

CARACTERIZAÇÃO DA QUALIDADE DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DO AQUÍFERO ALTER DO CHÃO, ESTUDOS DE CASO DAS ESTAÇÕES DA REDE DE MONITORAMENTO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS (RIMAS – CPRM) NO MUNICÍPIO DE MANAUS-AM

Sílvia Cristina Benites Gonçalves ¹; Janaína Simone Neves Miranda ²

Resumo

A Rede de Monitoramento de Águas Subterrâneas – RIMAS da Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais – CPRM, Serviço Geológico do Brasil, alocada nos principais aquíferos do país encontra-se em implantação e expansão. Na região amazônica o aquífero Alter do Chão é o principal reservatório de água subterrânea e apresenta elevados valores de vazões. Neste trabalho são apresentados os primeiros resultados de caracterização hidroquímica realizada nos poços instalados no aquífero Alter do Chão localizados na cidade de Manaus-AM, as amostragens foram realizadas pelo método de baixa vazão. O cálculo do balanço iônico dos resultados analíticos apresentaram valores baixos permitindo a validação de todas as amostras.

Os resultados das análises das águas subterrâneas foram confrontados com os valores de referência da Resolução do Conselho Nacional de Meio Ambiente - CONAMA n° 396/2008 e apresentaram-se dentro dos limites estabelecidos, com exceção do parâmetro pH variando de 4,5 a 5,87 indicando águas levemente ácidas.

As águas analisadas são pouco mineralizadas com valores de condutividade elétrica variando de 9,39 $\mu\text{S cm}^{-1}$ a 22,36 $\mu\text{S cm}^{-1}$ e foram classificadas como bicarbonatada cálcica e cloretada cálcica.

¹ Geóloga. Pesquisadora em Geociências. Rede Integrada de Monitoramento das Águas Subterrâneas - Gerência de Hidrologia e Gestão Territorial. Hidrogeologia. CPRM – Serviço Geológico do Brasil. Av. André Araújo, 2160. Aleixo. Manaus-AM. Tel 92-2126 0326. Fax 92 2126 0319 silvia.goncales@cprm.gov.br

² Geóloga. Pesquisadora em Geociências. Rede Integrada de Monitoramento das Águas Subterrâneas - Gerência de Hidrologia e Gestão Territorial. Hidrogeologia. CPRM – Serviço Geológico do Brasil. Av. André Araújo, 2160. Aleixo. Manaus-AM. Tel 92-2126 0326. Fax 92 2126 0319 janaina.miranda@cprm.gov.br

Abstract

The Network Monitoring Groundwater - RIMAS Company Research of Mineral Resources - CPRM, Geological Survey of Brazil, allocated in the major aquifers of the country lies in deployment and expansion. Amazon in the aquifer Alter do Chão is the main reservoir of underground water and has high values of flows. This paper presents the first results of hydrochemical characterization performed in wells installed in Alter do Chão Aquifer located in Manaus -AM , the samplings were performed at low flow method are presented. The calculation of the ionic balance of analytical results showed low levels allowing the validation of all samples.

The results of the analyzes of groundwater were compared with reference values from the National Council for the Environment - CONAMA Resolution n° 396/2008 and were within established limits, except for pH parameter ranging from 4.5 to 5.87 indicating slightly acidic waters.

The water samples are poorly mineralized with electrical conductivity values ranging from 9.39 $\mu\text{S cm}^{-1}$ and 22.36 $\mu\text{S cm}^{-1}$ and were classified as calcium bicarbonate and calcium chlorinated.

Palavras-Chave – Aquífero Alter do Chão, Qualidade das Águas Subterrâneas, Hidrogeologia

INTRODUÇÃO

A Rede de Monitoramento de Águas Subterrâneas – RIMAS da Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais – CPRM, Serviço Geológico do Brasil, alocada nos principais aquíferos do país, possui equipamentos automatizados (*dataloggers*) instalados nos poços para os estudos quantitativos da água e equipamentos para coleta de amostras de águas subterrâneas e para análises de parâmetros indicativos da qualidade da água *in loco* e nos Laboratórios de Análises Minerais da CPRM, encontra-se em franca expansão tanto no aumento do número de estações de monitoramento, seja por perfurações de novos poços ou por aquisição de poços cedidos, quanto na ampliação dos parâmetros indicadores de qualidade das águas.

A RIMAS em Manaus é constituída por cinco estações situadas no Aquífero Alter do Chão, distribuídas na área urbana do município, conforme Figura 01 - recorte do mapa Geológico do Amazonas (CPRM-2006), das quais apresentamos neste trabalho as estações PT-02 e PT-05, localizadas respectivamente no Aeroclube do Amazonas, bairro Flores, e no Country Club, bairro Parque 10 de Novembro, cujos pontos foram amostrados e realizadas análises físico-químicas das águas subterrâneas.

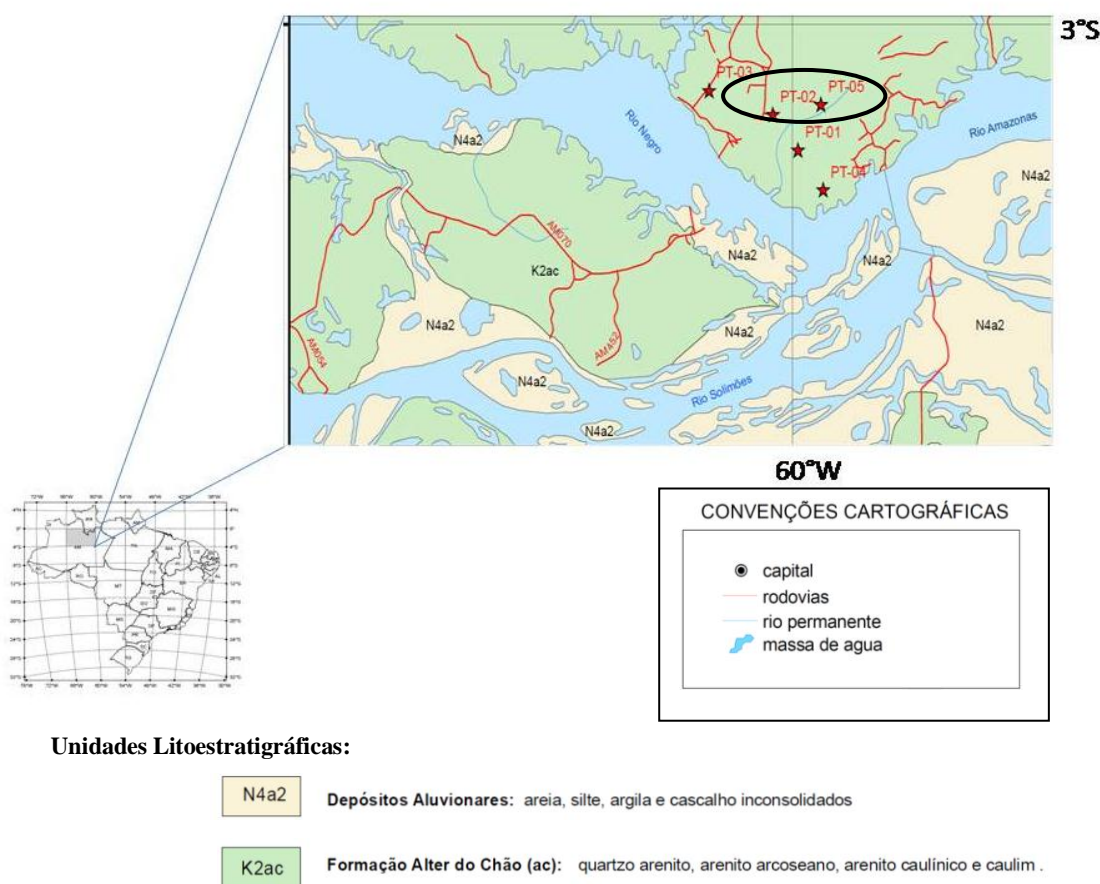


Figura 01 – Mapa geológico e de localização dos poços de monitoramento, extraído do Mapa Geológico do Estado do Amazonas – CPRM, 2006.

O AQUÍFERO ALTER DO CHÃO

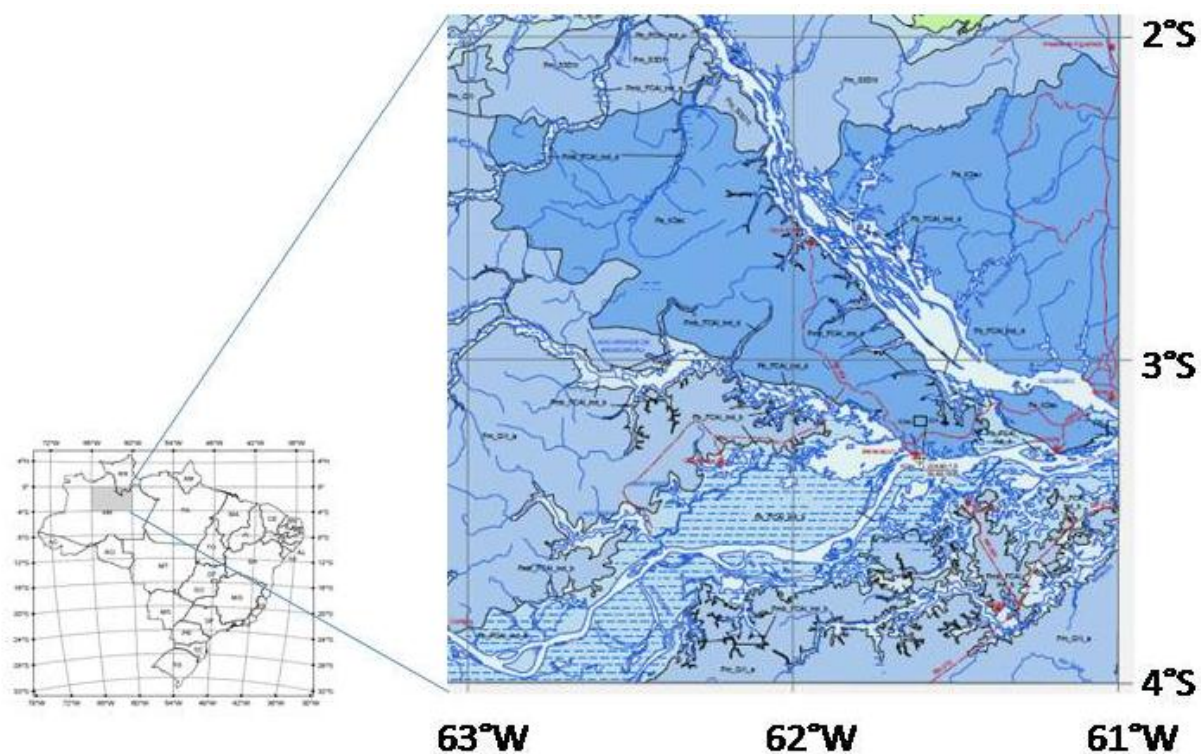
O Aquífero Alter do Chão representado pela Formação Alter do Chão se estende nas Bacias Sedimentares do Solimões e do Amazonas. Geologicamente os limites da Bacia do Amazonas, nos trabalhos de Cunha *et al.* (2007), estão situados entre os crátons das Guianas ao norte e do Brasil ao sul. Possui área de aproximadamente 500.000km², abrange parte dos Estados do Amazonas e do Pará e separa-se a leste da bacia tafrogênica do Marajó através do Arco de Gurupá e a oeste da Bacia do Solimões pelo Arco de Purus.

Considerando as premissas da Estratigrafia de Sequências de acordo com os trabalhos de Cunha *et al.* (2007), a Bacia do Amazonas apresenta duas megassequências de primeira ordem que totalizam cerca de 5.000m de preenchimento sedimentar e ígneo: uma paleozóica constituída por rochas sedimentares de naturezas variadas, associadas a um grande volume de intrusões de diques e soleiras de diabásio mesozóico e uma mesozóico-cenozóica sedimentar. Durante o Cretáceo instalou-se um sistema fluvial de alta energia estendendo-se até as bacias subandinas que originou a deposição dos arenitos grossos da Formação Alter do Chão, arenitos, conglomerados de *facies* de planície e leques aluviais, restritos à porção oriental da bacia. A unidade Alter do Chão foi alterada em seus limites temporais em relação aos retratados na Carta Estratigráfica de Cunha *et al.* (1994) *apud* Cunha *et al.* (2007), devido evidências de um paleossolo (lateritização) desenvolvido sobre esta unidade (denominada rocha mãe) apresentado nos trabalhos de Horbe *et al.* (2001), referente à região Presidente Figueiredo e Vila de Balbina, localizado ao norte do município de Manaus, cita os estudos de Vasconcellos *et al.* 1994 e Ruffet *et al.* 1996 *apud* Horbe *et al.* (2001), embora idades mais precisas dos períodos de lateritização na Amazônia não foram estabelecidas, as datações obtidas, pelo método Ar/Ar, em minerais neoformados de Mn na Serra dos Carajás no Estado do Pará, indicam o início de lateritização entre 65 e 70 milhões de anos (Cretáceo Superior- Paleoceno), apontam a necessidade de obter maior número de idades deste tipo para a extrapolação regional.

Nos trabalhos de Reis *et al.* (2006) a unidade Alter do Chão é apresentada na Sequência Cretácea- Paleógena formada a partir de sistemas fluviais de alta energia fluindo em direção ao Oceano Pacífico, com deposição de grande volume de sedimentos arenosos. No Paleógeno, o início do soerguimento andino efetivou o isolamento da bacia Alter do Chão, onde rios cederam lugar a extensos lagos alimentados por um sistema fluvial meandrante de baixa energia, cuja composição litológica apresenta arenitos e pelitos tipicamente avermelhados, com características deposicionais continentais e idade Cretácea superior (Bizzi *et al.* 2001, *apud* Reis *et al.*, 2006). De acordo com Dino *et al.* (1999) *apud* Reis *et al.* (2006) a sucessão inferior é predominantemente arenosa e apresenta ciclos de sedimentação relacionados a ambientes fluviais anastomosados com retrabalhamento eólico. A sucessão superior é predominantemente pelítica e de um ambiente progradacional flúvio-deltáico.

A porção oeste do aquífero Alter do Chão apresenta em seu limite superior a Formação Solimões, descrita por Reis *et al.* (2006) como unidade sedimentar originada do soerguimento e paroxismo da cadeia andina no âmbito da Bacia do Amazonas, é uma formação mais jovem que a Alter do Chão e nos trabalhos de Reis *et al.* (2006a) *apud* Reis *et al.* (2006) registra equivalência temporal à formação Içá da Bacia do Solimões. O limite inferior do aquífero Alter do Chão corresponde ao contato entre as rochas sedimentares clásticas da Formação Alter do Chão e evaporitos e calcários da Formação Nova Olinda (Reis *et al.*, 2006).

O Aquífero Alter do Chão, principal reservatório de águas subterrâneas da Bacia do Amazonas e um dos mais importantes aquíferos do país, é classificado como aquífero poroso muito produtivo (Figura 02), com vazões geralmente maiores que 50 m³/h, livre a semi confinado na porção aflorante e confinado na porção centro-oeste da Folha Manaus, nos seus limites superiores encontra-se a unidade Içá. Corresponde a uma unidade contínua, de extensão regional, constituído essencialmente por arenitos pouco consolidados de granulometria variada, às vezes conglomeráticos, com intercalações de camadas e ou lentes de argilas e arenitos silicificados, sua porção superior é predominantemente pelítica. Nos arredores de Manaus apresenta espessura máxima pouco superior à 245m e parâmetros hidrodinâmicos que indicam capacidade específica pouco variável, em média 2m³/h/m, condutividade hidráulica (K) de 10⁻⁵m/s e transmissividade de 1,3 x 10⁻³m²/s. Na porção centro-oeste da Folha Manaus, não aflorante, a espessura da unidade alcança cerca de 400m. Geralmente a unidade apresenta águas de boa qualidade química, com baixo teor de sais dissolvidos, variando entre 10mg/L e 25mg/L, e pH levemente ácido variando entre 4,5 e 5,5.



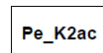
PRODUÇÃO (Vazão em m³/h)

AQUÍFEROS POROSOS

GERALMENTE ELEVADA



AQUÍFEROS MUITO PRODUTIVOS (Q > 50 m³/h)



Aquífero Alter do Chão

Figura 02 – Recorte do Mapa Hidrogeológico do Brasil - Folha Manaus SA-20 (CPRM-2010).

MATERIAIS E MÉTODOS

Os dois poços objetos deste estudo PT-02 e PT-05 alocados no aquífero Alter do Chão pertencentes ao Projeto Rimás (Rede Integrada de Monitoramento das Águas Subterrâneas) localizam-se em área urbana do Município de Manaus. Tais poços possuem, respectivamente, profundidades de 100,00m e 80,00m.

As amostragens para a caracterização físico-química das águas foram realizadas no mês de outubro de 2013. Este período considerado de seca, denominado verão na região, caracterizado por ocorrência de chuvas menos intensas e temperaturas em torno de 40°C, inicia-se em junho e encerra-se em novembro.

A amostragem foi realizada pelo método de Baixa Vazão (*Low Flow Sampling*), equipamento da marca Clean, com capacidade de amostragem até cerca de 60 metros de profundidade e equipamento *drop tube* acoplado que permite amostragem em profundidades superiores a 60 m.

A amostragem no poço PT-02 foi realizada em quatro profundidades diferentes (PT-02-1 em 56m, PT-02-2 em 68m, PT-02-3 em 78m e PT-02-4 em 93m) concordantes com as regiões centrais dos filtros instalados. Já a amostragem no poço PT-05 foi realizada na profundidade de 30m, ou seja, coincidente apenas com a região central do primeiro filtro. Cada amostragem foi realizada conforme procedimento adotado pelo método Baixa Vazão e de acordo com Mourão *et al.*(2013) descrito no Manual Prático de Configuração, Calibração, Uso e Limpeza do Equipamento de Amostragem de Baixa Vazão. Levando-se em consideração também o tempo necessário para esgotar o primeiro volume de água, que consiste na somatória dos volumes da bexiga, do tubo e da célula de fluxo, para o início da purga, após a estabilização hidráulica do poço e na sequência a estabilização dos parâmetros indicativos da qualidade da água (condutividade elétrica, oxigênio dissolvido e pH), finaliza-se a purga e procede-se a amostragem.

Os parâmetros nitrito (NO^{2-}), cor aparente e cor real foram medidos *in loco* com a utilização do equipamento Nova 60 Espectrofotômetro da marca Merck.

As amostras coletadas foram acondicionadas e conservadas conforme procedimentos estabelecidos no Plano de Ação 2011 da RIMAS e orientações dos laboratórios de análises minerais (Lamin), posteriormente encaminhadas aos Lamin-RJ e Lamin-MA, para a realização das seguintes análises: Al^{4+} , As, Ba^{2+} , Be, B, Cd^{2+} , Ca^{2+} , Pb^{+2} , Co^{2+} , Cu^{2+} , Cr^{6+} , Sb, Sn, Sr^{2+} , Fe^{2+} , Li^+ , Mg^{2+} , Mn^{2+} , Mo^{6+} , Ni^{2+} , Se, Si, Ti, V, Zn^{2+} , Na^+ , K^+ , Ag, Hg^{2+} (método ICP-OES); Cl^- , Br^- , SO_4^{2-} , N-NO_3^- , PO_4^{3-} , F (método cromatografia iônica líquida); CO_3^{2-} , HCO_3^- , pH, (método potenciométrico), cor aparente e cor real (método colorimetria); turbidez (método turbidimetria), NH_4^+ (método UV-Vis); condutividade (método condutivímetro).

As amostras de águas foram classificadas com base nos resultados analíticos, utilizando-se os diagramas de Piper e diagramas de Stiff, gerados no programa AquaChem 3.7 (Schumberger Water Services 1997).

CONTROLE DE QUALIDADE

Com o objetivo de verificar a qualidade dos procedimentos de amostragem e dos resultados reportados pelos laboratórios Lamin-RJ e Lamin-MA da CPRM (Anexo 1), foi realizado o cálculo do balanço iônico para validação de cada amostra conforme definido por Custódio & Llamas (1983) e apresentado na Equação 1.

(Equação 1)

$$Ep (\%) = \left| \frac{\sum \hat{\text{ânions}} - \sum \hat{\text{cátions}}}{\frac{1}{2} |\sum \hat{\text{ânions}} + \sum \hat{\text{cátions}}|} \right| \times 100$$

De acordo com Custódio & Llamas (1983), o erro máximo permitido para as análises físico-químicas da água é limitado pelos intervalos observados de condutividade.

Todas as análises apresentaram valores de erro percentual inferiores ao erro máximo permitido de 30% e foram, portanto, validadas (Tabela 1).

Tabela 1: Tabela dos resultados de condutividade e o erro prático calculado

Ponto	PT-02-1	PT-02-2	PT-02-3	PT-02-4	PT-05
Condutividade ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	9,96	9,39	9,73	9,57	22,36
Erro calculado (%)	11	<1	2	<1	<1

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Em geral, as águas podem ser interpretadas como pouco mineralizadas em função dos baixos valores de condutividade elétrica (CE) das amostras. A CE mínima e a máxima das águas dos poços analisados do Aquífero Alter do Chão são, respectivamente, $9,39 \mu\text{S cm}^{-1}$ e $22,36 \mu\text{S cm}^{-1}$. Em relação ao pH as amostras são levemente ácidas com valores variando entre 4,5 e 5,87.

Para efeito de avaliação da qualidade das amostras de água subterrânea, os resultados foram confrontados com os valores de referência para os parâmetros de interesse que fazem parte da Resolução CONAMA 396/2008, a qual estabelece os padrões de qualidade para águas subterrâneas.

Todos os parâmetros analisados apresentaram valores dentro dos limites estabelecidos com exceção do parâmetro pH onde todas as amostras apresentaram-se levemente ácidas, ou seja, abaixo do limite mínimo estabelecido ($\text{pH}=6$), conforme apresentado na Figura 03, a seguir:

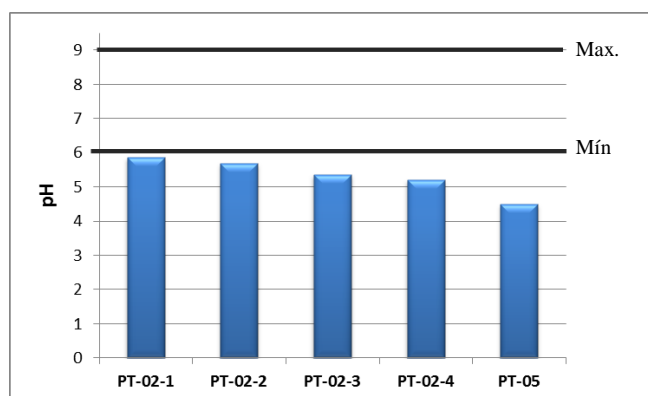


Figura 03: Gráfico do valor de pH das amostras.

A partir dos resultados de cátions e ânions principais procedeu-se a elaboração dos diagramas de Piper e Stiff, com o auxílio do software AquaChem 3.7. As amostras foram classificadas como bicarbonatada cálcica (PT-02-1, PT-02-2 e PT-02-3) e cloretada cálcica conforme apresentado no diagrama de Piper (PT-02-4 e PT-05) ilustrado na Figura 04.

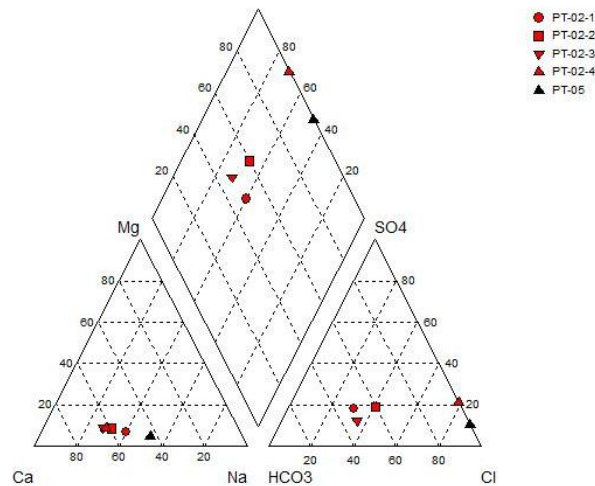


Figura 04: Diagrama de Piper para as amostras de águas dos poços PT-02 e PT-05.

Para cada uma das amostras analisadas foram elaborados diagramas de Stiff, que podem ser visualizados nas Figuras 05 e 06, ilustrando a região do perfil do poço onde foi realizada a amostragem.

Observa-se que para os cátions do poço PT-02 o cálcio e o magnésio não variam com a profundidade, enquanto o sódio diminui gradativamente com o aumento da profundidade. Os ânions permanecem estáveis exceto para o bicarbonato que diminui gradativamente com o aumento da profundidade.

Os resultados para o poço PT-05, amostrados apenas no primeiro filtro (30m de profundidade), foram similares aos resultados obtidos na amostra PT-02-4 amostrado no último filtro a 98m de profundidade.

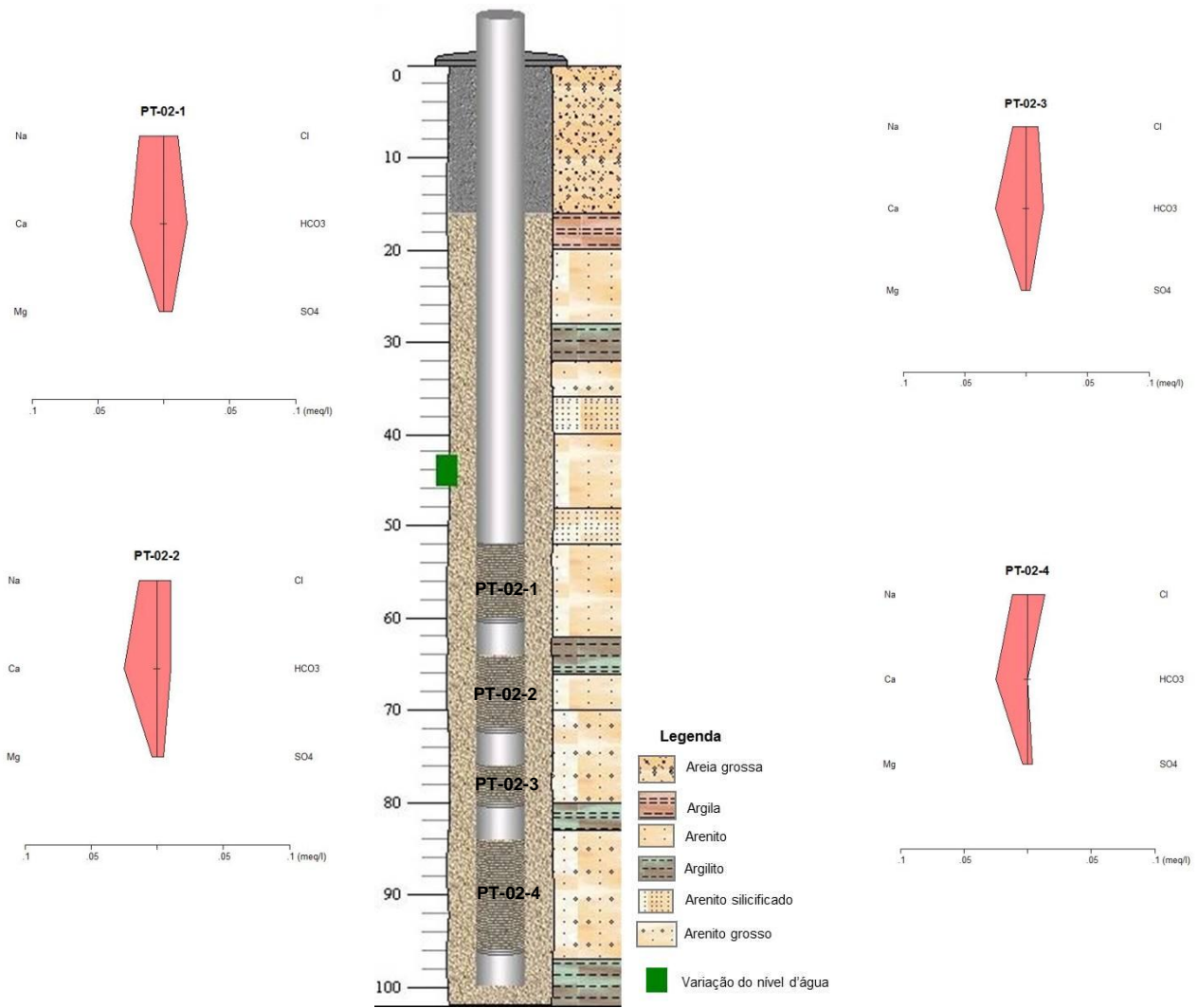


Figura 05: Perfil do Poço PT-02 e Diagramas de Stiff para as amostras de águas subterrâneas coletadas (conforme indicação numérica nos filtros).

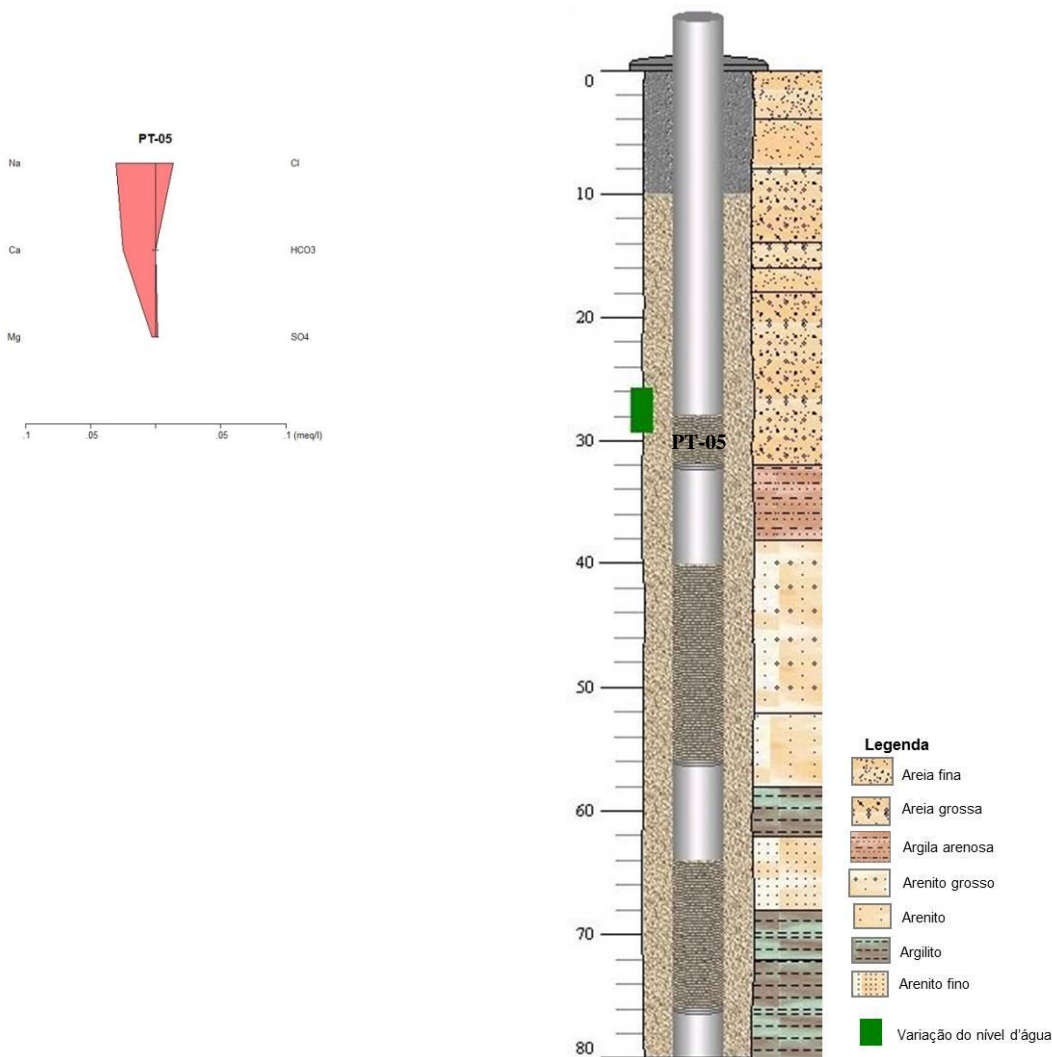


Figura 06: Perfil do Poço PT-05 e Diagrama de Stiff para as amostras de águas subterrâneas.

CONCLUSÕES

A interpretação dos resultados analíticos das amostras de dois poços do aquífero Alter do Chão representa o início das atividades de monitoramento qualitativo implementado no Projeto Rimas e permite a caracterização das águas como pouco mineralizadas e a classificação como bicarbonatada cálcica e cloretada cálcica.

Importante ressaltar que na estação PT-02 ocorreram mudanças no ambiente, tais como, aterramento da área da estação e do igarapé de sua proximidade, foram observadas obras até o mês de março de 2013 na estação de monitoramento e até o mês de outubro de 2013 na extensão do igarapé. Provavelmente os resultados obtidos na amostragem do filtro mais profundo do PT-02-4, semelhantes aos resultados do PT-05, constituem a caracterização físico-química esperada da água do Aquífero Alter do Chão para a região, pois a estação de monitoramento PT-05 encontra-se sem a intervenção de obras.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGUIAR, C. J. B. *et al.*, 2010. Mapa Hidrogeológico do Brasil, Folha Manaus AS-20, escala 1:1.000.000, CPRM – Serviço Geológico do Brasil, Manaus. www.cprm.gov.br
- CUNHA, P. R. da C. *et al.*, 2007. Bacia do Amazonas. Boletim de Geociências da Petrobras, Rio de Janeiro, v. 15, n. 2, p.227-251.
- CUSTODIO, E.; LLAMAS, M.R. 1983. Hidrologia Subterrânea. 2ª ed. Barcelona: Omega, 2v.
- HORBE, A. M.C. *et al.*, 2001. A Laterização na gênese das superfícies de aplainamento da região de Presidente Figueiredo – Balbina, nordeste do Amazonas. In: REIS, N. J.; MONTEIRO, M. A. S. Contribuição à Geologia da Amazônia. Manaus: Sociedade Brasileira de Geociências, v.2, p.146-171.
- REIS, N. J. *et al.*, 2006. Geologia e Recursos Minerais do Estado do Amazonas, CPRM – Serviço Geológico do Brasil, Manaus, p.23-27. www.cprm.gov.br
- REIS, N. J. *et al.*, 2006. Mapa Geológico do Estado do Amazonas, CPRM – Serviço Geológico do Brasil, Manaus. www.cprm.gov.br

AGRADECIMENTOS

A Deus,
A Diretoria Executiva da CPRM,
Ao DEHID,
A Coordenação Nacional da RIMAS,
A SUREG-MA,
A Coordenação Regional da RIMAS,
E todos colaboradores e colaboradoras da CPRM.

ANEXO I – Compilação dos resultados hidroquímicos e dados dos poços de monitoramento

Nº Rimas	PT-02-1	PT-02-2	PT-02-3	PT-02-4	PT-05
Coordenadas (lat/long)	3°4'22"/60°1'5"	3°4'22"/60°1'5"	3°4'22"/60°1'5"	3°4'22"/60°1'5"	3°3'54"/59°58'23"
Data da coleta	09/10/2013	09/10/2013	09/10/2013	09/10/2013	13/10/2013
Profundidade (m)	56	68	78	93	30
Nº de Campo	SG-08.1	SG-08.2	SG-08.3	SG-08.4	SG-09.1
Cor aparente (u Hazen)	13,9	8,9	6,7	9,3	9,1
Cor Real (u Hazen)	0,3	0,2	<0,2	<0,2	<0,2
Turbidez (uT)	12,60	5,11	1,83	3,49	4,15
pH	5,87	5,7	5,37	5,22	4,50
CE (µS/cm)	9,96	9,39	9,73	9,57	22,36
Li (mg/L)	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005
Na (mg/L)	0,4222	0,3094	0,254	0,2696	0,6925
K (mg/L)	1,356	1,155	1,066	0,9455	0,2995
Mg (mg/L)	0,041	0,044	0,044	0,043	0,034
Ca (mg/L)	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500
Sr (mg/L)	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Mn (mg/L)	0,010	0,010	0,010	0,011	0,010
Fe (mg/L)	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010
NH ₄ ⁺	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010
Ba (mg/L)	0,034	0,033	0,035	0,030	0,010
Zn (mg/L)	0,01	0,0119	0,0127	0,0132	0,0184
Cu (mg/L)	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005
Ni (mg/L)	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005
F (mg/L)	0,0054	0,0055	0,0046	0,0052	0,0040
Cl (mg/L)	0,3819	0,3710	0,3436	0,4795	0,4724
Br (mg/L)	0,0142	0,0148	0,0142	ND	ND
SO ₄ (mg/L)	0,3155	0,2353	0,1638	0,1768	0,0769
NO ₃ ⁻ (mg/L)	2,2339	2,5656	2,6657	2,6544	5,4020
NO ₂ ⁻ (mg/L)	0,008	0,006	0,009	0,006	0,009
HCO ₃ ⁻ (mg/L)	1,09	0,63	0,87	ND	ND
CO ₃ ⁼ (mg/L)	ND	ND	ND	ND	ND
Al (mg/L)	0,011	0,017	0,029	0,031	0,116
As (mg/L)	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002
Be (mg/L)	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002
B (mg/L)	0,100	0,100	0,100	0,100	0,100
Cd (mg/L)	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002
Pb (mg/L)	0,002	0,0031	0,0024	0,0028	0,002
Co (mg/L)	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005
Cr (mg/L)	0,005	0,005	0,005	0,005	0,0053
Sb (mg/L)	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002
Sn (mg/L)	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Mo (mg/L)	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010
Se (mg/L)	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005
Si (mg/L)	5,908	5,482	5,011	5,101	3,324
Ti (mg/L)	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005
V (mg/L)	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005
Ag (mg/L)	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Hg (mg/L)	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003
PO ₄ ⁻³ (mg/L)	ND	ND	ND	ND	ND