

ASPECTOS HIDRODINÂMICOS DO AQUÍFERO LIVRE DA MICROBACIA DO CUMARU, IGARAPÉ-AÇÚ/PA

Luciene Mota de Leão¹; Antonio Carlos F. N. S. Tancredi²

RESUMO

O presente artigo tem como objetivo apresentar o estudo das características hidráulicas do aquífero livre da microbacia do Cumaru. A área da microbacia é de aproximadamente 16 Km², localizada no município de Igarapé-Açu, nordeste do Pará. Os aquíferos são constituídos por sedimentos arenosos do Quaternário, com espessura de cerca de 12 metros. As características hidráulicas do aquífero são de grande importância para se avaliar o padrão geral do fluxo subterrâneo nesta microbacia, onde encontram-se várias áreas de agricultura intensiva, e desta forma permitir que medidas preventivas futuras sejam tomadas com o intuito da preservação dos recursos hídricos. Os parâmetros determinados indicaram valores de condutividade hidráulica de 27,9 m/dia, transmissividade de 347 m²/dia e coeficiente de armazenamento de 0,25. A velocidade do fluxo subterrâneo é de 0,9 m/dia a 5,7 m/dia e o padrão principal do sentido do fluxo é de norte para sul e de noroeste para sudeste, no sentido do igarapé Cumaru.

ABSTRACT

The present article has as objective to present the study of the hydraulic characteristics of the water table aquifer of the microbasin of the Cumaru stream. The area of the microbasin is of approximately 16 Km², located in the Igarapé-Açu area, northeast of Pará. The water table aquifer is constituted by sands sediments of the Quaternary, with thickness esteem in 12 meters. The hydraulic characteristics of the water table are of great importance to evaluate the general standard of the underground flow in this microbasin, where some areas of intensive agriculture and to allow that writ of prevention future they are taken with the intention of the preservation of the water resources and its quality. The hydrologic parameters had indicated of hydraulic conductivity values of 27,9 m/day, transmisivity of 347 m²/day and storativity of 0,25. The speed of the underground flow is of 0,9 m/day to 5,7 m/day and flow of groundwater is from north to south and the northwest to southeast, in the direction of the Cumaru narrow river.

Palavras-Chave: água subterrânea; características hidráulicas; fluxo subterrâneo

¹ UFPA (Bolsista/CNPQ), Belém – Pará; Fone: (91) 3277 0173; e-mail: lmleao@yahoo.com.br

² LUPA – Laboratório Unificado de Pesquisa e Acessória. Belém – Pará; Fone: (91) 3222 0983; e-mail: actancredi@gmail.com

1. INTRODUÇÃO

Os estudos das características hidráulicas de um aquífero são de grande importância para compreender a movimentação da água no subsolo. A avaliação do comportamento dinâmico das águas subterrâneas pode ser de especial interesse das comunidades locais, que têm sua economia voltada principalmente para a agricultura.

Devido a utilização de defensivos agrícolas nesta região, onde o solo é arenoso, de grande permeabilidade e com vários cursos d'água às proximidades, a determinação das características hidráulicas podem contribuir para pesquisas futuras que visem a preservação dos recursos hídricos desta região.

Este estudo apresenta as informações obtidas no cadastramento e monitoramento dos poços, localizados na área da microbacia do Cumarú, e teste de aquífero, a fim de definir seus parâmetros hidrodinâmicos, o comportamento do nível dinâmico com o bombeamento e a avaliação do fluxo subterrâneo (Leão, 2003).

2. LOCALIZAÇÃO DA ÁREA

O município de Igarapé-Açu está localizado no nordeste do Estado do Pará, Zona Bragantina, a 110 Km de Belém. O acesso é rodoviário, através da BR-316, passando-se pelo município de Castanhal, de onde se prossegue pela rodovia estadual PA-127 até a sede do município. Limita-se a norte pelos municípios de Maracanã e Marapanim, a leste por Nova Timboteua, a sul por Santa Maria do Pará e Castanhal e a oeste pelo município de São Francisco do Pará.

A área de interesse (Figura 1) representa uma microbacia de aproximadamente 16 Km², onde a drenagem principal é o Igarapé Cumarú. Esta área fica distante cerca de 8 Km do centro do município de Igarapé-Açu, onde o acesso pode ser feito por diversas estradas secundárias.

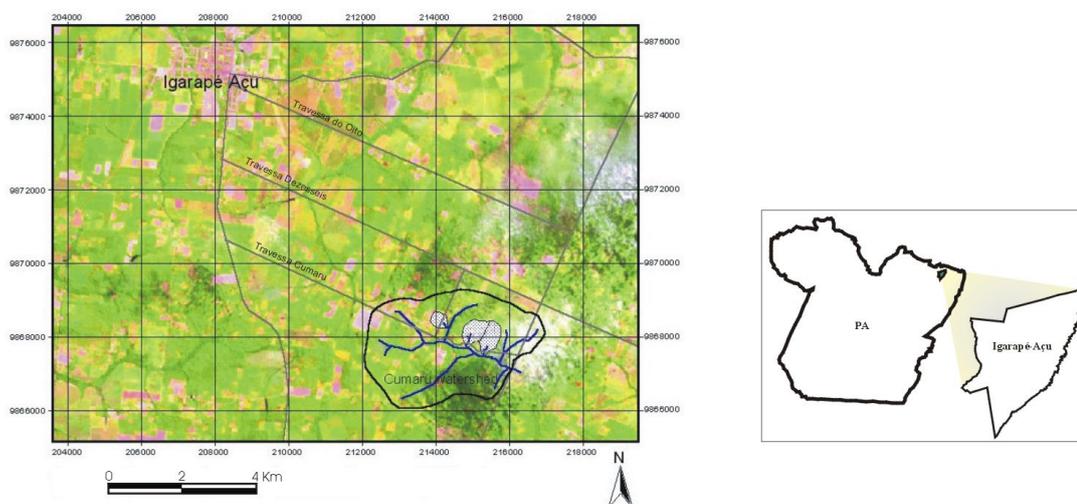


Figura 1 - Mapa de localização da microbacia do Cumarú.

3. METODOLOGIA

Os padrões de fluxo subterrâneo no aquífero livre foram determinados para os dois ciclos sazonais característicos da região (períodos seco e chuvoso), a partir de mapas potenciométricos.

Os mapas potenciométricos foram obtidos a partir do georreferenciamento dos poços, determinação dos níveis estáticos, gradientes hidráulicos, e elaborados através do programa computacional SURFER 6.0. A determinação dos níveis estáticos nos poços permitiu avaliar o comportamento do lençol freático.

A porosidade efetiva representa a razão entre o volume de água efetivamente liberada de uma amostra de rocha porosa e o seu volume total. Para aquíferos livres esta porosidade é equivalente ao coeficiente de armazenamento. A condutividade hidráulica em meio isotrópico é a velocidade aparente por gradiente hidráulico unitário. A transmissividade representa a quantidade de água que pode ser transmitida horizontalmente por toda a espessura saturada do aquífero (Feitosa & Manoel Filho, 1997).

A condutividade neste trabalho foi determinada através dos resultados obtidos na análise granulométrica dos sedimentos, fornecidos por Lima (2003). A transmissividade foi obtida através de ensaio de bombeamento.

Os dados dos poços cadastrados permitiram o cálculo do gradiente hidráulico. Estes valores juntamente com a condutividade hidráulica possibilitaram calcular a velocidade aparente de fluxo subterrâneo e através do conhecimento desta, calculou-se a velocidade real do fluxo.

4. CARACTERÍSTICAS DA ÁREA

4.1 GEOLOGIA

A microbacia do Cumarú apresenta uma cobertura sedimentar constituída por sedimentos do Quaternário e Terciário. Com base em perfis litológicos de poços tubulares perfurados pela Fundação Nacional de Saúde (FUNASA), foram identificadas as seguintes unidades:

A Formação Pirabas não é aflorante em toda a área, sendo identificada apenas em poços profundos, ocorrendo a uma profundidade a partir de 70 metros. Os sedimentos do Grupo Barreiras ocorrem a uma profundidade que pode variar de 7 a 15 metros e a maioria dos poços tubulares, atingem esta unidade.

Os Sedimentos Pós-Barreiras representam a unidade aflorante na área da microbacia do Cumarú. Estes sedimentos apresentam-se de maneira bastante uniforme, predominando materiais arenosos e areno-siltosos, algumas vezes com intercalações de lentes argilosas.

Os sedimentos arenosos possuem coloração creme amarelada a cinza, constituídos por areia fina siltosa a cascalho fino. São sedimentos mal selecionados, subangulosos, intercalados a lentes de argila, como já mostraram Melo Junior et al. (2001).

Os sedimentos Recentes são encontrados geralmente distribuídos nas margens dos igarapés. Estes sedimentos são constituídos por areias de granulometria fina a média, de coloração creme. Também ocorrem argilas e restos vegetais.

4.2. HIDROGEOLOGIA

Os sedimentos arenosos que recobrem a superfície da microbacia do Cumaru têm ampla distribuição e constituem reservatórios de água subterrânea. Na zona rural são explorados principalmente através de poços construídos a trado manual, além de fontes ou nascentes.

Na sede do município estes aquíferos são explorados através de poços tubulares rasos destinados ao abastecimento público. O sistema hidrogeológico nessa região desenvolve-se nas rochas da cobertura sedimentar cenozóica.

No município de Igarapé-Açu, os aquíferos são constituídos por sedimentos arenosos do Quaternário, do Grupo Barreiras e da Formação Pirabas.

Os aquíferos encontram-se desde a superfície, com surgências, até a profundidade de centenas de metros. Os poços mais profundos atingem 108 metros e ainda não se conhece a profundidade do embasamento nessa área.

A geomorfologia contribui diretamente para as condições hidrogeológicas na microbacia do Cumaru. As regiões mais elevadas da área situam-se em torno de 60 metros e representam as áreas de recarga mais significativas, enquanto nas áreas de planície aluvionar encontram-se as zonas de descarga representadas principalmente pelo igarapé Cumaru.

5. RESULTADOS

5.1 CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA

A Figura 2 apresenta um histograma de distribuição granulométrica, obtido com os resultados do peneiramento e pesagem das amostras. Na Figura 3 é apresentada a curva granulométrica característica dos sedimentos arenosos que constituem o aquífero.

Através destes dados foi possível calcular a condutividade hidráulica para o aquífero utilizando a relação de Hazen, através da seguinte fórmula:

$$K = c \cdot (d_{90})^2 \quad (1)$$

Onde K é a condutividade hidráulica, (d_{90}) é o tamanho efetivo do grão obtido na curva de granulometria e c é o coeficiente de proporcionalidade.

O tamanho efetivo (d_{90}) representa o tamanho dos grãos em que 10% da percentagem acumulada da areia é mais fina e 90% mais grossa. Considerando-se a água a 20°C e d_{90} em mm, a condutividade hidráulica pode ser calculada diretamente (K em cm/s), adotando-se $c = 1$ (Freeze & Cherry, 1979). O valor obtido para (d_{90}) na curva de frequência acumulada do sedimento (Figura 3)

foi de 0,18 mm. Através destes dados a condutividade hidráulica calculada pela fórmula de Hazen foi de 27,9 m/dia.

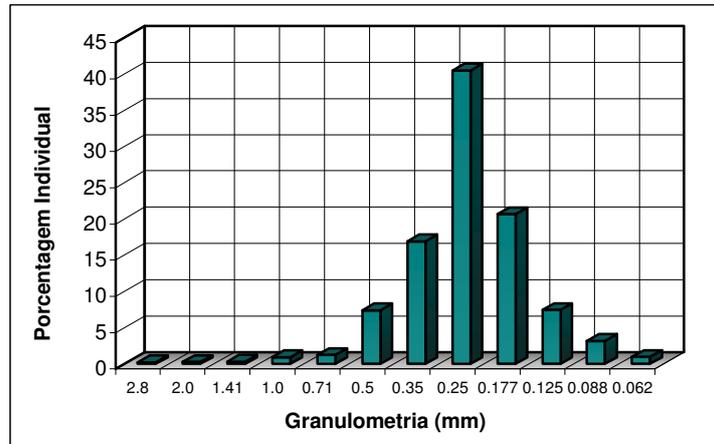


Figura 2. Histograma de distribuição granulométrica do sedimento arenoso do aquífero livre.

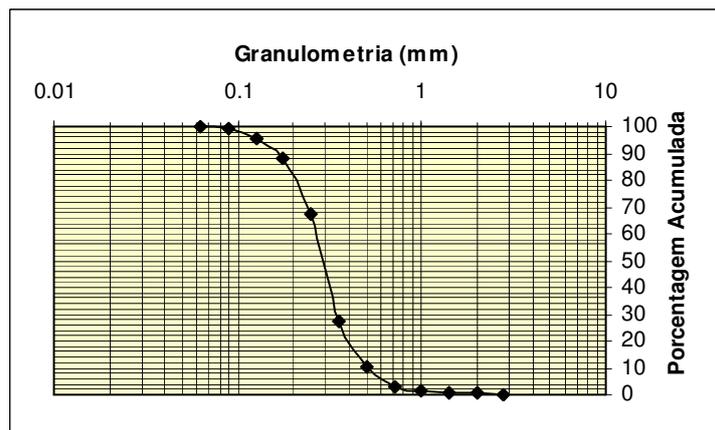


Figura 3. Curva de frequência acumulada do sedimento arenoso do aquífero livre.

5.2. TRANSMISSIVIDADE E COEFICIENTE DE ARMAZENAMENTO

O teste de aquífero foi realizado no poço P-M e monitorado no poço P-6, localizado a 13,7 m de distância, com uma duração de 6 horas de bombeamento, a uma vazão constante de 1,04 m³/h, que foi determinada durante o teste. A frequência de medições de nível d'água seguiu a metodologia citada por Rocha & Jorba (1982).

Os dados obtidos de tempo (min) *versus* rebaixamento (m) foram interpretados pelo método de Theis (Theis, 1935), e está representado na Figura 4. A carga hidráulica apresentou uma pequena variação durante o teste de bombeamento. A vazão de bombeamento revelou-se pequena para se configurar melhor o comportamento do aquífero, devido a pequena variação de cargas hidráulicas.

A curva obtida no método de Theis (diagrama bilogarítmico) forneceu valores de transmissividade ($T= 347 \text{ m}^2/\text{dia}$) e coeficiente de armazenamento ($S= 0,25$).

Utilizando-se os valores da transmissividade, obtida pelo método de Theis ($347 \text{ m}^2/\text{dia}$), e a condutividade hidráulica obtida na análise granulométrica ($27,9 \text{ m}/\text{dia}$), calculou-se a espessura (b) do aquífero através da equação (Feitosa & Manoel Filho, 1997):

$$T = K \cdot b \quad (2)$$

O valor da espessura do aquífero livre investigado é de aproximadamente 12 m.

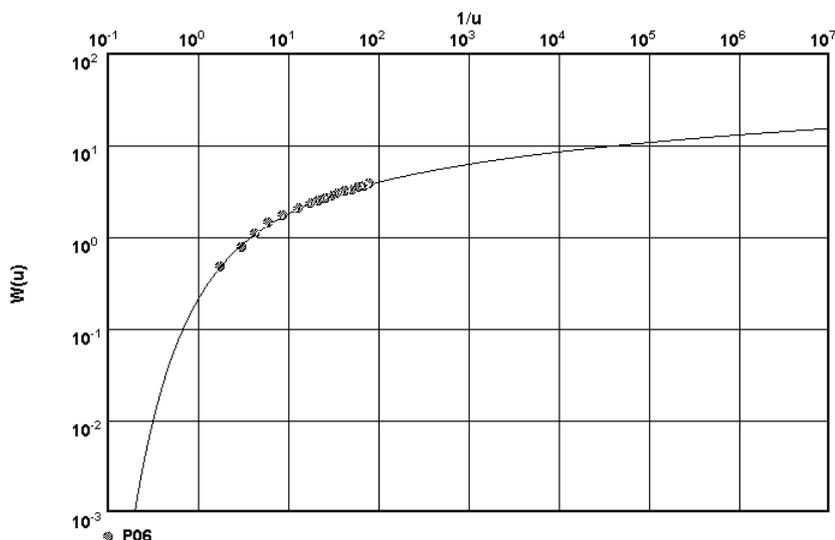


Figura 4. Diagrama rebaixamento $W(u)$ versus tempo ($1/u$), do poço P-M obtidas no poço de observação P-6.

5.3. FLUXO SUBTERRÂNEO

Os níveis estáticos avaliados referem-se ao período de 2000 a 2001 (adquiridos pela Embrapa através do Projeto *Studies on Human Impact on Forests and Floodplains in the Tropics*, SHIFT). Os meses utilizados para determinar as variações dos níveis estáticos foram os de maiores precipitações pluviométricas (março e abril) e os de menores precipitações (setembro e outubro), correspondendo aos períodos chuvoso e seco, respectivamente.

A Tabela 1 apresenta os dados dos poços utilizados para a determinação do potencial hidráulico do aquífero, calculado a partir das cotas topográficas e níveis estáticos.

A Figura 5 apresenta o gráfico de variação do nível estático nos poços tubulares para os períodos sazonais investigados. Observa-se que há variação do nível estático, nos poços selecionados, que vão de 0,4 m a 4,1 m.

Tabela 1. Dados dos poços selecionados para a obtenção do mapa potenciométrico.

Poços	Coordenadas		Cota topogr (m)	Nível estático		Potencial Hidráulico	
	Norte	Leste		P. Chuvoso	P. Seco	P. Chuvoso	P. Seco
P-4	9867955	214652	41,02	3,52	7,32	37,50	33,71
P-6	9868126	214911	44,50	5,57	6,68	38,93	37,83
P-11	9867949	214953	36,69	2,89	4,92	33,81	31,78
P-18	9868312	214616	54,42	5,55	7,96	48,87	46,46
P-19	9868383	214909	62,82	11,61	12,86	51,21	49,96
P-21	9867794	214723	42,18	4,40	8,48	37,79	33,70
P-22	9868022	215157	56,98	6,10	7,88	50,88	49,10
P-30	9868352	214249	50,59	2,62	3,06	47,98	47,53
P-32	9868455	213884	65,37	11,90	13,44	53,47	51,93
P-34	9868549	214270	56,27	6,31	7,13	49,96	49,15
P-44	9868335	215614	55,97	11,28	12,47	44,70	43,50
P-49	9867657	215280	43,18	3,78	5,00	39,41	38,19
P-53	9868092	215670	36,37	7,22	8,56	29,15	27,81
P-54	9867833	215601	53,29	8,20	10,40	45,09	42,89
P-55	9867506	215398	37,34	1,24	1,62	36,10	35,72

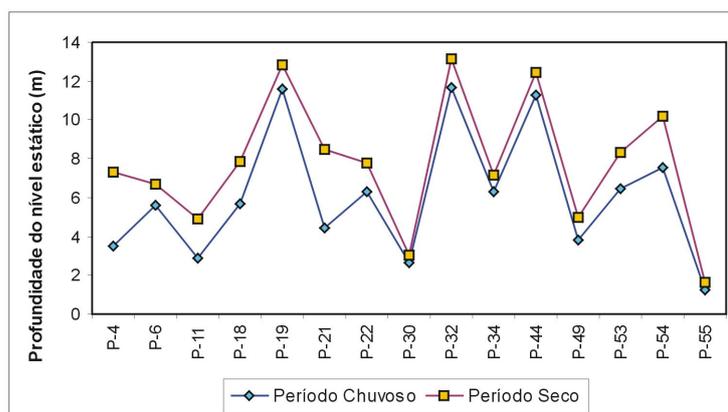


Figura 5. Variação do nível estático nos poços.

O bloco topográfico (Figura 6) apresentado, juntamente com a localização de alguns poços de monitoramento, dá uma indicação mais precisa do posicionamento dos poços dentro da área de estudo.

A partir dos valores de potenciais hidráulicos, foram traçados os mapas potenciométricos em relação aos períodos sazonais avaliados, utilizando-se o software SURFER 6.0 (*Golden Software Incorporated*).

Nas Figuras 7 e 8 estão representados os mapas potenciométricos do aquífero livre no período seco e chuvoso, respectivamente, através dos quais foi possível determinar o sentido do fluxo da água subterrânea.

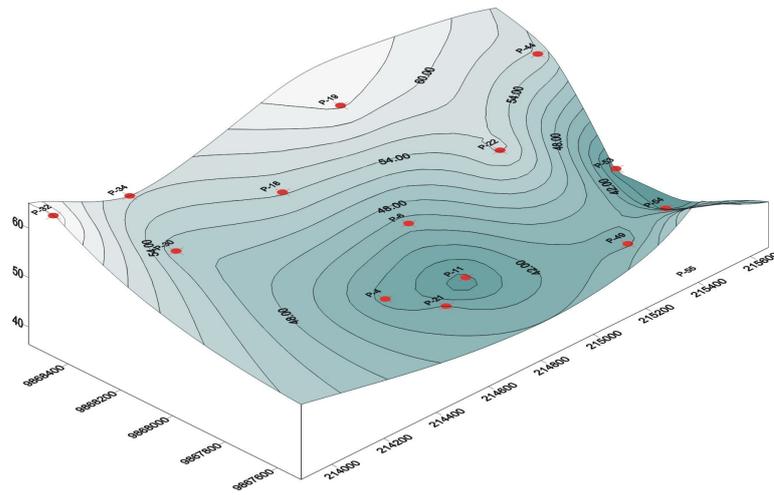


Figura 6. Bloco topográfico com a localização dos poços.

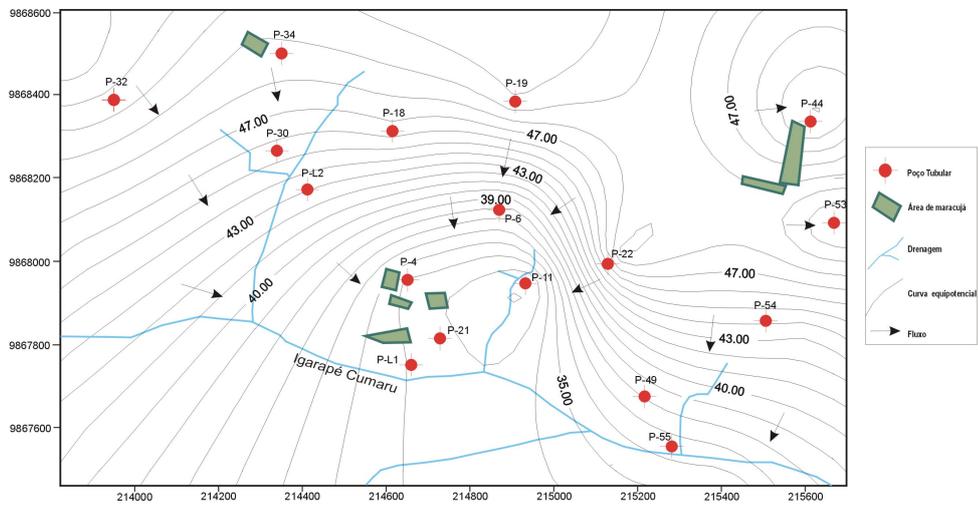


Figura 7. Mapa potenciométrico do período seco.

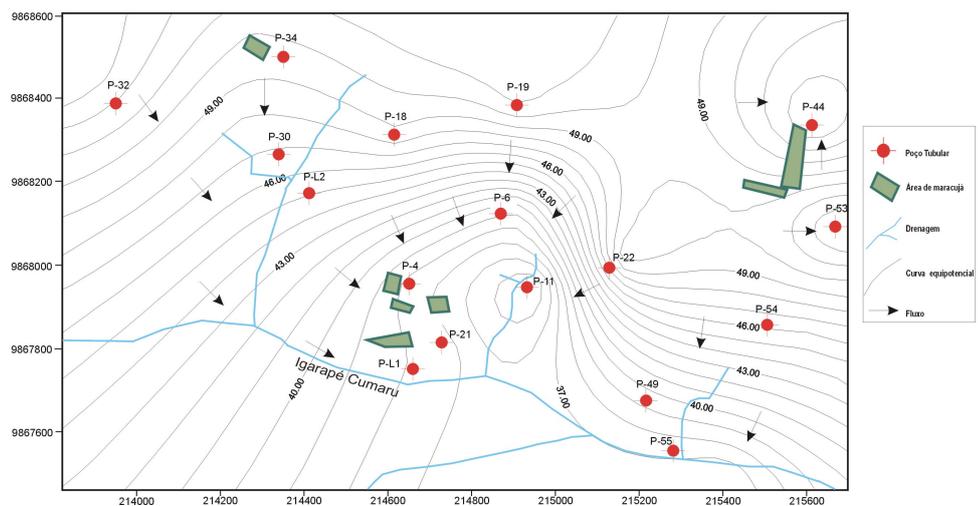


Figura 8. Mapa potenciométrico do período chuvoso.

A concentração das linhas de fluxo se dá na parte central da área, próximo à nascente e da drenagem principal. A superfície potenciométrica tende a acompanhar a topografia do terreno, sendo que na faixa NW-SE as linhas tendem a se juntar pelo aumento do gradiente hidráulico. Onde a topografia é mais elevada as equipotenciais mudam o modelo de seu traçado.

O fluxo subterrâneo da área de estudo escoou de noroeste e norte para a região central da área, sendo possível identificar três áreas principais de recarga e uma área de descarga que coincide com a drenagem principal.

O sentido do fluxo da água subterrânea no geral é da área superior do mapa para a região central, onde se encontra uma nascente e, continuando no sentido da drenagem principal, o igarapé Cumaru. O padrão principal do fluxo é de norte para sul, em direção ao igarapé Cumaru, principal exutório da área.

As curvas potenciométricas mostram também uma certa influência da pluviometria. No período chuvoso, com o nível da água mais elevado, as curvas avançam no sentido do igarapé Cumaru, podendo se observar como exemplo a curva de cota 40 m, que está mais ao sul do que no período seco (Figuras 7 e 8).

Com este padrão de fluxo, observa-se que as localizações das principais áreas de plantações de maracujá estão oferecendo grande risco de contaminação das águas superficiais e subterrâneas, principalmente na área próximo à nascente e drenagem principal, onde ocorre a maior concentração de plantações, além de a topografia ser menos elevada.

Outra implicação é o fato de que várias famílias de agricultores localizam-se próximas a essas plantações, utilizando água de poços escavados e/ou diretamente dos igarapés, colocando em risco também a saúde destes moradores.

Através dos blocos diagramas da Figura 9 e 10, pode ser melhor visualizada a distribuição das curvas potenciométricas e o sentido preferencial das linhas de fluxo, mostrando com maior exatidão o potencial de risco de contaminação dos recursos hídricos na área de estudo.

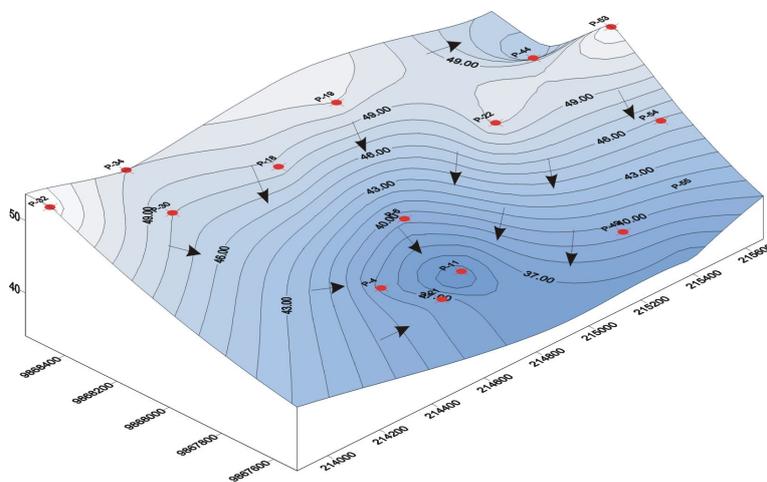


Figura 9. Bloco diagrama do período chuvoso.

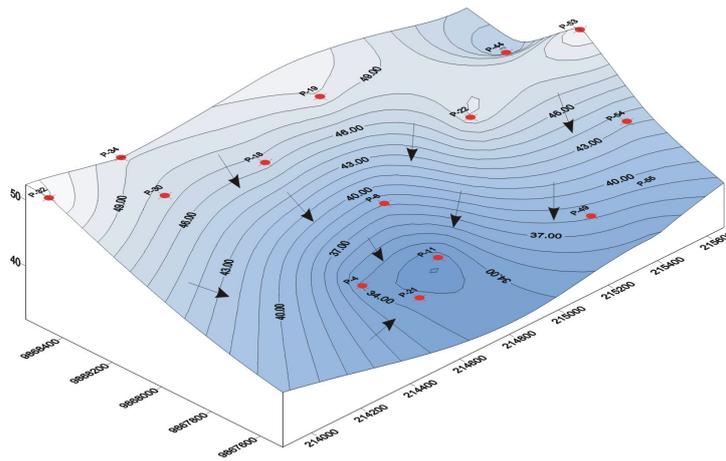


Figura 10. Bloco diagrama do período seco.

5.4. VELOCIDADE DO FLUXO SUBTERRÂNEO

A velocidade da água subterrânea pode ser, em qualquer local, obtida através dos mapas potenciométricos. A equação da velocidade da água subterrânea pode ser derivada de uma combinação da Lei de Darcy (3) e equação da velocidade hidráulica (4).

$$Q = K.A.dh/dl \quad (3)$$

$$Q = A.v \quad (4)$$

Onde, Q é a razão de fluxo ou volume por unidade de tempo, K é a condutividade hidráulica, A é a área da seção transversal do fluxo, (dh/dl) é o gradiente hidráulico e v é a velocidade de Darcy ou velocidade aparente (Heath, 1995).

A velocidade aparente (5) de escoamento de fluxo subterrâneo pode ser calculada através da expressão:

$$v = K.dh/ dl. \quad (5)$$

O gradiente hidráulico foi obtido entre o poço P-6 (poço de observação do teste de bombeamento) e os poços (P-4, P-11, P-18, P-19, P-22). Os valores obtidos variaram de 0,01 a 0,06 m.

Os valores de gradiente hidráulico e a condutividade hidráulica de 27,9 m/dia forneceram resultados, para a velocidade aparente do fluxo subterrâneo, que variaram de 0,29 m/dia a 1,73 m/dia.

A velocidade aparente de escoamento determinada foi então utilizada para calcular a velocidade real do fluxo subterrâneo através da equação:

$$Vr = v/\eta_e \quad (6)$$

Onde Vr – velocidade real; v – velocidade aparente; η_e –porosidade efetiva.

A porosidade efetiva foi estimada em 0,25 de acordo com os valores de referência citados na literatura (Keeler, 1996; Heath, 1995). A velocidade real do fluxo subterrâneo no aquífero livre entre os poços selecionados variaram de 0,9 m/dia a 5,7 m/dia.

6. CONCLUSÕES

O aquífero livre da microbacia do Cumaru é constituído por sedimentos predominantemente arenosos quaternários, areno-siltosos e com algumas intercalações de lentes argilosas, com distribuição em toda a área. Tem uma espessura estimada em 12 m.

O estudo dos parâmetros hidrodinâmicos do aquífero mostraram, relativamente, uma elevada produtividade deste aquífero refletido na condutividade hidráulica de 27,9 m/dia e transmissividade de 347 m²/dia, determinadas através de teste de bombeamento.

As curvas equipotenciais apresentam relação direta com a topografia do terreno e com a pluviometria, através da variação sazonal. O sentido geral do fluxo subterrâneo é de norte para sul e de noroeste para sudeste, em direção ao igarapé Cumaru, principal exutório da área.

As características do aquífero determinadas neste estudo permitem ressaltar a importância de pesquisas de cunho ambiental a fim de difundir a preservação dos recursos hídricos, principalmente dos aquíferos mais superficiais, por apresentarem maior vulnerabilidade à contaminação.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] LEÃO, L. M. *Caracterização hidrogeológica em área de agricultura intensiva na microbacia do igarapé Cumaru, Igarapé-Açu, nordeste do Pará*. 2003. 105p. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-graduação em Geologia e Geoquímica, Centro de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém.
- [2] FEITOSA, F. A. C.; MANOEL FILHO, J. 1997. *Hidrogeologia: Conceitos e Aplicações*. Fortaleza: CPRM, LABHID-UFPE. 389 p.
- [3] LIMA, L. M. *Estudo experimental da mobilidade do dimetoato em áreas de agricultura intensiva na bacia hidrográfica do igarapé Cumaru, Igarapé-Açu (PA)*. 2003. 81p. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-graduação em Geologia e Geoquímica, Centro de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém.
- [4] MELO JUNIOR, H. R.; WICKEL, A. J.; SÁ, T. D. A. Caracterização hidrogeológica e mapeamento da vulnerabilidade natural do aquífero livre na bacia hidrográfica do igarapé Cumaru, Igarapé-Açu-PA. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUA SUBTERRÂNEA, 12., 2001. Florianópolis. *Anais...* Florianópolis: 1 CD-ROM.
- [5] FREEZE, R. A.; CHERRY, J. A. *Groundwater*. Englewood Cliffs, Prentice-Hall Inc. New Jersey, EUA. 1979. 640p.

- [6] ROCHA, G. A.; JORBA, A. F. *Manual de operação e manutenção de poços*. Departamento de Águas e Energia Elétrica, 2ª ed São Paulo. 1982. 90p.
- [7] THEIS, C. V. 1935. The relation between the lowering of the piezometric surface and the rate and duration of discharge of a well using groundwater storage. *Trans. Amer. Geophys. Union*. (2): 519-524.
- [8] HEATH, R.C. 1995. *Basic Ground-Water Hydrology*. U.S. Geological Survey, Information Services. 84p.
- [9] KEELER, E.A. 1996. *Environmental Geology*. 7.ed. New Jersey: Prentice Hall, Upper Saddle River. 560