

**MONITOTAMENTO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNAS NA USINA
TERMELÉTRICA PRESIDENTE MÉDICI, CANDIOTA, RS**

Relatório Final

Contrato N° CGTEE/DTC/068/2011

Julho / 2014



FUNDAÇÃO LUIZ ENGLERT

À Companhia de Geração Térmica de Energia Elétrica

Aos cuidados: Eng^a Simone Soccal

A Fundação Luiz Englert, através do Centro de Ecologia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, apresenta o **Relatório Final** referente ao Programa de Monitoramento de Águas Subterrâneas na área da Usina Termelétrica Presidente Médici, Fases A, B e C, em Candiota, conforme contrato nº CGTEE/DTC/068/2011 e Aditivos, para o período de julho de 2013 a Abril 2014.

Porto Alegre, 07 de Julho de 2014.

Catarina da Silva Pedrozo
Coordenadora do Projeto
Centro de Ecologia/UFRGS



1. Introdução

1.1 Objetivos e escopo

O presente relatório tem por objetivo apresentar todos os resultados obtidos nas quatro campanhas de amostragem das águas subterrâneas na área da Usina Termelétrica Presidente Médici, Candiota-RS, realizadas ao longo de um ano com intervalos trimestrais de coleta. O relatório apresenta os resultados e a interpretação com o diagnóstico das condições ambientais das águas subterrâneas em cada momento de coleta e como a qualidade química das mesmas variou ao longo do tempo.

As coletas de amostras de água subterrânea foram realizadas nas datas apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1. Períodos de coleta de amostras de água subterrânea.

Coleta	1ª coleta	2ª coleta	3ª coleta	4ª coleta
Data	23-25/07/2013	30 e 31 /10/2013 e 01/11/2013	27 e 28/01/2014	23 e 24/04/2014

A rede de monitoramento das águas subterrâneas contava, originalmente, com 20 poços, sendo 11 (onze) localizados na área da Usina Fase B e Fase C (PM-1, PM-2, PM-3, PM-4, PM-6, PM-7, PM-8, PM-9, PM-10, PM-11 e PM-12), 4 (quatro) na área do almoxarifado (PM-5, PM-13, PM-14 e PM-15) e 5 (cinco) na área denominada Candiota 1 (PM-16, PM-17, PM-18, PM-19 e PM-20). No período entre a 3ª e a 4ª campanhas de amostragem, contudo, dois poços (PM-15 e PM-18) foram destruídos em decorrência de obras de escavação e terraplenagem executadas nos respectivos locais. Com isso, a rede de poços de monitoramento contou



FUNDAÇÃO LUIZ ENGLERT

com 18 poços em condições de coleta na 4ª campanha de amostragem. A Figura 1, Figura 2, Figura 3 e Figura 4 mostram a localização das três áreas monitoradas e dos poços de monitoramento em cada uma delas.

As coordenadas UTM dos poços de monitoramento são apresentadas na Tabela 2,

Tabela 2. Coordenadas UTM dos poços de monitoramento instalados que compõem a Rede de Monitoramento das Águas Subterrâneas da área da Usina Termelétrica Presidente Médici, Candiota-RS.

Área	Identificação do Poço	UTM-E (m)	UTM-N (m)
Usina: Fase B Fase C	PM-1	245.297	6.506.061
	PM-2	245.197	6.506.348
	PM-3	244.697	6.505.920
	PM-4	245.432	6.506.344
	PM-6	245.207	6.506.556
	PM-7	245.658	6.506.651
	PM-8	244.990	6.506.168
	PM-9	245.048	6.506.172
	PM-10	245.713	6.506.076
	PM-11	245.030	6.506.022
	PM-12	244.896	6.506.056
	Almoxarifado	PM-5	244.985
PM-13		245.200	6.505.727
PM-14		245.145	6.505.767
PM-15 - soterrado		245.198	6.505.669
Candiota I	PM-16	246370	6505641
	PM-17	246421	6505624
	PM-18 - danificado	246298	6505694
	PM-19	246200	6505759
	PM-20	246365	6505731



FUNDAÇÃO LUIZ ENGLERT



LOCALIZAÇÃO DO MUNICÍPIO DE CANDIOTA



LOCALIZAÇÃO DO EMPREENDIMENTO



Figura 1. Localização das áreas monitoradas na Usina Termelétrica Presidente Médici: Área da Usina – Fase A e Fase B, Área do Almoxarifado e Área Candiota 1.



Figura 2. Localização dos poços de monitoramento na área da Usina – Fase B e Fase C.



Figura 3. Localização dos poços de monitoramento da área do Almojarifado. O poço PM-15 foi soterrado por obras de terraplenagem realizadas no local num período entre a terceira e quarta coleta.



Figura 4. Localização dos poços de monitoramento da área de Candiotá 1. O poço PM-18 apresenta danos irreversíveis na sua estrutura causados por escavações realizadas nas suas imediações num período entre a terceira e quarta coleta, inutilizando-o para amostragens.

1.2 Condições dos poços de monitoramento

Dos 20 poços que compõem a rede de monitoramento das águas subterrâneas, dois estão inutilizados para a coleta de amostras por conta de obras civis realizadas nas suas imediações. O poço PM-15, localizado a jusante e ao sul do almoxarifado, foi destruído e aterrado por obras de terraplanagem, conforme mostrado na Figura 5. O poço PM-18, por outro lado, localizado na porção central da área de Candiota I, foi danificado na sua estrutura pela ação de máquinas que realizaram escavações e terraplenagem nas suas adjacências, as quais deslocaram lateralmente e desalinham os tubos de revestimento e filtros, impedindo a introdução de qualquer amostrador (Figura 6).



Figura 5. Fotografia mostrando o local onde estava instalado o poço PM-15, agora soterrado por obra de terraplanagem.



Figura 6. Fotografia mostrando o poço PM-18 e a escavação executada na sua imediação que danificou a estrutura do mesmo. Note que o amostrador pode ser introduzido somente até o ponto onde o tubo apresenta deslocamento lateral, impedindo a coleta de amostras.

O estado de conservação e as condições e coleta nas quatro campanhas realizadas são resumidas Tabela 3. Como se pode observar na referida tabela, alguns poços continham água com alta turbidez nas datas de amostragem, o que interferiu nos resultados químico-analíticos de alguns parâmetros, resultando em altas concentrações de alumínio, ferro e manganês totais, além de outros metais que ocorrem no solo natural.

Por conta da alta turbidez na água de alguns poços, foram realizadas análises de metais dissolvidos nas amostras coletadas na segunda campanha para avaliar a influência da fração sólida suspensa nos resultados analíticos.



FUNDAÇÃO LUIZ ENGLERT

Tabela 3. Condições gerais dos poços de monitoramento nas datas de coleta. SR: sem restrição para coleta; AT: alta turbidez; VI: volume insuficiente; ST: sem tampa; AM: somente análise de metais.

Área	Identificação do Poço	Condição de preservação			
		1ª Coleta	2ª coleta	3ª coleta	4ª coleta
Usina: Fase B Fase C	PM-1	SR	SR	SR	SR
	PM-2	VI/AM	SR	SR/AT	SR/AT
	PM-3	SR	SR	SR	SR
	PM-4	ST	SR	SR	SR
	PM-6	SR	SR	SR	SR
	PM-7	SR	SR	SR	SR
	PM-8	ST/AT	SR/AT	ST/AT	ST/AT
	PM-9	SR/AT	SR	SR/AT	SR/AT
	PM-10	SR	SR	SR/AT	SR/AT
	PM-11	VI/AM/AT	VI/AM/AT	VI/AM/AT	VI/AM
	PM-12	SR/AT	SR/AT	SR/AT	SR/AT
	Almoxarifado	PM-5	SR	SR	SR
PM-13		SR	SR	SR/AT	SR/AT
PM-14		SR	SR	SR/AT	SR/AT
PM-15		SR	SR	SR/AT	Destruído Não coletado
Candiota I	PM-16	SR	SR	SR/AT	SR/AT
	PM-17	SR	SR	SR/AT	SR/AT
	PM-18	SR/AT	SR/AT	SR/AT	Danificado não coletado
	PM-19	SR/AT	SR/AT	SR/AT	SR/AT
	PM-20	SR	SR	SR	SR



1.3 Parâmetros analisados

Os parâmetros analisados, as condições de preservação e os prazos de encaminhamento ao laboratório analítico das amostras de água subterrâneas coletadas constam da Tabela 4.

Tabela 4. Parâmetros analisado, preservação e prazo de encaminhamento das amostras de água subterrânea coletadas. P: polietileno; V: vidro.

Parâmetro	Frasco	Preservação	Prazo de Entrega
DBO (mg/L)	P	Refrig. a 4 °C	<24h
DQO (mg/L)	V	Refrig. a 4 °C	<24h
Fenóis Totais (mg/L)	V	H ₂ SO ₄ conc. até pH < 2. Refrig. a 4°C	<24h
Fósforo Total (mg/L)	V	H ₂ SO ₄ conc. até pH < 2. Refrig. a 4°C	<24h
pH		Medir em campo	<24h
Condutividade (µS/cm)		Medir em campo	<24h
Cor (mg/L Pt-Co)		Refrig. a 4 °C	<24h
Turbidez (NTU)	P	Refrig. a 4°C e manter ao abrigo da luz	<24h
Óleos e Graxas (mg/L)	V	HCl 1+1 até pH≤2 Resfriamento a 4°C	<24h
Metais totais (mg/L) Al, Fe, Cu, Ar, Cd, Ni, Mn, Pb, Zn, Cr e Hg	P	HNO ₃ conc. até pH< 2. Refrig. a 4°C	<24h
Coliformes Termotolerantes (<i>E.Coli</i>)	V	Refrig.<10°C. Adicionar 0,3 mL para 120 mL de amostra de EDTA (372 mg/L).	<24h
Toxicidade crônica e Toxicidade aguda- <i>C. Dubia</i> (P/A)	P	2mL sol. K ₂ CrO ₇ a 20% em sol. HNO ₃ 1:1. Refrig. a 4°C	<24h



2. Metodologia

A metodologia de trabalho é apresentada nos tópicos a seguir.

2.1. Coleta de amostras

Em todas as campanhas de amostragem foi efetuado o esgotamento dos mesmos 24h antes da coleta. O procedimento de amostragem foi realizado com uso de luvas descartáveis, que foram substituídas após cada coleta. A água foi coletada com amostrador descartável tipo *bailer* em volume da ordem de 6 litros por poço.

Cada amostra coletada foi armazenada em frascos de vidro e polietileno fornecidos pelo laboratório, contendo os preservantes necessários para cada parâmetro a ser analisado. Os frascos foram acondicionados em caixas térmicas (uma para cada poço) e resfriados a 4°C. O tempo de coleta foi de aproximadamente 20 minutos por poço.

Da Figura 7 a Figura 21 são ilustrados procedimentos de coleta e de esgotamento dos poços e poços nas quatro campanhas de amostragem.



Figura 7. Coleta de amostra no poço PM-17 com amostrador descartável tipo *beiler* na primeira campanha de amostragem.



Figura 8. Coleta de amostra no poço PM-19 com amostrador descartável tipo *beiler* na primeira campanha de amostragem.



Figura 9. Coleta de amostra no poço PM-19 com amostrador descartável tipo *beiler* na primeira campanha de amostragem.



Figura 10. Coleta de amostra no poço PM-5 com amostrador descartável tipo *beiler*, na segunda campanha de amostragem.



Figura 11. Coleta de amostra no poço PM-09 com amostrador descartável tipo *beile* na segunda campanha de amostragem.



Figura 12. Coleta de amostra no poço PM-14 com amostrador descartável tipo *beiler* na segunda campanha de amostragem.



Figura 13. Esgotamento do poço PM-3 com amostrador descartável tipo *beiler* na terceira campanha de amostragem.



Figura 14. Coleta de amostra no poço PM-18 com amostrador descartável tipo *beiler* na terceira campanha de amostragem.



Figura 15. Coleta de amostra no poço PM-7 com amostrador descartável tipo *beiler* na terceira campanha de amostragem.



Figura 16. Coleta de amostra no poço PM-14 com amostrador descartável tipo *beiler* na terceira campanha de amostragem.



Figura 17. Esgotamento do poço PM-2 com amostrador descartável tipo *beiler*.



Figura 18. Esgotamento do poço PM-3 com amostrador descartável tipo *beiler*.



Figura 19. Coleta de amostra no poço PM-7 com amostrador descartável tipo *beiler*



Figura 20. Coleta de amostra no poço PM-9 com amostrador descartável tipo *beiler*.



Figura 21. Coleta de amostra no poço PM-17 com amostrador descartável tipo *beiler*

2.2. Laboratório de Análises e Métodos analíticos

As amostras coletadas foram encaminhadas para análises químicas, físicas e toxicológicas ao Laboratório Bioensaios Análises e Consultoria Ambiental, localizado no município de Viamão-RS. Os métodos analíticos utilizados pelo referido laboratório são elencados na Tabela 5.



FUNDAÇÃO LUIZ ENGLERT

Tabela 5. Métodos analíticos para ensaios dos parâmetros avaliados neste monitoramento

PARÂMETRO	METODOLOGIA	REFERÊNCIA
Condutividade elétrica	Condutometria	Standard Methods 22 nd 2510 B
Coliformes termotolerantes (<i>E. coli</i>)	Substrato enzimático	Standard Methods 22 nd 9223 B
Cor Aparente	Espectrofotometria	Standard Methods 22 nd 2120 C
Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO)	Método de Winkler	Standard Methods 22 nd 5210 B
Fenóis totais	Absorciometria com clorofórmio	EPA 9065
Fósforo Total	Absorciometria com redução do ácido ascórbico	Standard Methods 22 nd 4500 P E
Metais totais: As, Cd, Pb, Cr, Mn, Ni, Zn, Fe, Cu e Al	ICP-OES	Standard Methods 22 nd 3030/3120 B
Metais totais: Hg	CV-AA	Standard Methods 22 nd 3112B
Metais dissolvidos (Fe, Al, Mn, Pb, Cd e Ni)	ICP-OES	Standard Methods 22 nd 3030/3120 B
Óleos e Graxas	Gravimetria-extração com soxhlet	Standard Methods 22 nd 5520B
pH	Método Potenciométrico- pHmetro	NBR 14339 / 1999 ou Standard Methods 22 nd 4500 HB
Tox. crônica com <i>S.capricornutum</i>	Ensaio Ecotoxicológicos	NBR ABNT 12648/2011
Tox. crônica com <i>Ceriodaphnia dubia</i>	Ensaio Ecotoxicológicos	NBR ABNT 13373/2011
Tox. aguda com <i>Ceriodaphnia dubia</i>	Ensaio Ecotoxicológicos	NBR ABNT 13373/2011
Turbidez	Nefelometria	Standard Methods 22 nd 2130 B

2.3. Análise e interpretação dos dados

Os resultados das análises químicas foram tratados e interpretados com base na legislação vigente que dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas (Resolução 396/2008 do CONAMA). Também foram avaliadas as possíveis origens dos parâmetros que apresentaram concentrações significativas, em termos de fonte natural ou antrópica.



3. Resultados obtidos

Os resultados analíticos dos ensaios realizados nas amostras de água subterrânea são apresentados na Tabela 6 e Tabela 7. A

Tabela 6 contém todos os parâmetros analisados, com metais totais, e também os valores de referência para consumo humano, dessedentação de animais e recreação estabelecidos pela Resolução nº 396/2008 do CONAMA. A Tabela 7, por outro lado, apresenta os resultados das análises de metais dissolvidos realizadas nas amostras coletadas na segunda campanha. Os laudos laboratoriais, que apresentam os limites de quantificação analíticos do laboratório executor dos parâmetros determinados foram apresentados nos relatórios parciais referentes a cada campanha de amostragem.

Os resultados obtidos mostram pouca variação na qualidade da água nas quatro campanhas amostrais. As concentrações são baixas, na maioria dos casos menores que o limite de quantificação, para todos os parâmetros analisados com exceção do ferro, manganês e alumínio totais que são elevados em alguns poços e em todas as coletas. Os valores variam aleatoriamente nos três metais, com aumento, redução ou mantendo valores similares em diferentes poços. Na Figura 22, Figura 23 e Figura 24 são ilustrados os comportamento temporal do alumínio, ferro e manganês nos poços que registraram estes metais nas análises químicas.

As altas concentrações de alumínio e ferro totais, entretanto, não se repetem nas análises de metais dissolvidos. O conteúdo de alumínio e ferro dissolvidos é menor que o limite de detecção ou limite de quantificação do método analítico em todos os poços analisados, com exceção do PM-09. Embora presentes na forma dissolvida, os valores



FUNDAÇÃO LUIZ ENGLERT

medidos neste poço são inferiores quando comparados com os resultados das análises de metais de totais, principalmente para o ferro cujo teor cai de 90,4 mg/L para 4,62 mg/L (Tabela 7). No caso do manganês, não se observam diferenças significativas e sistemáticas entre as concentrações do metal dissolvido e do metal total. As baixas concentrações dissolvidas e a abundância destes três metais no solo indicam uma origem a partir de fontes naturais e não contaminação pelas atividades da usina.

O chumbo e o cádmio também registraram concentrações acima dos valores de referência para consumo humano nos poços PM-02, PM-11 e PM-12. Os valores encontrados são baixos e decorrem da fração sólida suspensa, haja vista que não foram detectados nos ensaios de metais dissolvidos.

Para verificar o sinergismo dos elementos presentes nas amostras coletadas nos poços, foram realizadas avaliações de toxicidade aguda e toxicidade crônica utilizando como bioindicador a *Ceriodaphnia dubia*

A ocorrência de toxicidade aguda indica maior severidade dos efeitos causados no bioindicador. Da mesma forma, a ocorrência exclusivamente de toxicidade crônica indica situação menos severa.

No que se refere à toxicidade das amostras coletadas nas quatro campanhas, os ensaios apontaram a presença de toxicidade aguda apenas nos poços PM-02, PM-09 e PM-12, enquanto a toxicidade crônica está presente em praticamente metade dos poços.



FUNDAÇÃO LUIZ ENGLERT

Tabela 6. Resultados analíticos, com metais totais, das amostras de água subterrânea das quatro coletas realizadas. CH: consumo humano; DA: dessedentação de animais; REC: recreação; NA: não analisado; ND: não detectado. Laudos laboratoriais da quarta coleta constam do Anexo I. Destacadas em amarelo as amostras com teor acima do limite permitido para consumo humano.

Parâmetro	Unidade	PM-01				PM-02				PM-03				Resolução Conama 396-2009		
		1ª coleta	2ª coleta	3ª coleta	4ª coleta	1ª coleta	2ª coleta	3ª coleta	4ª coleta	1ª coleta	2ª coleta	3ª coleta	4ª coleta	C.H.	D.A.	Recreação
Condutividade	µS/cm	305	392	301	315	NA	547	595	684	863	925	552	687	--	--	--
pH	--	6,1	5,8	7,2	6,6	NA	6,1	7,3	6,4	6,1	6,2	7,4	6,5	--	--	--
Cor real	mg/L Pt-Co	<5	<5	5	42	NA	79	848	73	5	<5	5	18	--	--	--
Turbidez	NTU	1,3	1,3	1,3	1,2	NA	28,6	24,7	24,5	<0,6	0,6	4,4	1,1	--	--	--
DBO5	mg/L O2	ND	3	<2	2	NA	4	8	4	ND	2	3	<2	--	--	--
DQO	mg/L O2	ND	6	<5	<5	NA	7	29	28	ND	5	8	<5	--	--	--
Escherichia coli	NMP/100mL	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	NA	<1	<1,0	<1,0	<1,0	<1	<1,0	<1,0	--	--	--
Óleos e graxas	mg/L OG	6	1	<1	<10	NA	1	1	<10	8	<1	1	<10	--	--	--
Fenóis totais	mg/L	ND	ND	ND	<0,003	NA	ND	ND	<0,003	ND	<0,003	<0,003	<0,003	--	--	--
Fósforo total	mg/L P	0,04	0,03	0,06	0,04	0,09	0,3	0,01	0,02	<0,01	<0,01	0,01	0,07	--	--	--
Alumínio total	mg/L	ND	ND	ND	ND	1,61	0,15	0,08	3,78	0,08	ND	0,06	<0,05	0,2	5	0,2
Arsênio total	mg/L	ND	ND	ND	ND	ND	<0,01	<0,01	<0,01	ND	ND	ND	ND	0,01	0,2	0,5
Cádmio total	mg/L	ND	ND	<0,001	ND	<0,001	0,006	0,06	0,006	ND	ND	<0,001	ND	0,005	0,05	0,005
Chumbo total	mg/L	ND	ND	ND	ND	0,53	<0,01	ND	<0,01	ND	ND	ND	ND	0,01	0,1	0,05
Cobre total	mg/L	ND	ND	ND	<0,005	0,013	ND	ND	<0,005	0,012	ND	0,065	0,016	2	0,5	1
Cromo total	mg/L	ND	ND	ND	ND	<0,01	ND	0,05	1	0,05						
Ferro total	mg/L	<0,05	<0,05	ND	ND	3,31	27,1	35,65	54,22	<0,05	ND	<0,05	0,06	0,3		0,3
Manganês total	mg/L	0,07	0,11	0,21	0,09	1,4	10,6	4,78	7,33	ND	ND	ND	<0,05	0,1	0,05	0,1
Mercurio total	mg/L	<0,0002	ND	<0,0002	<0,0002	<0,0002	ND	<0,0002	ND	<0,0002	ND	<0,0002	ND	0,001	0,01	0,001
Níquel total	mg/L	<0,01	<0,01	ND	ND	<0,01	<0,01	<0,01	ND	<0,01	ND	ND	ND	0,02	1	0,1
Zinco total	mg/L	ND	ND	<0,05	ND	0,17	ND	<0,05	ND	ND	ND	<0,05	ND	5	24	5
Tox. aguda C. dubia (P/A)		Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	NA	Presente	Presente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	--	--	--
Tox. crônica - C. dubia (P/A)		Ausente	Presente	NA	Ausente	NA	Presente	Presente	Presente	Ausente	Presente	Ausente	Ausente	--	--	--



FUNDAÇÃO LUIZ ENGLERT

Tabela 6. Continuação.

Parâmetro	Unidade	PM-04				PM-05				PM-06				Resolução Conama 396-2009		
		1ª coleta	2ª coleta	3ª coleta	4ª coleta	1ª coleta	2ª coleta	3ª coleta	4ª coleta	1ª coleta	2ª coleta	3ª coleta	4ª coleta	C.H.	D.A.	Recreação
Condutividade	µS/cm	437	497	500	587	462	581	434	436	108	144	107	106,8	--	--	--
pH	--	6,3	6,3	7,3	6,5	6,1	5,8	7	6,1	5,7	6	6,7	6,2	--	--	--
Cor real	mg/L Pt-Co	<5	<5	<5	101	5	<5	<5	10	30	15	50	6	--	--	--
Turbidez	NTU	2	1,3	14	3,2	2	0,6	2,2	<0,6	7,2	3,7	8,8	2,5	--	--	--
DBO5	mg/L O2	ND	3	3	3	ND	3	<2	2	ND	4	3	<2	--	--	--
DQO	mg/L O2	ND	5	9	14	ND	7	<5	<5	ND	7	6	<5	--	--	--
Escherichia coli	NMP/100mL	<1,0	<1	<1,0	<1,0	3	<1	<1,0	<1,0	<1,0	1	<1,0	<1,0	--	--	--
Óleos e graxas	mg/L OG	4	<1	1	<10	10	1	1	<10	3	1	<1	<10	--	--	--
Fenóis totais	mg/L	ND	<0,003	ND	<0,003	<0,003	<0,003	ND	<0,003	ND	ND	<0,003	ND	--	--	--
Fósforo total	mg/L P	0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,03	0,03	0,01	0,24	0,02	0,02	0,01	0,92	--	--	--
Alumínio total	mg/L	ND	<0,05	ND	ND	<0,05	0,1	ND	ND	0,53	ND	0,16	<0,05	0,2	5	0,2
Arsênio total	mg/L	ND	0,01	0,2	0,5											
Cádmio total	mg/L	ND	ND	<0,001	<0,001	ND	ND	<0,001	ND	ND	ND	ND	ND	0,005	0,05	0,005
Chumbo total	mg/L	ND	0,01	0,1	0,05											
Cobre total	mg/L	ND	<0,005	<0,005	ND	ND	<0,005	2	0,5	1						
Cromo total	mg/L	ND	0,05	1	0,05											
Ferro total	mg/L	0,09	0,68	2,38	6,07	0,09	<0,05	ND	ND	0,19	0,06	0,05	<0,05	0,3		0,3
Manganês total	mg/L	2,06	25,9	1,4	2,43	<0,05	0,15	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	0,1	0,05	0,1
Mercurio total	mg/L	<0,0002	ND	<0,0002	ND	<0,0002	ND	ND	ND	<0,0002	ND	<0,0002	ND	0,001	0,01	0,001
Níquel total	mg/L	<0,01	0,01	<0,01	ND	0,02	1	0,1								
Zinco total	mg/L	<0,05	ND	5	24	5										
Tox. aguda C. dubia (P/A)		Ausente	Ausente	NA	NA	Ausente	--	--	--							
Tox. crônica - C. dubia (P/A)		Ausente	Presente	NA	NA	Ausente	Presente	Ausente	Ausente	Ausente	Presente	Presente	Ausente	--	--	--



FUNDAÇÃO LUIZ ENGLERT

Tabela 6. Continuação.

Parâmetro	Unidade	PM-07				PM-08				PM-09				Resolução Conama 396-2009		
		1ª coleta	2ª coleta	3ª coleta	4ª coleta	1ª coleta	2ª coleta	3ª coleta	4ª coleta	1ª coleta	2ª coleta	3ª coleta	4ª coleta	C.H.	D.A.	Recreação
Condutividade	µS/cm	166	169	177	180	451	405	245	398	1302	1675	1202	1580	--	--	--
pH	--	6,1	6,1	7,2	6,3	6,2	6	7,1	6,3	6	5,7	6	6,5	--	--	--
Cor real	mg/L Pt-Co	6	<5	<5	15	<5	9	30	26	16	14	33	19	--	--	--
Turbidez	NTU	1,3	<0,6	<0,6	<0,6	1,7	15,4	15,1	8,4	25,3	6	312	3	--	--	--
DBO5	mg/L O2	ND	3	<2	3	ND	3	2	2	ND	4	7	<2	--	--	--
DQO	mg/L O2	ND	7	5	<5	ND	6	5	<5	36	8	20	<5	--	--	--
Escherichia coli	NMP/100mL	<1,0	<1	<1,0	<1,0	<1,0	1	10	<1,0	<1,0	<1	<1,0	<1,0	--	--	--
Óleos e graxas	mg/L OG	3	4	<1	<10	7	4	<1	<10	8	<1	<1	<10	--	--	--
Fenóis totais	mg/L	ND	<0,003	ND	<0,003	ND	ND	ND	<0,003	ND	ND	ND	ND	--	--	--
Fósforo total	mg/L P	0,02	0,02	<0,01	<0,01	0,04	<0,01	0,02	0,03	0,2	0,28	<0,01	ND	--	--	--
Alumínio total	mg/L	ND	0,06	ND	ND	0,08	0,51	0,07	0,28	0,29	1,36	0,27	1,92	0,2	5	0,2
Arsênio total	mg/L	ND	<0,01	0,01	ND	ND	0,01	0,2	0,5							
Cádmio total	mg/L	ND	ND	ND	ND	ND	0,02	<0,001	ND	0,019	0,011	0,011	0,002	0,005	0,05	0,005
Chumbo total	mg/L	ND	<0,01	<0,01	ND	ND	0,01	0,1	0,05							
Cobre total	mg/L	ND	ND	ND	<0,005	ND	ND	ND	<0,005	ND	ND	ND	<0,005	2	0,5	1
Cromo total	mg/L	ND	0,05	1	0,05											
Ferro total	mg/L	<0,05	ND	ND	ND	0,09	0,08	0,06	0,25	115,73	90,4	53,86	1,56	0,3		0,3
Manganês total	mg/L	0,06	<0,05	ND	ND	<0,05	<0,01	ND	<0,05	22,51	25,9	12,27	35,52	0,1	0,05	0,1
Mercúrio total	mg/L	ND	ND	<0,0002	ND	<0,0002	<0,0002	<0,0002	ND	<0,0002	<0,0002	ND	ND	0,001	0,01	0,001
Níquel total	mg/L	ND	ND	ND	ND	ND	0,03	ND	ND	0,01	0,07	0,09	0,21	0,02	1	0,1
Zinco total	mg/L	<0,05	<0,05	<0,05	ND	ND	ND	0,06	ND	ND	ND	0,07	0,16	5	24	5
Tox. aguda C. dubia (P/A)		Ausente	Presente	Presente	Ausente	Ausente	--	--	--							
Tox. crônica - C. dubia (P/A)		Presente	Presente	Ausente	Ausente	Ausente	Presente	NA	Ausente	Presente	Presente	NA	Ausente	--	--	--



FUNDAÇÃO LUIZ ENGLERT

Tabela 6. Continuação.

Parâmetro	Unidade	PM-10				PM-11				PM-12				Resolução Conama 396-2009		
		1ª coleta	2ª coleta	3ª coleta	4ª coleta	1ª coleta	2ª coleta	3ª coleta	4ª coleta	1ª coleta	2ª coleta	3ª coleta	4ª coleta	C.H.	D.A.	Recreação
Condutividade	µS/cm	977	1218	763	782	NA	547	NA	406	1771	1378	961	987	--	--	--
pH	--	6,2	6,1	6,1	6,1	NA	6,1	NA	6,1	6,1	6,1	7,5	6,2	--	--	--
Cor real	mg/L Pt-Co	7	<5	<5	<5	NA	103	NA	90	21	67	1134	90	--	--	--
Turbidez	NTU	2,5	5,5	128,5	9,3	NA	72,3	NA	128	32,7	42	61,3	37	--	--	--
DBO5	mg/L O2	ND	3	4	<2	NA	4	NA	5	ND	4	3	2	--	--	--
DQO	mg/L O2	ND	7	11	<5	NA	7	NA	27	ND	8	13	<5	--	--	--
Escherichia coli	NMP/100mL	<1,0	<1	<1,0	<1,0	NA	<1	NA	<1,0	<1,0	<1	<1,0	<1,0	--	--	--
Óleos e graxas	mg/L OG	4	2	<1	<10	NA	2	NA	<10	6	1	<1	<10	--	--	--
Fenóis totais	mg/L	<0,003	ND	<0,003	ND	0,01	ND	NA	ND	0,005	ND	<0,003	ND	--	--	--
Fósforo total	mg/L P	0,05	0,02	0,19	ND	NA	0,03	NA	0,02	0,2	0,17	0,14	ND	--	--	--
Alumínio total	mg/L	1,03	ND	0,08	0,24	2,99	0,2	2,44	0,62	0,55	0,13	0,61	0,17	0,2	5	0,2
Arsênio total	mg/L	ND	ND	ND	ND	<0,01	<0,01	0,01	ND	ND	ND	<0,01	<0,01	0,01	0,2	0,5
Cádmio total	mg/L	ND	0,017	<0,001	<0,001	0,005	ND	0,006	<0,001	0,012	ND	0,009	0,007	0,005	0,05	0,005
Chumbo total	mg/L	ND	ND	ND	ND	0,23	0,02	0,18	ND	0,01	<0,01	ND	ND	0,01	0,1	0,05
Cobre total	mg/L	ND	ND	ND	ND	0,011	ND	0,007	<0,005	ND	ND	ND	ND	2	0,5	1
Cromo total	mg/L	ND	0,05	1	0,05											
Ferro total	mg/L	1,87	1,78	3,24	0,64	35,59	48	32,44	2,02	85,51	78,6	52,77	70,85	0,3		0,3
Manganês total	mg/L	4,34	7,11	3,31	4,14	2,85	4,88	2,606	1,31	14,47	8,91	5,34	8,18	0,1	0,05	0,1
Mercúrio total	mg/L	ND	<0,0002	<0,0002	ND	<0,0002	<0,0002	NA	ND	ND	<0,0002	<0,0002	ND	0,001	0,01	0,001
Níquel total	mg/L	0,05	ND	0,08	0,08	<0,01	ND	<0,01	<0,01	ND	ND	ND	ND	0,02	1	0,1
Zinco total	mg/L	ND	ND	ND	ND	0,13	ND	0,12	ND	ND	ND	<0,05	ND	5	24	5
Tox. aguda C. dubia (P/A)		Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	NA	Ausente	NA	NA	Presente	Ausente	Ausente	Presente	--	--	--
Tox. crônica - C. dubia (P/A)		Ausente	Presente	Presente	Ausente	NA	Presente	NA	NA	Presente	Presente	Ausente	Presente	--	--	--



FUNDAÇÃO LUIZ ENGLERT

Tabela 6. Continuação.

Parâmetro	Unidade	PM-13				PM-14				PM-15				Resolução Conama 396-2009		
		1ª coleta	2ª coleta	3ª coleta	4ª coleta	1ª coleta	2ª coleta	3ª coleta	4ª coleta	1ª coleta	2ª coleta	3ª coleta	4ª coleta	C.H.	D.A.	Recreação
Condutividade	µS/cm	274	281	240	232	208	232	218	208	107	123	113	Não realizada - poço soterrado	--	--	--
pH	--	6,5	6,5	7	6,6	5,8	5,7	7,5	6,2	5,3	5,3	6,5		--	--	--
Cor real	mg/L Pt-Co	10	19	13	41	6	5	71	<5	7	9	47		--	--	--
Turbidez	NTU	12,9	11,6	53,5	50	3,8	8,9	67,2	3	6	8,8	44,1		--	--	--
DBO5	mg/L O2	ND	3	4	3	ND	3	3	3	ND	2	2		--	--	--
DQO	mg/L O2	ND	6	11	<5	ND	6	11	6	ND	5	5		--	--	--
Escherichia coli	NMP/100mL	26	5,2	<1,0	10	<1,0	<1	31	<1,0	28	9,8	1483		--	--	--
Óleos e graxas	mg/L OG	4	<1	<1	<10	4	<1	<1	<10	4	<1	1		--	--	--
Fenóis totais	mg/L	0,004	nd	ND	<0,003	<0,003	<0,003	ND	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003		--	--	--
Fósforo total	mg/L P	0,4	0,23	0,08	0,08	0,06	0,05	0,12	0,05	0,02	0,06	0,02		--	--	--
Alumínio total	mg/L	0,33	<0,05	ND	0,52	<0,05	0,08	0,22	ND	0,08	<0,05	0,06		0,2	5	0,2
Arsênio total	mg/L	<0,01	nd		0,01	0,2	0,5									
Cádmio total	mg/L	ND	nd	<0,001	ND		0,005	0,05	0,005							
Chumbo total	mg/L	>0,01	nd	<0,01	ND	<0,01	<0,01	ND	0,02	ND	ND	ND		0,01	0,1	0,05
Cobre total	mg/L	<0,005	nd	<0,005	<0,005	0,0006	<0,005	ND	0,008	<0,005	ND	ND		2	0,5	1
Cromo total	mg/L	ND		0,05	1	0,05										
Ferro total	mg/L	0,17	0,11	0,27	1,42	0,06	<0,05	0,11	<0,05	0,15	0,22	<0,05		0,3		0,3
Manganês total	mg/L	<0,05	nd	0,07	0,06	<0,05		0,1	0,05	0,1						
Mercúrio total	mg/L	ND	<0,0002	<0,0002	ND	ND	<0,0002	ND	ND	<0,0002	ND	<0,0002		0,001	0,01	0,001
Níquel total	mg/L	ND	nd	ND	ND	ND	<0,01	ND	ND	<0,01	<0,01	ND		0,02	1	0,1
Zinco total	mg/L	ND	nd	0,07	ND	<0,05	nd	<0,05	ND	<0,05	<0,05	<0,05	5	24	5	
Tox. aguda C. dubia (P/A)		Ausente	--	--	--											
Tox. crônica - C. dubia (P/A)		Ausente	Ausente	NA	Presente	Ausente	Presente	NA	Presente	Presente	Presente	NA	--	--	--	



FUNDAÇÃO LUIZ ENGLERT

Tabela 6. Continuação.

Parâmetro	Unidade	PM-16				PM-17				PM-18				Resolução Conama 396-2009		
		1ª coleta	2ª coleta	3ª coleta	4ª coleta	1ª coleta	2ª coleta	3ª coleta	4ª coleta	1ª coleta	2ª coleta	3ª coleta	4ª coleta	C.H.	D.A.	Recreação
Condutividade	µS/cm	399	398	387	370	118	158	147	155	462	540	544	Não realizada - poço soterrado	--	--	--
pH	--	5,8	5,3	6,2	6,2	5,6	5,6	6,1	6,2	5,6	5,6	7,2		--	--	--
Cor real	mg/L Pt-Co	<5	<5	14	20	158	269	224	92	<5	6	27		--	--	--
Turbidez	NTU	5,4	4,1	127,5	15,4	22	190	507,5	208	2,9	7,4	7,9		--	--	--
DBO5	mg/L O2	ND	2	5	<2	ND	3	4	2	ND	3	2		--	--	--
DQO	mg/L O2	ND	5	9	<5	ND	6	7	<5	ND		5		--	--	--
Escherichia coli	NMP/100mL	1	13,5	2310	41	240	31	2595	63	<1,0	7	<1,0		--	--	--
Óleos e graxas	mg/L OG	5	1	2	<10	9	1	1	<10	6	<1	<1		--	--	--
Fenóis totais	mg/L	0,003	<0,003	<0,003	ND	<0,003	<0,003	ND	<0,003	<0,003	ND	<0,003		--	--	--
Fósforo total	mg/L P	0,12	0,09	0,15	0,07	0,1	0,08	0,02	0,02	0,07	<0,01	0,19		--	--	--
Alumínio total	mg/L	0,36	0,59	<0,05	ND	0,76	0,16	0,2	0,6	ND	ND	0,06		0,2	5	0,2
Arsênio total	mg/L	ND		0,01	0,2	0,5										
Cádmio total	mg/L	ND	ND	<0,001	ND	ND	ND	ND	<0,001	0,001	0,003	<0,001		0,005	0,05	0,005
Chumbo total	mg/L	ND		0,01	0,1	0,05										
Cobre total	mg/L	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	ND	ND	<0,005	ND	ND	ND		2	0,5	1
Cromo total	mg/L	ND		0,05	1	0,05										
Ferro total	mg/L	0,56	ND	<0,05	ND	0,38	0,44	0,11	8,72	10,64	12,1	0,09		0,3		0,3
Manganês total	mg/L	<0,05	<0,05	<0,05	ND	<0,05	0,17	<0,05	0,27	10,86	12,2	4,49		0,1	0,05	0,1
Mercúrio total	mg/L	<0,0002	<0,0002	<0,0002	ND	<0,0002	<0,0002	ND	ND	<0,0002	<0,0002	<0,0002		0,001	0,01	0,001
Níquel total	mg/L	<0,01	ND	<0,01	ND	ND	ND	ND	ND	0,02	0,02	0,01		0,02	1	0,1
Zinco total	mg/L	<0,05	<0,02	0,07	ND	ND	ND	0,05	<0,05	<0,05	<0,01	0,07	5	24	5	
Tox. aguda C. dubia (P/A)		Presente	Ausente	Ausente	Ausente	Presente	Presente	Ausente	Ausente	Presente	Presente	Ausente	--	--	--	
Tox. crônica - C. dubia (P/A)		Presente	Presente	Presente	Ausente	Presente	--	--	--							



FUNDAÇÃO LUIZ ENGLERT

Tabela 6. Continuação.

Parâmetro	Unidade	PM-19				PM-20				Resolução Conama 396-2009		
		1ª coleta	2ª coleta	3ª coleta	4ª coleta	1ª coleta	2ª coleta	3ª coleta	4ª coleta	C.H.	D.A.	Recreação
Condutividade	µS/cm	1007	995	726	538	487	492	429	155	--	--	--
pH	--	6,5	6,3	7,8	6,3	6,3	6,2	7,4	6,4	--	--	--
Cor real	mg/L Pt-Co	6		105	23	<5	<5	39	14	--	--	--
Turbidez	NTU	6,8	7	6,2	21,05	5,6	5	5,9	5,4	--	--	--
DBO5	mg/L O2	ND	6	3	3	ND	4	2	<2	--	--	--
DQO	mg/L O2	ND	14	10	<5	ND	13	5	<5	--	--	--
Escherichia coli	NMP/100mL	<1,0	<1	<1,0	110	<1,0	<1	<1,0	20	--	--	--
Óleos e graxas	mg/L OG	4	1	1	<10	4	5	<1	<10	--	--	--
Fenóis totais	mg/L	<0,003	ND	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	ND	<0,003	--	--	--
Fósforo total	mg/L P	0,08	0,23	0,03	0,13	0,08	0,02	0,02	0,03	--	--	--
Alumínio total	mg/L	ND	0,17	0,11	2,69	ND	0,67	0,06	0,07	0,2	5	0,2
Arsênio total	mg/L	<0,01	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0,01	0,2	0,5
Cádmio total	mg/L	ND	ND	<0,001	ND	ND	ND	<0,001		0,005	0,05	0,005
Chumbo total	mg/L	ND	<0,01	ND	ND	<0,01	<0,01	ND		0,01	0,1	0,05
Cobre total	mg/L	ND	<0,005	ND	0,006	ND	<0,005	ND		2	0,5	1
Cromo total	mg/L	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0,05	1	0,05
Ferro total	mg/L	1,67	0,27	1,06	1,34	0,62	0,21	0,61	0,26	0,3		0,3
Manganês total	mg/L	10,15	0,06	6,25	0,1	<0,05	<0,05	1,94	ND	0,1	0,05	0,1
Mercúrio total	mg/L	<0,0002	<0,0002	<0,0002	ND	<0,0002	ND	<0,0002	ND	0,001	0,01	0,001
Níquel total	mg/L	0,02	ND	0,01	ND	ND	<0,01	ND	ND	0,02	1	0,1
Zinco total	mg/L	ND	ND	<0,05	ND	ND	0,06	0,09	ND	5	24	5
Tox. aguda C. dubia (P/A)		Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	--	--	--
Tox. crônica - C. dubia (P/A)		Ausente	Presente	Presente	Presente	Ausente	Ausente	Ausente	Presente	--	--	--

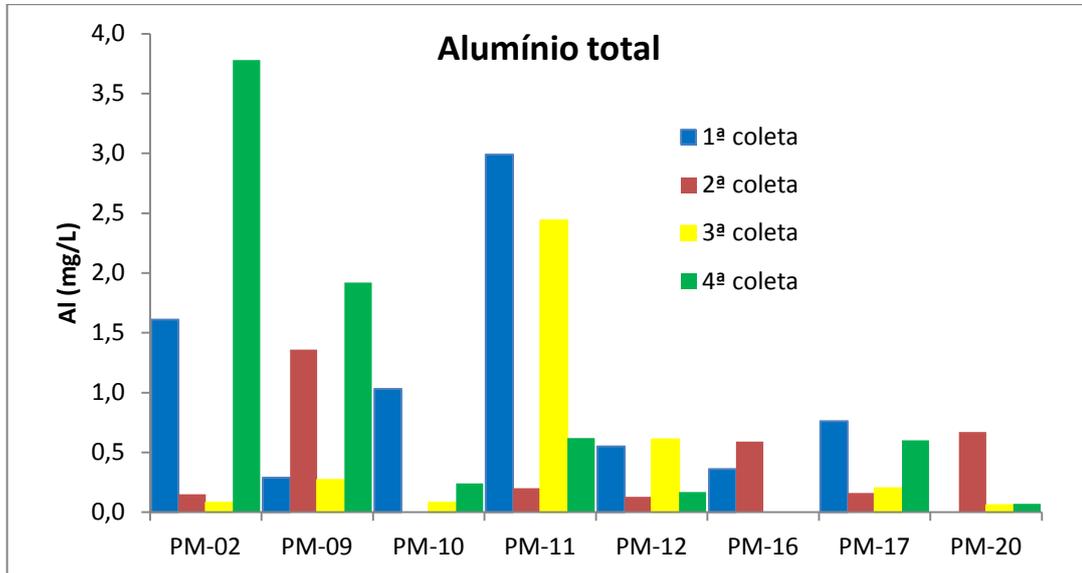


Figura 22. Diagrama de colunas mostrando a evolução do conteúdo de alumínio total nos poços de monitoramento que apresentaram este metal em pelo menos uma das quatro coletas realizadas. Note a variação aleatória ao longo do tempo.

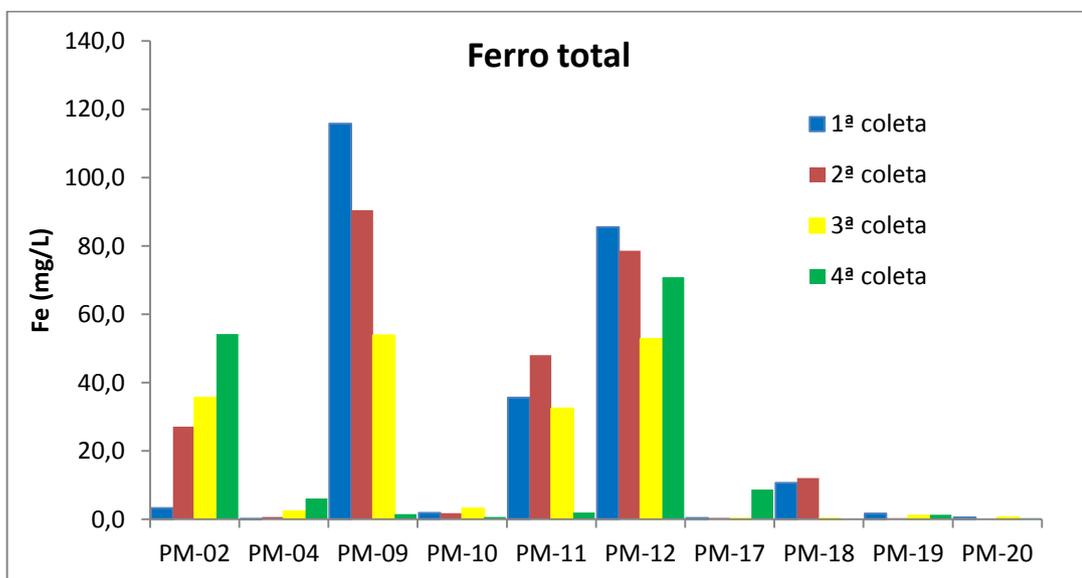


Figura 23. Diagrama de colunas mostrando a evolução do conteúdo de ferro total nos poços de monitoramento que apresentaram este metal em pelo menos uma das quatro coletas realizadas. Note a variação aleatória ao longo do tempo.

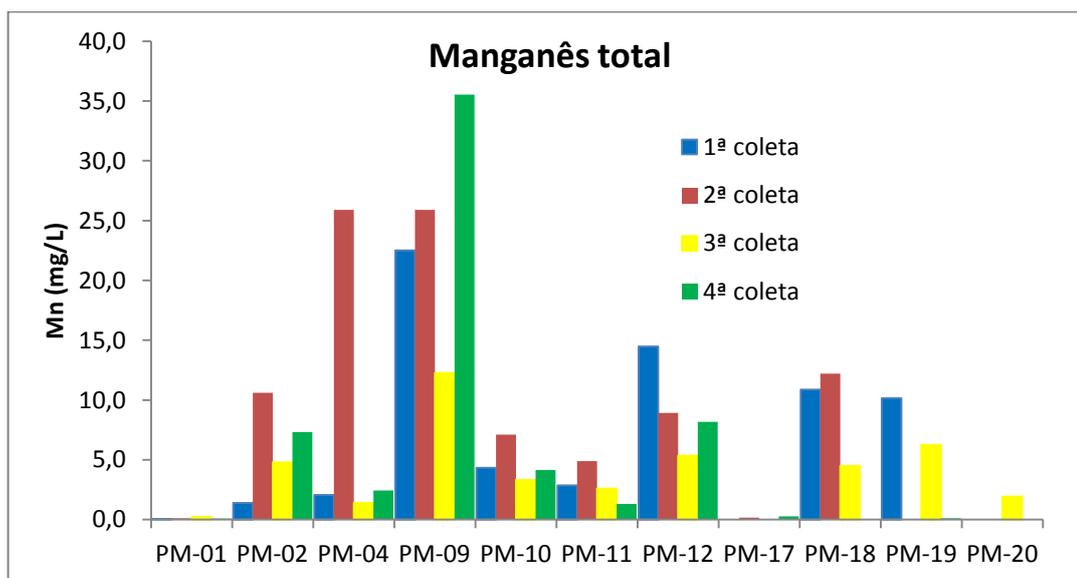


Figura 24. Diagrama de colunas mostrando a evolução do conteúdo de manganês total nos poços de monitoramento que apresentaram este metal em pelo menos uma das quatro coletas realizadas. Note a variação aleatória ao longo do tempo.

A concentração de alumínio total excede o limite para consumo humano estabelecido pela Resolução 396/2008 do CONAMA, em pelo uma das coletas nos poços PM-02, PM-05, PM-06, PM-08, PM-09, PM-10, PM-11, PM-12, PM-13, PM-14, PM-16, PM-17, PM-19 e PM-20. Nenhum poço extrapola o limite para dessedentação de animais. Merece destaque o fato de que o poço PM-6 está fora da área de influência da usina (poço branco). O alumínio dissolvido, de outra parte, não registra teores acima do limite de potabilidade em nenhuma amostra.

O ferro e manganês totais aparecem em níveis acima do limite para consumo humano, em pelo menos uma coleta, em 60% dos poços monitorados. Cabe destacar que o ferro dissolvido aparece apenas no poço PM-09, enquanto o manganês tem comportamento similar nos dois tipos de análise: total e dissolvido.



3.1. A ocorrência de concentrações elevadas de Ferro, Alumínio e Manganês totais.

Alumínio

O alumínio é o segundo elemento mais abundante nos solos, com teores da ordem de 7 a 10% em massa (Sposito, 1989), e sua ocorrência se dá basicamente sob forma de argilo-minerais, principalmente a caulinita ($\text{Al}_4\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_8$), e gibbsita ($\text{Al}(\text{OH})_3$). A caulinita e a gibbsita são minerais constituintes dos solos que ocorrem na fração argila, sob a forma de microcristais com dimensões individuais menores que 4 μm . Por conta destas reduzidas dimensões cristalinas, as duas fases minerais são facilmente incorporadas na fração suspensa das águas e sua decantação requer longos períodos de tempo. Ademais, tanto a caulinita quanto a gibbsita são minerais que têm solubilidade restrita a ambientes de pH ácido ($\text{pH} < 4,0$) e são praticamente insolúveis nas condições de pH registrado em todas amostras coletadas, com valores entre 5,3 e 7,5. Assim, os ensaios de metais totais em amostras de água subterrânea com alguma turbidez tendem a apresentar concentrações significativas de alumínio. A filtragem da amostra de água pode eliminar parcialmente as fases minerais aluminosas e nos ensaios de alumínio dissolvido tendem a reduzir a concentração deste metal a valores insignificantes.

As concentrações de alumínio dissolvido, determinadas na segunda coleta, ocorrem em níveis não detectáveis (ND) em todas as mostras de água, com exceção do poço PM-02, indicando que este metal encontra-se nas partículas sólidas suspensas e não na forma dissolvida (Tabela 7). Esta constatação permite inferir uma origem natural para este metal e afastar a possibilidade de contaminação pelas atividades da usina.

Tabela 7. Dados de análises químicas de Metais Dissolvidos nas amostras coletadas na segunda campanha. Note as baixas concentrações em relação aos metais totais.

Metal		Al (mg/L)	Cd (mg/L)	Pb (mg/L)	Fe (mg/L)	Mn (mg/L)	Ni (mg/L)
PM-2	total	0,15	0,006	<0,01	27,1	10,6	<0,01
	dissolvido	ND	ND	ND	ND	8.60	<0.01
PM-4	total	<0,05	ND	ND	0,68	25,9	0,01
	dissolvido	ND	ND	ND	ND	4.70	<0.01
PM-9	total	1,36	0,011	<0,01	90,4	25,9	0,07
	dissolvido	1.10	0.001	ND	4.62	20.88	0.04
PM-10	total	ND	0,017	ND	1,78	7,11	ND
	dissolvido	ND	ND	ND	ND	6.56	0.08
PM-11	total	0,2	ND	0,02	48	4,88	ND
	dissolvido	ND	ND	ND	ND	4.43	ND
PM-12	total	0,13	ND	<0,01	78,6	8,91	ND
	dissolvido	ND	ND	ND	ND	8.17	ND
PM-17	total	0,16	ND	ND	0,44	0,17	ND
	dissolvido	<0.05	ND	ND	<0.05	<0.05	ND
PM-18	total	ND	0,003	ND	12,1	12,2	0,02
	dissolvido	ND	ND	ND	ND	11.11	0.02
PM-19	total	0,17	ND	<0,01	0,27	0,06	ND
	dissolvido	ND	ND	ND	ND	8.74	0.02
PM-20	total	0,67	ND	<0,01	0,21	<0,05	<0,04
	dissolvido	ND	ND	ND	ND	0.40	ND

Ferro

O ferro corresponde ao terceiro elemento mais abundante dos solos, com teor médio da ordem de 3% (Sposito, 1989), e sua presença é registrada basicamente sob a forma de óxidos e hidróxidos (hematita (Fe_2O_3), goetita ($\text{FeO}(\text{OH})$) e limonita ($\text{Fe}(\text{OH})_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$)), além de gel amorfo de ferro e a alumínio. Tanto as fases cristalinas quanto a amorfa possuem dimensões na faixa granulométrica da argila ($<0,4 \mu\text{m}$), o que confere a elas forte tendência de incorporação na fração suspensa das águas e necessidade de longos períodos de tempo para decantação.

Da mesma forma que a caulinita e gibbsita, os óxidos e hidróxidos de ferro são praticamente insolúveis em águas com pH próximo



FUNDAÇÃO LUIZ ENGLERT

do neutro, o que restringe muito a ocorrência deste metal na forma dissolvida. A ocorrência de ferro dissolvido na água se dá na forma do íon ferroso (Fe^{2+}), cuja estabilidade é verificada em valores de pH menores que 4,0 (Krauskopf, 1972; Brookins, 1988). Dado que o pH medido nas amostras de água subterrânea varia entre 5,3 e 7,5, as altas concentrações de ferro registradas devem ser decorrentes da presença de sólidos suspensos.

A influência determinante da fração suspensa no conteúdo de ferro das águas subterrâneas é corroborada pelas concentrações menores que o limite de quantificação ($<0,05\text{mg/L}$) ou o limite de detecção (ND) registradas em todas as análises de ferro dissolvido realizadas na segunda coleta, com exceção do poço PM-09 (Tabela 7).

As propriedades termodinâmicas das fases minerais de ferro, marcadas pela baixíssima solubilidade em ambientes supergênicos com pH maior que 4,0, e os dados químico-analíticos de ferro dissolvido permitem concluir que este metal registrado nas águas subterrâneas ocorre, essencialmente, na fração suspensa a partir do ambiente natural, sendo muito pouco provável que decorra de contaminação pelas atividades da usina.

Manganês

O manganês é um metal relativamente abundante nos solos, onde aparece com concentrações da ordem de 600 a 1000 mg/kg (Sposito, 1989). Aparece formando minerais, na sua maioria óxidos, sendo os mais comuns a pirolusita (MnO_2), a manganita ($\text{MnO}(\text{OH})$) e a birsenita ($\text{Na}_{0,3}\text{Ca}_{0,1}\text{K}_{0,1}(\text{Mn}^{4+}, \text{Mn}^{3+})_2\text{O}_4 \cdot 1,5\text{H}_2\text{O}$), este último um dos mais abundantes no Estado Gaúcho (Carvalho Filho *et al.*, 2011). Também pode ocorrer como cátion trocável adsorvido nos argilo-minerais e na matéria orgânica.

Os minerais de manganês, bem como a matéria orgânica, constituem partículas extremamente finas, com dimensões coloidais, que tendem a ser incorporadas e permanecer na fração suspensa das águas. Estas características granulométricas das fases minerais de manganês e da matéria orgânica onde o metal pode estar como cátion trocável, tornam pouco eficientes os processos de filtragem da água, de tal forma que as concentrações medidas de manganês total e dissolvido nas amostras da segunda coleta podem ser muito próximas em valor, conforme observado neste estudo.

O manganês possui comportamento geoquímico similar ao ferro, de modo que nos ambientes naturais não impactados por processos antrópicos ambos exibem, geralmente, correlações positivas nas suas concentrações. Em caso de áreas impactadas, a correlação tende a não ocorrer, dado que as fontes de contaminação não as mesmas para os dois metais. A correlação positiva é registrada nas águas subterrâneas da área da usina, conforme mostra o diagrama de variação binário da Figura 25.

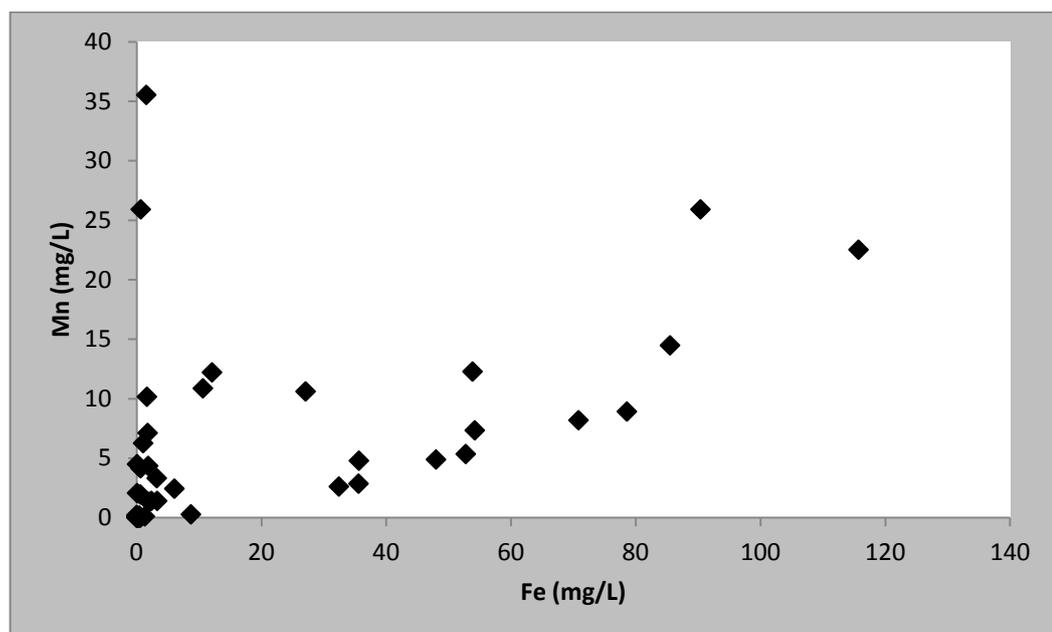


Figura 25. Diagrama de variação mostrando um *trend* com correlação positiva das concentrações de ferro e manganês totais registradas nas amostras de água subterrânea de todas as coletas realizadas. Duas amostras caem fora do *trend*.



FUNDAÇÃO LUIZ ENGLERT

Outro aspecto relevante diz respeito à baixíssima solubilidade de minerais de manganês (óxidos e hidróxidos) em água com pH maior que 4,0 como registrado em todas as amostras analisadas. Nestas condições ambientais, as concentrações de manganês dissolvido normalmente estão abaixo de 0,5 mg/L (Willians 1998), o que é inferior aos números determinados nos ensaios laboratoriais.

Assim, a ocorrência de manganês nos sólidos suspensos é muito mais provável do que na forma dissolvida e com isso sua origem deve estar relacionada ao ambiente natural.

Na quarta coleta, o chumbo registra concentração acima dos valores máximos permitidos para consumo humano apenas no poço PM-14. O teor medido (0,02 mg/L) não é restritivo para os outros usos, como dessedentação de animais e recreação. Nas campanhas anteriores, este metal registrou teores maiores que o limite de potabilidade apenas no poço PM-11 (1ª e 2ª coletas) e poço PM-01 (1ª coleta). Cabe destacar que nas análises de chumbo dissolvido, realizadas nas amostras da segunda coleta, todos os poços apresentaram concentrações menores que o limite de detecção do método utilizado. Isto aponta para a ocorrência na fração sólida suspensa e origem natural, dado que este metal é constituinte comum de solos e sedimentos, com concentrações que podem alcançar 100 ppm (100 mg/kg).

O cádmio também registra nesta coleta concentração acima dos valores máximos permitidos para consumo humano nos poços PM-02 e PM-12. Os teores medidos não são restritivos para dessedentação de animais e recreação. Nas campanhas anteriores, este metal apresentou teores impróprios para consumo nos poços PM-02 (2ª e 3ª coletas), PM-08 (2ª coleta), PM-09 (1ª, 2ª e 3ª coletas), PM-10 (2ª coleta), PM-11 (3ª coleta) e PM-12 (1ª e 3ª coletas). As análises de cádmio dissolvido, realizadas em amostras da segunda coleta, detectaram concentração maior que o limite de detecção do método utilizado apenas no poço PM-09. O valor registrado



FUNDAÇÃO LUIZ ENGLERT

(0,001 mg/L) não é restritivo todos os usos estabelecidos na resolução 396/2008 do CONAMA. A ausência de cádmio dissolvido nas amostras analisadas indica que este metal ocorre na fração sólida suspensa, o que confere ao mesmo uma provável origem natural.

Na quarta campanha de amostragem não foram realizadas análises de metais dissolvidos em amostras de água subterrânea porque a investigação feita na segunda campanha deixou claro que as altas concentrações de ferro, manganês e alumínio, além de chumbo e cádmio com teores acima do limite para consumo humano em três poços, são decorrentes de solo local.

4. Conclusões e recomendações

Os resultados dos ensaios realizados nas amostras de água subterrânea coletadas nas quatro campanhas de amostragem permitem concluir o que segue.

- Na quarta coleta, constatou-se que o poço PM-15 foi soterrado por obras de terraplenagem e o poço PM-18 sofreu danos irreversíveis na sua estrutura por escavação realizada nas suas proximidades. Dado que a rede de poços confere à área uma boa cobertura de amostragem, julgamos desnecessária a reinstalação destes dois poços.
- Os parâmetros químicos e físico-químicos investigados não apresentam indícios de contaminação nas águas subterrâneas.
- A presença de Toxicidade Aguda e Toxicidade Crônica foi registrada em alguns poços de monitoramento, e, aparentemente, tem uma relação com a condutividade elétrica da água.
- Em todas as campanhas de amostragem, apenas alumínio, ferro e manganês totais registram altas concentrações em alguns poços. As altas concentrações destes parâmetros não foram observadas nas



FUNDAÇÃO LUIZ ENGLERT

análises de metais dissolvidos, realizadas na segunda campanha, o que indica a ocorrência dos mesmos na fração sólida suspensa e origem no ambiente natural.

- Os poços com altas concentrações de alumínio e ferro totais possuem baixas concentrações destes metais dissolvidos (amostras da segunda coleta), com valores menores que os limites de quantificação e detecção do método utilizado.
- O ferro e o alumínio detectados nas análises de metais totais não estão dissolvidos na água e sim na da fração sólida suspensa.
- O ferro e o alumínio são metais abundantes nos solos e sua presença nas águas subterrâneas resulta do ambiente natural, sendo muito pouco provável a influência antrópica.
- O manganês registra altas concentrações nas análises de metais totais em vários poços de monitoramento. Também foram constatadas concentrações significativas nos ensaios de metais dissolvidos.
- O manganês, metal comum nos solos, também está associado à fração sólida suspensa e o registro nas análises de metais dissolvidos, em amostras da segunda coleta, decorre da sua forma de ocorrência predominante nos solos, que são partículas coloidais de óxidos cristalinos, material amorfo ou íon adsorvido nos argilo-minerais e matéria orgânica, as quais não são retidas nos filtros utilizados na preparação das amostras para os ensaios laboratoriais.
- As águas subterrâneas do aquífero raso (monitorado) não podem ser utilizadas para consumo humano, independentemente da natureza dos parâmetros que excedem os limites estabelecidos para este fim pelo CONAMA (Resol. 420/2009).
- Os poços PM-15 e PM-18 devem ser reinstalados para recompor a rede de monitoramento das águas subterrâneas.



FUNDAÇÃO LUIZ ENGLERT

- O monitoramento deve ser mantido no local, dado que as atividades ali desenvolvidas tem potencial de contaminação das águas subterrâneas.

5. Referências bibliográficas

ABNT, 1987. NBR 9898/87. Preservação e Técnicas de Amostragem de Efluentes Líquidos e Corpos Receptores.

ABNT, 1999. NBR 14339, Água - Determinação de pH - Método Eletrométrico.

ABNT, 1999. NBR 14340, Água - Determinação da condutividade e da resistividade elétrica.

ABNT, 2005. NBR 13373, Toxicidade crônica - Método de ensaio com *Ceriodaphnia* spp (Crustacea, Cladocera).

ABNT, 2007. NBR 15.495-1/2007. Poços de monitoramento de águas subterrâneas em aquíferos granulados Parte 1: Projeto e construção.

ABNT, 2008. NBR 15495-2:2008 Poços de monitoramento de águas subterrâneas em aquíferos granulares. Parte 2: Desenvolvimento

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION - APHA. *Standard Methods for the examination of water and wastewater*. Washington, 2005, 21th ed.

BROOKINS, D.G. Eh-pH diagrams for geochemistry. Berlin, Springer-Verlag, 1988. 176p.

CETESB, 2011. Guia Nacional de Coleta e Preservação de Amostras. Água, sedimento, comunidades aquáticas e efluentes líquidos. <http://www.cetesb.sp.gov.br/userfiles/file/laboratorios/publicacoes/guia-nacional-coleta-2012.pdf>.

KRAUSKOPF, K.B. 1972. Introduction to geochemistry. 721 p.



FUNDAÇÃO LUIZ ENGLERT

RESOLUÇÃO CONAMA Nº 396, DE 03 DE ABRIL DE 2008. Dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas e dá outras providências.

SPOSITO, G. (1989). The chemistry of soils. Oxford University Press. 277 p.

WILLIAMSON, M.A. (1998). Iron. *Encyclopedia of Earth Science*, p. 348-353.

6. Equipe técnica

Os estudos de monitoramento das águas subterrâneas serão executados pela equipe que conta com os seguintes componentes:

Prof^a Catarina da Silva Pedroso¹ - Coordenadora do Projeto

Prof. Antonio Pedro Viero² – Responsável técnico

Thamyz Luz³

Guilherme Vargas Teixeira³

¹: Centro de Ecologia da UFRGS; ²: Instituto de Geociências da UFRGS.

³: Estudante de Geologia da UFRGS.

Geólogo Dr. Antonio Pedro Viero

CREA: RS068957