS HIDROGEOLÓGICOS NO MEIO FISSURAL DO ALTO VALE DO RIO MOXOTÓ – PE

Franklin de Moraes<sup>1</sup> e Manoel Júlio da Trindade Gomes Galvão<sup>1</sup>

**Resumo** - O Alto Vale do Rio Moxotó, área de 4.320 km<sup>2</sup>, clima semi-árido a árido, situa-se na Sub-Província Hidrogeológica Escudo Oriental-6a, constituída predominantemente de rochas cristalinas. Os poços na área apresentam uma produtividade muito fraca a fraca média, com vazões predominantes de até 2,5 m<sup>3</sup>/h (66%) e uma água não recomendável para o consumo humano e pouco recomendável para a irrigação. Um padrão de fraturamento com fissuras abertas é mais favorecido em sua recarga e produtividade quando acha-se associado a valores menores de declividade, maior densidade e abertura das fraturas e maior número de ordem de drenagem. A qualidade da água está condicionado à litologia e ao clima do meio fissural. As áreas onde ocorrem rochas mais ricas em cálcio, magnésio e ferro, como dioritos, calcossilicáticas, calcários, anfibolitos e gabros, associadas a climas mais áridos, as águas são mais salinizadas. O meio fissural do Alto Moxotó foi compartimentado em caráter preliminar, em 13 domínios hidrogeológicos definidos a partir de parâmetros fisiográficos, estruturais e litológicos. Estes domínios serão representados em Carta Hidrogeológica a ser elaborada na fase de conclusão da pesquisa.

**Palavras-chave** - Água Subterrânea, Meio Fissural, Carta Hidrogeológica.

## INTRODUÇÃO

A CPRM – Serviço Geológico do Brasil, vem desenvolvendo, dentro do Programa “Água Subterrânea para a Região Nordeste”, o projeto “Estudo de Modelos

---

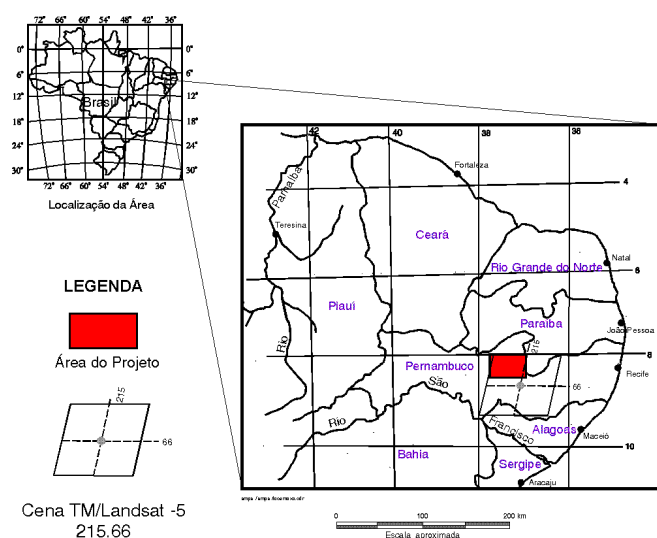
<sup>1</sup> CPRM - SUREG Recife, Av.Beira Rio, 45 - Madalena - CEP.: 50.610-100 - Recife - PE – Brasil  
Telefone: (081) 227-0277 - Fax: (081) 228-2142 - E-mail: [cprm@fisep.pe.gov.br](mailto:cprm@fisep.pe.gov.br)

Hidrogeológicos na Bacia do Rio Moxotó”. Este estudo (Morais & Galvão, 1998) tem como base física o alto Vale do Rio Moxotó, inserido no Escudo Oriental, nordeste do Brasil, constituído predominantemente de rochas cristalinas, e, tem como objetivo científico, avançar nos conhecimentos da hidrogeologia do cristalino no que trata das variáveis principais que atuam na sua recarga, reservas e qualidade da água; e elaborar uma Carta Hidrogeológica onde consta uma hierarquização de áreas homólogas no que trata de sua potencialidade hídrica para o consumo humano, pecuária e irrigação. Todo este processo, assim como trabalhos similares (Morais, 1996 e 1998) tem como objetivo social aumentar a oferta de água para as fazendas, sítios e pequenos povoados e ao mesmo tempo perseguir com a metodologia utilizada um maior sucesso de produtividade nos poços a serem perfurados na região em tela.

O trabalho aqui apresentado, como parte deste projeto, representa uma análise e algumas considerações preliminares sobre a produtividade e qualidade da água no meio fissural do Alto Moxotó e esboça uma metodologia em caráter preliminar para a divisão desta região em domínios hidrogeológicos.

## **LOCALIZAÇÃO E ASPECTOS SÓCIO-ECONÔMICOS**

A base física do Alto Vale do Rio Moxotó situa-se na região centro-sul do Estado de Pernambuco entre as coordenadas 7° 52'37” e 8° 30' Latitude Sul e 37° 00' e 37° 50' Longitude Oeste (Figura 1).



**Figura 1 - Mapa de Localização da Área do Alto Rio Moxotó.**

Tem como suporte econômico, de forma modesta, a agropecuária, agricultura e o comércio. A sua população economicamente ativa varia entre 30 a 39%. Ibimirim apresenta o menor valor (30%) e Tupanatinga o maior (39%). A relação entre a população rural e a urbana na região indica valores baixos que variam entre 11 e 55%. Arcoverde apresenta a menor taxa de população rural (11%) e Sertânia, Ibimirim e Custódia as maiores (55%).

## **CLIMA**

A pluviometria média anual determinada aplicando-se o método dos polígonos de Thiessen revela uma média de 590mm/ano. A distribuição das chuvas é irregular revelando à região índices de MPC(JFMA) variando entre 52 e 73%, com os distritos de Henrique Dias (73%), Xilili (73%) e Moderna (68%) apresentando uma distribuição irregular ainda mais acentuada.

A evapotranspiração potencial é elevada na região. Apresenta média de 1.836mm/ano. Custódia e Jericacó registram os maiores valores, 2.016 e 1954mm/ano respectivamente enquanto Arcoverde o menor valor (1690mm/ano). A evapotranspiração real foi determinada usando-se o método do balanço hídrico (Thorntwaite & Mather, 1955), Turc e Coutagne. A média total destes valores revelam para evapotranspiração real uma média de 588mm/ano.

Domina na região o clima Bsh, tropical, quente seco, semi-árido. Segundo o método

de Thornthwaite que relaciona o Índice Global com as categorias climáticas, a região apresenta dois tipos de climas: semi-árido e árido. O clima semi-árido segundo a aplicação deste método predomina com exceção de uma faixa de direção NE-SW que passa pelos distritos de Henrique e Moderna e em uma pequena área a sudoeste.

## **GEOLOGIA e HIDROGEOLOGIA**

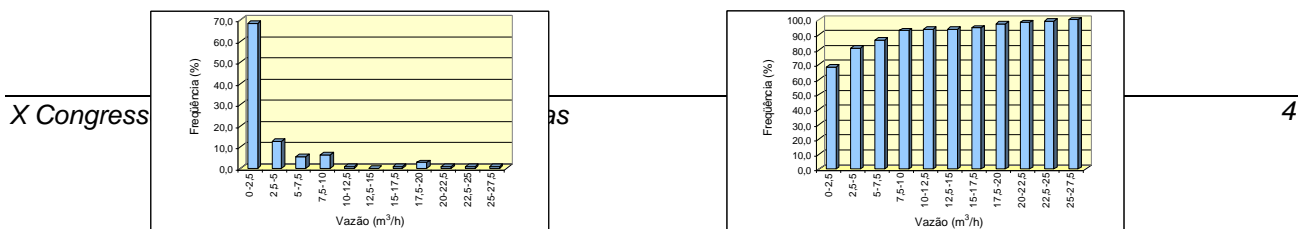
Situa-se a região no domínio da Zona Transversal delimitada entre os lineamentos Patos e Pernambuco e representa os terrenos tectonoestratigráficos Alto Moxotó e Rio Capibaribe segundo a divisão da Província Borborema em terrenos tectonoestratigráficos definida por Santos (1996). Os terrenos do Alto Vale do Rio Moxotó possuem um elenco litológico muito variado, constituído principalmente de uma seqüência de granitos, granitóides e gnaisses do Neo-Proterozóico; ortognaisses, granitos calcioalcalinos, paragnaisses, biotita xistos, migmatitos, calcários, calciossilicáticas e anfibolitos, ortognaisses tonalíticos, granodioritos do Meso-Proterozóico e, em posição inferior a esta seqüência os metagranitóides e ortognaisses, quartzodioríticos, tonalíticos, granodioríticos e migmatitos incluindo metagabros, metadioritos, xistos e calciossilicáticas do Paleo-Proterozóico.

No cenário nacional a região situa-se segundo o Mapa de Províncias Hidrogeológicas do Brasil (Pessoa et al, 1980) na Sub-província Escudo Oriental 6-a, caracterizada por possuir aquíferos locais, livres, constituídos por rochas metamórficas do Nordeste, permeabilidade muito baixa, água em geral salinizadas e importância hidrogeológica regional muito pequena.

## **VARIÁVEIS QUE INFLUENCIAM NA PRODUTIVIDADE DOS POÇOS E NA QUALIDADE DA ÁGUA, NO MEIO FISSURAL**

### **A) PRODUTIVIDADE**

A produtividade média para um elenco de 85 poços revela um valor de 0,291 m<sup>3</sup>/h/m, com uma mediana de 0,125 m<sup>3</sup>/h/m entre os valores mínimo e máximo de 0,002 e 2,818 m<sup>3</sup>/h/m, respectivamente. A distribuição das freqüências das vazões mostrada na Figura 2a indica um percentual de 66,37% dos poços com valores entre 0 e 2,5 m<sup>3</sup>/h sendo que entre estes 25,66% apresenta valores inferiores a 0,25 m<sup>3</sup>/h; 23,89% indica valores entre 2,5 e 10 m<sup>3</sup>/h, 7,08% de 10 a 40 m<sup>3</sup>/h e 2,65% superiores a 40 m<sup>3</sup>/h não



ultrapassando a 70 m<sup>3</sup>/h. Segundo o histograma de freqüência acumulado mostrado na Figura 2b, 90,26% dos poços apresenta vazões inferiores a 10 m<sup>3</sup>/h ou 78,76% são inferiores a 5 m<sup>3</sup>/h.

(a)

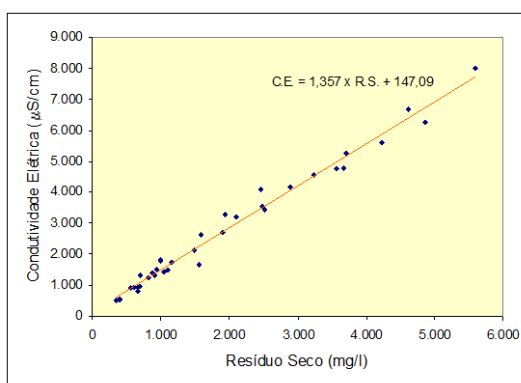
(b)

**Figura 2** - Histogramas de Freqüência (a) e Freqüência Acumulada (b) das vazões dos poços no Alto Vale do Rio Moxotó.

## B) QUALIDADE DA ÁGUA

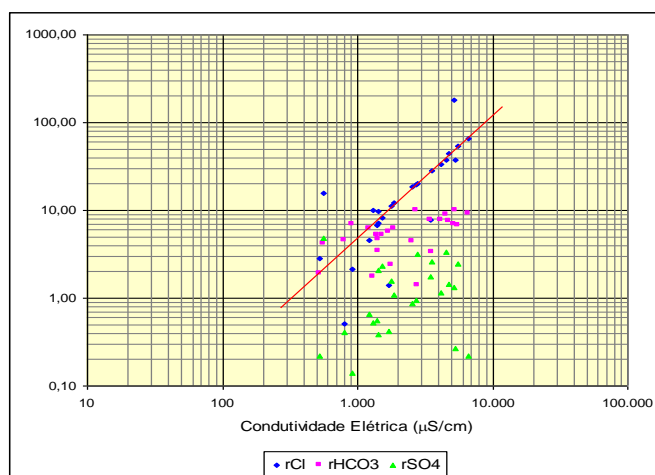
Predominam com 43,08% as águas cloretadas mistas, seguindo com 18,46% as cloretadas sodio-magnesianas, 7,69% o tipo cloretada-bicarbonatada mista, 6,15% bicarbonatada sódica e 24,62% se referem a outros 8 tipos diversos. Com relação ao potencial hidrogênico, predominam águas neutras a alcalinas com pH médio de 7, máximo de 9 e mínimo de 6,3.

O resíduo seco revela média de 2.938 mg/l, com mediana de 2.100 mg/l e valores mínimo e máximo de 380 e 13.738 mg/l, respectivamente. Baseado em um grupo de 37 análises foi possível se determinar a relação matemática entre a condutividade elétrica e o resíduo seco (Figura 3), expressa pela equação  $CE = 1,357 \times RS + 147,09$ .



**Figura 3** - Gráfico de correlação entre a Condutividade Elétrica ( $\mu$ S/cm) e o Resíduo Seco (mg/l).

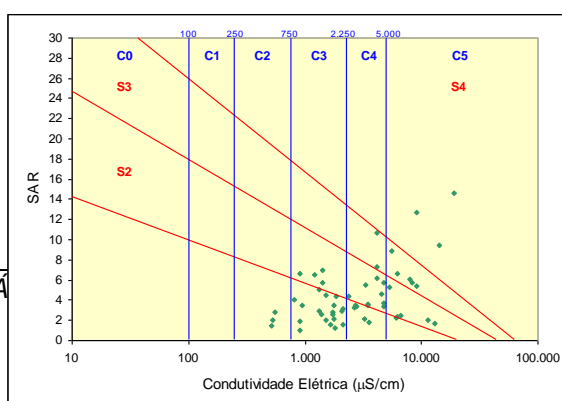
De outra maneira a relação entre a condutividade elétrica e a concentração dos principais sais é indicada na Figura 4 em gráfico bi-log e demonstra para o cloreto um alinhamento dos pontos insinuando uma relação matemática entre este ânion e a condutividade enquanto para o bicarbonato e o sulfato os pontos configuram-se de forma dispersas formando nuvens.



**Figura 4** - Gráfico de correlação entre a Condutividade Elétrica ( $\mu\text{S/cm}$ ) e os ânions  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{HCO}_3^-$  e  $\text{SO}_4^{2-}$  em meq/l.

Para uma amostragem de 67 amostras, 5,97% revelam água de boa potabilidade para o consumo humano, 19,41% passável, 22,39% qualidade medíocre e 52,26% de qualidade má. Uma maior aplicação para o consumo humano que sempre foi uma limitação em regiões semi-áridas do nordeste e de rochas cristalinas está sendo solucionada atualmente com a implantação de dessalinizadores.

No que trata da aplicação da água para irrigação, 33,93% das análises revelam-se como tipo C3S1, 14,28% do tipo C4S2, 8,93% C3S2, C4S1, C5S2 e C5S3, 5,36% C2S1 e C5S4, e o restante distribuídos entre outros tipos diversos. Entre estes o tipo C3S1 predominantemente na área pode ser aplicado para a irrigação e em solos bem drenados e para culturas com alta tolerância salina, e o tipo C2S1 com pequena participação. A Figura 5 mostra o gráfico de classificação das águas para a irrigação segundo U.S. Salinity



Laboratory (in Logan, 1964).

**Figura 7** - Gráfico para classificação de águas para irrigação, segundo o U.S.Salinity Laboratory (USSL).

### C) GEOMETRIA

O padrão de fraturamento em superfície varia de um lugar para outro e tem uma relação importante com a permeabilidade no meio fissural. Foram elaborados mapas de fraturas e de freqüência de fratura na escala 1:100.000 e definidas em superfície padrões de fraturamento: 1-áreas com 0 a 1 fratura por km<sup>2</sup>, 2-áreas com 2 a 4 fraturas por km<sup>2</sup>, e 3-áreas com 5 a 8 fraturas por km<sup>2</sup>.

A profundidade das fissuras foi analisada com base em informações de 34 poços com profundidades entre 50 e 60 metros. Apresenta as fichas técnicas destes poços um registro de 56 fraturas. Sua distribuição em profundidade é mostrada nos histogramas da

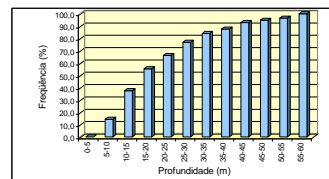
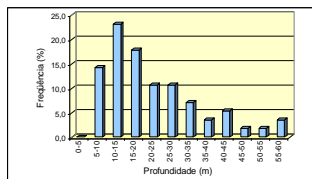


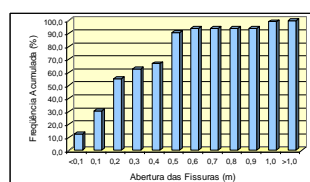
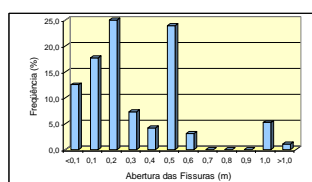
Figura 6 e indica que 92,84% das fissuras ocorrem até a profundidade de 45 metros e há uma maior concentração destas fissuras (76,77%) entre 5 e 35 metros.

(a)

(b)

**Figura 6** - Histogramas de Freqüência (a) e Freqüência Acumulada (b) das profundidades dos poços no Alto Vale do Rio Moxotó.

A análise de uma amostragem de 95 fraturas indica para a sua abertura, uma mediana de 0,24m, valor máximo de 2 metros e mínimo de 0,03m. A distribuição da freqüência das aberturas é mostrada nos histogramas da Figura 7.



(a)

(b)

**Figura 7** - Histogramas de Frequência (a) e Frequência Acumulada (b) das aberturas das fissuras nos poços do Alto Vale do Rio Moxotó.

## **CORRELAÇÃO ENTRE AS VARIÁVEIS**

Para se chegar às conclusões preliminares acerca dos aspectos hidrogeológicos do meio fissural, com conseqüente cartografia hidrogeológica de domínios e sub-domínios, foram feitas correlações, em forma de tabelas, das variáveis expostas anteriormente.

Correlacionando-se a produtividade com aspectos fisiográficos e estruturais, foram geradas tabelas de frequência de vazões dos poços em relação a valores de declividade (tabela 1), em relação aos números de ordem de drenagem (tabela 2), e em relação à densidade de fraturas (tabela 3), observando-se que a produtividade do meio fissural na região do Alto Vale do Rio Moxotó está muito condicionada à associação destes três fatores.

**Tabela 1** – Frequência da Vazão dos Poços em relação à Declividade.

Declividade (%)	Frequência (%) da Vazão dos Poços (m <sup>3</sup> /h)				No de Poços
	0,0	0,05 - 2,5	2,5 - 5	> 5	
0-2	26,15	33,85	13,85	26,15	65
2-5	21,95	46,34	12,19	19,51	41
5-20	34,37	56,25	3,12	6,25	32
>20	50	50	0	0	6

**Tabela 2** – Frequência da Vazão dos Poços em relação à Ordem de Drenagem.

No de Ordem de Drenagem	Frequência (%) da Vazão dos Poços (m <sup>3</sup> /h)				No de Poços
	0,0	0,005 - 2,5	2,5 - 5	> 5	
1	44,07	44,07	6,78	5,08	59
2	28	36	8	28	25
3	6,67	56,67	13,33	23,33	30
>4	14,28	32,14	17,86	35,71	28

As tabelas 1 e 2, mostram que um sistema de fissuras inserido em áreas de declividade mais baixa e que coincidam com leitos de rios ou riachos, comportam-se como mais privilegiados quanto à recarga e de maneira mais acentuada quando se tratam



de ordens de drenagem mais elevadas (3 a 8).

**Tabela 3** – Frequência da Vazão dos Poços em relação à Densidade de Fraturas.

Densidade de Fraturas	Frequência (%) da Vazão dos Poços (m <sup>3</sup> /h)				No de Poços
	0,0	0,05 - 2,5	2,5 - 5	> 5	
0-1	32	43	10	14	100
2-4	22,85	42,86	8,6	25,71	35

A tabela 3 mostra que a densidade de fraturas (número de fraturas/km<sup>2</sup>) também exerce uma influência na produtividade no meio fissural, pois áreas com menores valores de densidade de fraturas apresentam um percentual elevado de poços secos e um pequeno percentual de poços com vazões mais elevadas.

Correlacionando-se a qualidade da água com aspectos fisiográficos e litológicos, foram geradas tabelas de frequência do resíduo seco em relação a valores de declividade (tabela 4), em relação aos números de ordem de drenagem (tabela 5), e em relação ao clima (tabela 6), além da tabela relacionando o resíduo seco diretamente com a litologia e o clima (tabela 7), observando-se que a qualidade da água do meio fissural na região do Alto Vale do Rio Moxotó está muito condicionada apenas ao clima e à litologia.

**Tabela 4** – Frequência do Resíduo Seco em relação à Declividade.

Declividade (%)	Frequência (%) do Resíduo Seco (mg/l)				No de Poços
	0 - 1000	1000 - 2000	2000 - 4000	> 4000	
0-2	34,15	19,65	21,95	24,39	41
2-5	17,65	17,65	47,06	17,65	17
5-20	0	57,14	28,57	14,28	7

**Tabela 5** – Frequência do Resíduo Seco em relação à Ordem de Drenagem.

No de Ordem de Drenagem	Frequência (%) do Resíduo Seco (mg/l)				No de Poços
	0 - 1000	1000 - 2000	2000 - 4000	> 4000	
1	15,38	15,38	38,46	30,76	13
2	16,67	50	16,67	16,67	12
3	22,22	22,22	22,22	33,33	18
>4	40,91	13,64	36,36	9,09	22

**Tabela 6 –** Freqüência do Resíduo Seco em relação ao Clima.

Tipos de Clima	Freqüência (%) do Resíduo Seco (mg/l)				No de Poços
	0 - 1000	1000 - 2000	2000 - 4000	> 4000	
Semi-Árido	27,27	27,27	34,54	10,91	55
Árido	20	0	0	80	10

Foi observado que, de um elenco de 14 poços com resíduo seco maior que 4.000 mg/l, 8 deles (57%) estão situados em áreas de clima árido, ao passo que, de um elenco de 51 poços com resíduo seco inferior a 4.000 mg/l, 49 deles (96%) estão em áreas de clima semi-árido, constatando-se pela tabela 6 acima.

Pela tabela 7, observa-se que as rochas mais ricas em anfibolitos, metagabros, calcários, calciossilicáticas e dioritos, apresentam maiores valores médios de resíduo seco. Quando uma área possui clima mais árido e predomina esses tipos de rochas mais ricas em Ca, Mg, Fe e S, as águas são mais salinizadas.

**Tabela 7 –** Resíduo Seco Médio dos Poços Relacionados com a sua Litologia e Clima

Unidade Geológica	No de Poços	Litologia	Clima	Resíduo Seco (mg/l)
M <sub>pa1</sub>	1	Gnaisse anfibolítico	Árido	5.590
Pf	11	Dioritos, metagabros e anfibolitos	Árido e Semi-Árido	3.740
MSe	27	Dioritos, calcários, xistos, e granitos	Semi-Árido predominante	2.681
N <sub>JK1,4</sub>	7	Calciossilicáticas e anfibolitos	Semi-Árido	2.369
M <sub>rp</sub>	6	Granitóides, granodioritos, dioritos e granitos	Semi-Árido	2.048
MSu	5	Diorito e granodiorito	Semi-Árido	1.979
MY <sub>0</sub>	5	Gnaisses, granitos e granodioritos	Semi-Árido	1.875
MY <sub>1</sub>	2	Diorito e granodiorito	Semi-Árido	1.727

## DOMÍNIOS HIDROGEOLÓGICOS DO MEIO FISSURAL

A partir dos estudos realizados com as variáveis fisiográficas, estruturais e litológicas, foram agrupadas áreas homólogas e definidos, em caráter preliminar, 13

domínios hidrogeológicos. A tabela 8 mostra os parâmetros utilizados com seus respectivos valores e os grupos litológicos usados para a definição dos domínios hidrogeológicos.

Associando-se, ou combinando-se, os parâmetros citados, obedecendo para cada um deles um critério de maior favorabilidade para menor favorabilidade, no que se refere à produtividade dos poços e à qualidade da água, foi possível dividir a região do Alto Vale do Rio Moxotó em 13 grupos de áreas homólogas ou domínios hidrogeológicos conforme mostra a tabela 9.

**Tabela 8** – Parâmetros utilizados para definir os domínios hidrogeológicos.

Densidade de Fraturas	D <sub>1</sub> – 2 a 6 fraturas / km <sup>2</sup> D <sub>2</sub> – 0 a 1 fraturas / km <sup>2</sup>
Clima	C <sub>1</sub> – clima Semi-Árido C <sub>2</sub> – clima Árido
Litologia	Grupo L <sub>1</sub> – N <sub>y4</sub> , N <sub>y7</sub> , N <sub>yk</sub> , N <sub>yi</sub> , M <sub>y7</sub> , M <sub>y0</sub> , M <sub>yi</sub> , M <sub>y2</sub> , M <sub>sc</sub> , M <sub>rp</sub> , M <sub>bi</sub> , P <sub>yi</sub> . Grupo L <sub>2</sub> – M <sub>δ</sub> , M <sub>se</sub> , M <sub>ca</sub> , M <sub>pa2</sub> , M <sub>sy</sub> , P <sub>f</sub> .
Declividade	d <sub>1</sub> – 0 a 20% d <sub>2</sub> – > 20%
Ordem de Drenagem	O <sub>1</sub> – 3 a 8 O <sub>2</sub> – 1 a 2
Produtividade dos Poços	> 5 m <sup>3</sup> /h – média a elevada 2,5 a 5 m <sup>3</sup> /h – fraca a média 0,05 a 2,5 m <sup>3</sup> /h – fraca a muito fraca
Qualidade da Água	Medíocre (Resíduo Seco de 1000 a 2000 mg/l) Má (Resíduo Seco maior que 2000 mg/l)

**Tabela 9** – Domínios e Sub-Domínios Hidrogeológicos.

Domínios	Sub-Domínios	Combinação dos Parâmetros
1	1a	D <sub>1</sub> C <sub>1</sub> L <sub>1</sub> d <sub>1</sub> O <sub>1</sub>
	1b	D <sub>1</sub> C <sub>1</sub> L <sub>2</sub> d <sub>1</sub> O <sub>1</sub>
	1c	D <sub>1</sub> C <sub>1</sub> L <sub>1</sub> d <sub>1</sub> O <sub>2</sub>
	1d	D <sub>1</sub> C <sub>1</sub> L <sub>2</sub> d <sub>1</sub> O <sub>2</sub>
2	2a	D <sub>2</sub> C <sub>1</sub> L <sub>1</sub> d <sub>1</sub> O <sub>1</sub>
	2b	D <sub>2</sub> C <sub>1</sub> L <sub>1</sub> d <sub>1</sub> O <sub>1</sub>

	2c	$D_2C_1L_1d_1O_2$
	2d	$D_2C_1L_2d_1O_2$
	2e	$D_2C_2L_1d_1O_1$
	2f	$D_2C_2L_1d_1O_2$
3	3a	$D_2C_2L_2d_1O_1$
	3b	$D_2C_2L_2d_1O_2$
4	-	$d_2$

## CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A metodologia aplicada ao meio fissural do Alto Vale do Rio Moxotó, delinea procedimentos para se avançar, a nível da escala de 1:100.000, nos conhecimentos da hidrogeologia do cristalino, no que trata as variáveis fisiográficas, estruturais e litológicas que se relacionam com a produtividade dos poços e qualidade da água. Baseado nestes procedimentos, foi possível agrupar instrumentos para a divisão do meio fissural em domínios e sub-domínios hidrogeológicos. Sabendo-se que o cristalino se constitui um problema delicado da hidrogeologia, esta metodologia é uma idéia que poderá ser aperfeiçoada.

Este processo metodológico servirá de orientação para técnicos das áreas de planejamento, no âmbito estadual e municipal, comunidades rurais e empresas privadas, oferecendo subsídios para a locação de poços bem sucedidos aumentando a oferta de água para as fazendas, sítios e pequenas comunidades.

## BIBLIOGRAFIA

- MORAIS, F.de (1996)** – *Contribuição à Metodologia de Zoneamento das Águas Subterrâneas em Aquíferos Fraturados, no Nordeste*. In: 9º Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas. Anais do ... Salvador. ABAS.
- MORAIS, F.de (1998)** – *Influência de Padrões de Fraturamento Associados à Declividade na Produtividade da Água Subterrânea no Meio Fraturado*. In: III Simpósio de Hidrogeologia do Nordeste. Anais do ... Recife. ABAS. Pp.166-174.
- MORAIS, F.de & GALVÃO, M.J. da T.G.(1998)** – *Metodologia Aplicada no Estudo das Variáveis que Influenciam na Produtividade e na Qualidade da Água no Meio Fraturado do Alto Vale do Rio Moxotó*. In: WORKSHOP sobre Aquíferos Fraturados. CPRM, Fortaleza.
- PESSOA, M.D.; MENTE, A.; LEAL, O. (1980)** – *Províncias Hidrogeológicas adotadas para o Mapa Hidrogeológico do Brasil, na escala 1:250.000*. In: Congresso

Brasileiro de Águas Subterrâneas. 1. Recife, UFPE. Anais ... p.461-473.

**SANTOS, E.J.dos (1996)** – *Ensaio preliminar sobre terrenos e tectônica acrescionária na Província Borborema*. In: XXXIX Congresso Brasileiro de Geologia. Anais do ... Salvador. v.6, pp.47-50.

**THORNTHWAITE, C.W & MATHER, J.R. (1955)** – *The water balance*. Publication of climatology, 8 (1), Centerton, N.J. 104p.