

**UNIVERSIDADE DO EXTREMO SUL CATARINENSE - UNESC**

**CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL**

**NATALIA DAL FARRA LOPES**

**AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DAS ÁGUAS SUPERFICIAIS EM ÁREAS  
DEGRADADAS PELA MINERAÇÃO DE CARVÃO NOS MUNICÍPIOS DE  
TREVISO E LAURO MÜLLER**

**CRICIÚMA**

**2013**

**NATALIA DAL FARRA LOPES**

**AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DAS ÁGUAS SUPERFICIAIS EM ÁREAS  
DEGRADADAS PELA MINERAÇÃO DE CARVÃO NOS MUNICÍPIOS DE  
TREVISO E LAURO MÜLLER**

Trabalho de Conclusão de Curso, apresentado para obtenção do grau de Engenheira Ambiental no curso de Engenharia Ambiental da Universidade do Extremo Sul Catarinense, UNESC.

Orientador(a): Prof. MSc. Sérgio Luciano Galatto

**CRICIÚMA**

**2013**

**NATALIA DAL FARRA LOPES**

**AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DAS ÁGUAS SUPERFICIAIS EM ÁREAS  
DEGRADADAS PELA MINERAÇÃO DE CARVÃO NOS MUNICÍPIOS DE  
TREVISO E LAURO MÜLLER**

Trabalho de Conclusão de Curso aprovado pela Banca Examinadora para obtenção do Grau de Engenheira Ambiental, no Curso de Engenharia Ambiental da Universidade do Extremo Sul Catarinense, UNESC, com Linha de Pesquisa em Recursos Hídricos.

Criciúma, 27 de novembro de 2013.

**BANCA EXAMINADORA**

Prof. Sérgio Luciano Galatto - Mestre - (UNESC) - Orientador

Prof.(<sup>a</sup>) Nadja Zim Alexandre - Mestre - (UNESC)

Prof. Márcio Luiz Geremias - Doutor - (UNESC)

**Dedico este trabalho à minha família, que é minha fonte de inspiração para seguir sempre em frente e a todos os meus amigos que me acompanharam nessa caminhada, especialmente aos amigos do curso, que tornaram os anos de faculdade os melhores.**

## **AGRADECIMENTOS**

Aos profissionais da empresa carbonífera, que contribuíram para o desenvolvimento deste trabalho.

Ao Centro Tecnológico de Carvão Limpo (CTCL) que disponibilizou os dados necessários à elaboração deste trabalho de conclusão de curso.

Ao meu orientador, Prof. MSc. Sérgio Luciano Galatto, pela sua dedicação e empenho na orientação.

Aos meus pais, José Hamilton Lopes e Elza Dal Farra Lopes, por tudo o que fizeram e fazem para mim, e por serem meus maiores exemplos!

Aos meus irmãos, Maurício Dal Farra Lopes e Amanda dos Santos Lopes, pelo apoio e amor incondicional.

Ao meu namorado, Henrique Nasario Casagrande, que mesmo de longe presente em todos os momentos.

Aos meus colegas e amigos que conheci durante a graduação, pelo companheirismo e aprendizado proporcionados a mim!

**“Na natureza nada se cria, nada se perde,  
tudo se transforma”**

**Lavoisier, 1785.**

## RESUMO

Os passivos ambientais da mineração de carvão no sul de Santa Catarina motivaram o Ministério Público Federal à ingressar com uma Ação Civil Pública, culminando na condenação solidaria das empresas Carboníferas e a União, a recuperar ambientes terrestres e recursos hídricos em três bacias hidrográficas. A eficiência das ações de reabilitação ambiental dos projetos de recuperação é avaliada por meio de programas de monitoramento ambiental. O acompanhamento da evolução da qualidade das águas superficiais é um instrumento que contribui para a avaliação das medidas previstas nos projetos visando à melhoria da qualidade dos recursos hídricos. Este trabalho visou avaliar a evolução temporal da qualidade das águas superficiais em três áreas impactadas pela mineração de carvão, denominadas neste trabalho como Área “A”, Área “B” e Área “C”, localizadas em Treviso e Lauro Müller, alvos da ACP. Na Área “A” não foram iniciadas obras de recuperação ambiental; Na Área “B” as obras de recuperação ambiental encontram-se em andamento; e na Área “C”, as obras foram implantadas. Para tanto, teve-se acesso aos dados de monitoramento ambiental, realizado pelo Centro Tecnológico de Carvão Limpo semestralmente no período citado acima e que possui os seguintes indicadores ambientais: pH, vazão, manganês total, ferro total, oxigênio dissolvido, acidez total, alumínio total, condutividade, sulfatos e alcalinidade total. Uma vez com os dados, realizou-se um tratamento estatístico, com a geração de gráficos no software Microsoft Excel, de modo a realizar uma interpretação dos mesmos. Como forma de apoiar a interpretação dos dados, utilizaram-se os valores de precipitação regional. A análise dos dados permitiu verificar uma piora na qualidade dos pontos amostrais a medida que as águas atravessam pela Área “A”, em todos os parâmetros analisados e em todas as campanhas amostrais; na Área “B” apesar de recente as obras de reabilitação ambiental, foi possível verificar uma pequena melhora na qualidade das águas. Verificou-se uma leve redução linear das concentrações de ferro total, manganês total e alumínio total, associado a um leve aumento de pH, especialmente na última campanha. Na Área “C”, embora tenham sido concluídas as obras de reabilitação ambiental, não se verificou melhorias significativas em termos de qualidade físico-química das águas nos diferentes pontos analisados. Ressalta-se que das três áreas analisadas, nenhuma foi atestada como recuperada, necessitando aguardar melhoria nos diferentes compartimentos ambientais analisados, especificamente os recursos hídricos.

**Palavras-chave:** Drenagem ácida de mina. Mineração. Recurso hídrico. Monitoramento ambiental.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Vista aérea com a localização espacial do polígono que compõe a Área “A”.....	27
Figura 2 - Vista aérea com a localização espacial do polígono que compõe a Área “B”.....	28
Figura 3 - Vista aérea com a localização espacial dos polígonos que compõe a Área “C”.....	30
Figura 4 - Localização espacial dos pontos de monitoramento, hidrografia e o polígono da Área “A”.....	46
Figura 5 - A - Localização PMA-01; B - Localização PMA-02; C - Localização PMA-03.....	47
Figura 6 - Tendência do ph, acidez total, sulfatos, alumínio total, ferro total e manganês total no ponto PMA-01.....	50
Figura 7 - Tendência do ph, acidez total, sulfatos, alumínio total, ferro total e manganês total no ponto PMA-02.....	53
Figura 8 - Tendência do ph, acidez total, sulfatos, alumínio total, ferro total e manganês total no ponto PMA-03.....	56
Figura 9 - Comportamento do ph, acidez total e sulfatos, ao longo do tempo, através dos pontos PMA-01, PMA-02 e PMA-03.....	58
Figura 10 - Comportamento do alumínio total, ferro total e manganês total, ao longo do tempo, através dos pontos PMA-01, PMA-02 e PMA-03.....	59
Figura 11 - Localização espacial do ponto de monitoramento, hidrografia e o polígono da Área “B”.....	61
Figura 12 - Local de coleta de água do ponto PMB-01 com a Área “B” ao fundo. ....	62
Figura 13 - Tendência do ph, acidez total e sulfatos no ponto PMB-01.....	64
Figura 14 - Tendência do alumínio total, ferro total e manganês total no ponto PMB-01.....	65
Figura 15 - A - Localização PMC-01; B - Localização PMC-02; C - Localização PMC-03; D - Localização PMC-04.....	69
Figura 16 - A - Localização PMC-05; B - Localização PMC-06; C - Localização PMC-07; D - Localização PMC-08.....	70
Figura 17 - Localização espacial dos pontos de monitoramento, hidrografia e os polígonos da Área “C”.....	71

Figura 18 - Tendência do ph, acidez total, sulfatos, alumínio total, ferro total e manganês total no ponto PMC-01.....	73
Figura 19 - Tendência do ph, acidez total, sulfatos, alumínio total, ferro total e manganês total no ponto PMC-02.....	76
Figura 20 - Tendência do ph, acidez total, sulfatos, alumínio total, ferro total e manganês total no ponto PMC-03.....	80
Figura 21 - Tendência do ph, acidez total, sulfatos, alumínio total, ferro total e manganês total no ponto PMC-04.....	84
Figura 22 - Tendência do ph, acidez total, sulfatos, alumínio total, ferro total e manganês total no ponto PMC-05.....	88
Figura 23 - Tendência do ph, acidez total, sulfato, alumínio total, ferro total e manganês total no ponto PMC-06.....	91
Figura 24 - Tendência do ph, acidez total, sulfatos, alumínio total, ferro total e manganês total no ponto PMC-07.....	95
Figura 25 - Tendência do ph, acidez total, sulfatos, alumínio total, ferro total e manganês total no ponto PMC-08.....	99
Figura 26 - Comportamento do ph, acidez total e sulfatos, ao longo do tempo, através dos pontos PMC-01, PMC-05 e PMC-08.....	101
Figura 27 - Comportamento do alumínio total, ferro total e manganês total, ao longo do tempo, através dos pontos PMC-01, PMC-05 e PMC-08.....	102
Figura 28 - Comportamento do ph, acidez total e sulfatos, ao longo do tempo, através dos pontos PMC-07 e PMC-08.....	104
Figura 29 - Comportamento do alumínio total, ferro total e manganês total, ao longo do tempo, através dos pontos PMC-07 e PMC-08.....	105

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Principais características dos rios com e sem influência da mineração de carvão da região sul de Santa Catarina. ....	17
Tabela 2 - Estações pluviométricas utilizadas no estudo, seus códigos, municípios e períodos de registro. ....	42
Tabela 3 - Resultados das análises do ponto PMA-01. Jul 2007 / Jul 2013.....	49
Tabela 4 - Resultados das análises do ponto PMA-02. Jul 2007 / Jul 2013.....	52
Tabela 5 - Resultados das análises do ponto PMA-03. Jul 2007 / Jul 2013.....	55
Tabela 6 - Resultados das análises do ponto PMB-01. Jul 2007 / Jul 2013.....	63
Tabela 7 - Resultados das análises do ponto PMC-01. Fev 2007 / Jul 2013. ....	72
Tabela 8 - Resultados das análises do ponto PMC-02. Fev 2007 / Jul 2013. ....	75
Tabela 9 - Resultados das análises do ponto PMC-03. Fev 2007 / Jul 2013. ....	79
Tabela 10 - Resultados das análises do ponto PMC-04. Fev 2007 / Jul 2013. ....	83
Tabela 11 - Resultados das análises do ponto PMC-05. Fev 2007 / Jul 2013. ....	87
Tabela 12 - Resultados das análises do ponto PMC-06. Fev 2007 / Jul 2013. ....	90
Tabela 13 - Resultados das análises do ponto PMC-07. Fev 2007 / Jul 2013. ....	94
Tabela 14 - Resultados das análises do ponto PMC-08. Fev 2007 / Jul 2013. ....	98

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ACP	Ação Civil Pública
Al	Alumínio
ANA	Agência Nacional de Águas
APP	Área de Preservação Permanente
BCC	Bacia Carbonífera Catarinense
Ca	Cálcio
CERH	Conselho Estadual de Recursos Hídricos
CETEM	Centro de Tecnologia Mineral
CETESB	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
CONAMA	Conselho Nacional de Meio Ambiente
CSN	Companhia Siderúrgica Nacional
CTCL	Centro Tecnológico de Carvão Limpo
DAM	Drenagem Ácida de Mina
DNPM	Departamento Nacional de Produção Mineral
FATMA	Fundação do Meio Ambiente
FEPAM	Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luiz Roessler
Fe	Ferro
FeS <sub>2</sub>	Bissulfeto de ferro
GTA	Grupo Técnico de Assessoramento
JFSC	Justiça Federal de Santa Catarina
LAO	Licença Ambiental de Operação
Mg	Magnésio
Mn	Manganês
MPF	Ministério Público Federal
NBR	Norma Brasileira
NRM	Normas Reguladoras de Mineração
pH	Potencial Hidrogeniônico
PMA	Plano de Monitoramento Ambiental
PRAD	Projeto de Recuperação de Área Degradada
ROM	<i>Run Of Mine</i>
SATC	Associação Beneficente da Indústria Carbonífera de Santa Catarina

SIECESC Sindicato da Indústria de Extração de Carvão do Estado de Santa Catarina

UTM Universal Transversa de Mercator

## SUMÁRIO

\_Toc373496142

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>14</b>
<b>2 REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	<b>16</b>
2.1 ASPECTOS DA DISPONIBILIDADE E QUALIDADE DA ÁGUA.....	16
2.2 ASPECTOS LEGAIS .....	18
2.3 BREVE HISTÓRICO DA MINERAÇÃO DE CARVÃO NA BACIA CARBONÍFERA CATARINENSE (BCC).....	19
2.4 IMPACTOS AMBIENTAIS DA MINERAÇÃO DE CARVÃO NA BACIA CARBONÍFERA CATARINENSE .....	22
<b>2.4.1 Drenagem Ácida de Mina</b> .....	<b>23</b>
<b>2.4.2 Técnicas de Prevenção ou de Controle da Drenagem Ácida de Mina</b> .....	<b>24</b>
2.5 BREVE HISTÓRICO DAS ÁREAS DE ESTUDO .....	26
<b>2.5.1 Áreas “A” e “B”</b> .....	<b>27</b>
<b>2.5.2 Área “C”</b> .....	<b>29</b>
2.6 MONITORAMENTO DOS RECURSOS HÍDRICOS.....	31
2.7 INDICADORES AMBIENTAIS.....	33
<b>2.7.1 Dados Regionais de Precipitação</b> .....	<b>33</b>
<b>2.7.2 pH</b> .....	<b>33</b>
<b>2.7.3 Vazão</b> .....	<b>34</b>
<b>2.7.4 Manganês Total</b> .....	<b>34</b>
<b>2.7.5 Ferro Total</b> .....	<b>34</b>
<b>2.7.6 Oxigênio Dissolvido</b> .....	<b>35</b>
<b>2.7.7 Acidez Total</b> .....	<b>35</b>
<b>2.7.8 Alumínio Total</b> .....	<b>36</b>
<b>2.7.9 Condutividade</b> .....	<b>36</b>
<b>2.7.10 Sulfato</b> .....	<b>36</b>
<b>2.7.11 Alcalinidade</b> .....	<b>37</b>
<b>3 METODOLOGIA</b> .....	<b>38</b>
3.1 SELEÇÃO DAS ÁREAS .....	38
3.2 VISTORIA EM CAMPO NOS PONTOS DE AMOSTRAGEM.....	39
3.3 LEVANTAMENTO DE DADOS ANALÍTICOS .....	39
3.4 LEVANTAMENTO DE DADOS PLUVIOMÉTRICOS .....	42
3.5 TRATAMENTO DOS DADOS ANALÍTICOS .....	43

<b>4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS DADOS.....</b>	<b>45</b>
4.1 ÁREA “A” .....	45
4.1.1 PMA-01 .....	48
4.1.2 PMA-02 .....	51
4.1.3 PMA-03 .....	54
4.1.4 Análise Integrada .....	57
4.2 ÁREA “B” .....	60
4.2.1 PMB-01 .....	62
4.3 ÁREA “C” .....	67
4.3.1 PMC-01 .....	71
4.3.2 PMC-02 .....	74
4.3.3 PMC-03 .....	78
4.3.4 PMC-04 .....	81
4.3.5 PMC-05 .....	86
4.3.6 PMC-06 .....	89
4.3.7 PMC-07 .....	93
4.3.8 PMC-08 .....	97
4.3.9 Análise Integrada .....	101
<b>5 CONCLUSÃO .....</b>	<b>107</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>111</b>
<b>APÊNDICE(S).....</b>	<b>117</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O carvão mineral no Brasil ocorre principalmente na Região Sul, se estendendo pelos Estados de Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul, e também no estado de São Paulo. No sul de Santa Catarina, as reservas de carvão mineral encontram-se na Bacia Carbonífera Catarinense (BCC), que possui uma largura média de vinte quilômetros e se estende por uma faixa de aproximadamente cem quilômetros de comprimento. Esta segue a orientação Norte-Sul, se situando entre a Serra Geral a Oeste e o maciço granítico da Serra do Mar a Leste (BELOLLI; QUADROS; GUIDI, 2002).

De acordo com Machado; Peruffo; Lima (1984) e Barbosa; Alcover Neto; Sobral (2002), os impactos ambientais negativos provocados pelas atividades de mineração de carvão na BCC são alarmantes e remontam a décadas passadas. À medida que jazidas de carvão eram exauridas, as carboníferas se deslocavam para novas reservas deixando para trás grandes depósitos de rejeito e pilhas de estéril ricos em poluentes.

Um dos impactos mais significativos das atividades de beneficiamento e rebeneficiamento da mineração, de acordo com Alexandre e Krebs (1995 apud CETEM, 2001), é a contaminação dos recursos hídricos a partir da geração da drenagem ácida de mina (DAM). Os impactos ocasionados pela DAM podem atingir corpos hídricos subterrâneos e superficiais afastados do empreendimento, uma vez que os mesmos não se limitam somente à área minerada. Além disso, mesmo após o esgotamento do depósito mineral, ocorrem durante anos reações químicas envolvidas no processo (CETEM, 2001).

A degradação ambiental na BCC oriunda das atividades de mineração de carvão refletiu numa série de conflitos de ordem legal. Com base nisso, em 2000, o Ministério Público Federal (MPF), promoveu uma Ação Civil Pública n. 93.8000533-4, condenando solidariamente as empresas carboníferas e a União, a recuperar as áreas impactadas pela mineração de carvão e os recursos hídricos das bacias hidrográficas dos rios Tubarão, Urussanga e Araranguá, localizadas na região sul de Santa Catarina (JFSC, 2009).

Neste contexto, nos últimos anos teve-se início o desenvolvimento e execução de projetos de reabilitação ambiental de áreas degradadas pela mineração

de carvão, utilizando tecnologias voltadas a minimizar e reduzir os danos provocados pela drenagem ácida de mina no meio ambiente. Um instrumento do projeto de reabilitação ambiental é o programa de monitoramento. Este tem por objetivo avaliar a eficiência das ações do projeto, considerando a evolução da qualidade ambiental em diferentes compartimentos, como por exemplo, a qualidade dos recursos hídricos (superficiais e subterrâneos), solo, vegetação, fauna, entre outros.

Seguindo esta linha de raciocínio, o presente Trabalho de Conclusão de Curso buscou avaliar a qualidade das águas superficiais em três áreas que sofreram impactos pela mineração, selecionadas junto a outras áreas pertencentes a uma carbonífera da região sul de Santa Catarina. Estas três áreas, localizadas nos municípios de Lauro Müller e Treviso, constam no Processo de execução principal n. 2000.72.04.002543-9, da Ação Civil Pública acima citada, onde a empresa responsável pelas áreas é ré e foi condenada (JFSC, 2009). Neste trabalho, as áreas foram denominadas como: Áreas “A” e “B”, em Lauro Müller, e Área “C”, em Treviso.

Dessa forma, este trabalho se inseriu na linha de pesquisa 01, que trata dos Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, do curso de engenharia ambiental e teve como objetivo geral avaliar a evolução temporal da qualidade das águas superficiais visando à comparação da situação antes e após as ações de reabilitação ambiental nas áreas “A”, “B” e “C”, degradadas pelas atividades de mineração de carvão. Para alcançar esta meta, elencaram-se os seguintes objetivos específicos: levantar dados analíticos das águas superficiais monitoradas entre o período do primeiro semestre de 2007 ao primeiro semestre de 2013; verificar em campo as condições dos pontos amostrados; levantar o registro de dados pluviométricos próximos às áreas; fazer tratamento nos dados analíticos no período analisado para verificar a tendência de melhoria na qualidade das águas.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 ASPECTOS DA DISPONIBILIDADE E QUALIDADE DA ÁGUA

De acordo com Braga et al. (2005), a água encontra-se disponível em várias formas, principalmente no estado líquido, sendo uma das substâncias mais comuns existentes na natureza, correspondendo a aproximadamente 70% da superfície do planeta e constituindo-se um recurso natural renovável através do ciclo hidrológico. A disponibilidade da água se faz indispensável para a sobrevivência dos organismos e como fator essencial à manutenção dos ecossistemas.

Os recursos hídricos devem apresentar propriedades físicas e químicas adequadas à sustentabilidade dos organismos, contendo substâncias essenciais à vida, além de isenção de outras substâncias danosas capazes de produzir efeitos deletérios aos organismos que compõem as cadeias alimentares (BRAGA et al., 2005).

Entretanto, o homem não está se preocupando com a preservação dos ciclos naturais dos recursos, se apropriando dos mesmos como se a renovação da água fosse feita todos os dias sem prejuízos ao meio ambiente. A partir do comprometimento da qualidade da água, de acordo com o mesmo autor, limitou-se a sua disponibilidade (MACÊDO, 2004).

Em cada região do país são característicos e variados os impactos sobre os recursos hídricos (MACÊDO, 2004). Segundo o mesmo autor, a incorreta disposição dos resíduos, tanto sólidos quanto líquidos, é o maior problema. Isto significa que os resíduos não tratados atingem os mananciais. Ademais, há ainda o problema dos recursos hídricos serem consumidos excessivamente.

A atividade de mineração é considerada uma das fontes responsáveis pela poluição das águas, através da existência de elementos tóxicos e da disposição de materiais inertes que sobram da atividade (CETESB, 1988 apud MACÊDO, 2002).

Este agravante pode ser constatado visualizando-se os rios existentes na Bacia Carbonífera Catarinense, onde as bacias hidrográficas dos rios Araranguá, Tubarão e Urussanga possuem parcela significativa de seus cursos d'água comprometidos pela mineração.

Alexandre (1999) sugeriu em uma tabela algumas características dos rios influenciados e não influenciados pela atividade de mineração e comparou-os com os padrões de qualidade da época. A tabela 01 demonstra essas características em relação à atual resolução, CONAMA n. 357/2005.

Tabela 1 - Principais características dos rios com e sem influência da mineração de carvão da região sul de Santa Catarina.

<b>Parâmetro</b>	<b>Rio sem Influência da Mineração de Carvão</b>	<b>Rio com Influência da Mineração de Carvão</b>	<b>Resolução CONAMA 20/86</b>	<b>Resolução CONAMA 357/05</b>
pH	6,5 a 7,4	2,0 a 4,0	6,0 a 9,0	6,0 a 9,0
Ferro total (mg/L)	Menor 4,0	10 – 100 Rio Sangão = 190	0,3 (1) 5,0 (2)	0,3 (1) 5,0 (2)
Sulfatos (mg/L)	8 a 25	100 – 1000 Rio Sangão = 2000	250	250
Alumínio (mg/L)	0,2 a 0,5	10 – 100 Rio Sangão = 1000	0,1	0,1 (1) 0,2 (2)
Chumbo (mg/L)	Nd (3)	0,02 – 0,2 Rio Sangão = 2	0,03 (1) 0,05 (2)	0,01 (1) 0,033 (2)
Zinco (mg/L)	Nd	1 – 5 Rio Sangão = 10	0,18 (1) 5 (2)	0,18 (1) 5 (2)
Manganês (mg/L)	Nd	0,5 – 10 Rio Sangão = 15	0,1 (1) 0,5 (2)	0,1 (1) 0,5 (2)

Fonte: Adaptado de Alexandre, 1999.

(1) Padrões para águas de classe 1 e 2.

(2) Padrões para águas de classe 3.

(3) Não detectado.

A partir dos dados expostos acima, é possível perceber o grande impacto causado nos cursos hídricos da região carbonífera. O conhecimento da qualidade da água dos corpos d'água da Bacia Carbonífera Catarinense se faz necessário, uma vez que através dos resultados é possível realizar um melhor planejamento tanto para sua recuperação, como para seus usos futuros.

## 2.2 ASPECTOS LEGAIS

No Brasil, as águas são classificadas em classes de acordo com seus usos pretendidos. Para isso, deve ser observada a sua qualidade para o fim requerido, a qual possui condições e padrões estabelecidos. Independente da classificação, são determinadas as condições e padrões para o lançamento de efluentes oriundos das atividades humanas nos corpos hídricos.

A Resolução do CONAMA n. 357, de 17 de março de 2005, determina em treze classes de qualidade para a classificação das águas de acordo com seus usos, distribuídas em três grupos: salinas, salobras e doces. Ainda, dispõe sobre as diretrizes ambientais para o enquadramento das águas e define que, enquanto o mesmo não for efetivado por parte dos estados, deve-se considerar classe 2 as águas doces e classe 1 as salobras e salinas (CONAMA, 2005).

As condições e padrões de lançamento de efluentes em corpos hídricos receptores estão descritos na Resolução CONAMA n. 430, de 13 de maio de 2011, a qual complementa e altera a resolução n. 357/2005. Essa resolução determina que os efluentes não podem ser lançados com valores em desacordo com aqueles estabelecidos pela resolução. Além disso, define que deverá ser realizado pelos responsáveis pela fonte de poluição um controle e acompanhamento periódico, através de um automonitoramento, dos efluentes lançados nos cursos receptores (CONAMA, 2011).

No estado de Santa Catarina, o enquadramento dos cursos hídricos está descrito na Portaria n. 24, de 19 de setembro de 1979, onde são citados os rios classificados como classe 1 e 3 e os demais, não citados nesta relação, são considerados como classe 2 (SANTA CATARINA, 1979). Considerando haver a necessidade de revisão dessa portaria, o Conselho Estadual de Recursos Hídricos (CERH) de Santa Catarina elaborou a Resolução CERH n. 003/2007, que enquadra os cursos d'água superficiais do Estado como classe especial, conforme a classificação determinada pela Resolução n. 357/2005 (CERH, 2007).

O Código Estadual do Meio Ambiente de Santa Catarina, descrito na Lei n. 14.675, de 13 de abril de 2009, estabelece em seu Capítulo VII, na Seção II, dos recursos hídricos, os padrões de lançamento, direto ou indireto, de efluentes em corpos de água interiores, lagunas, estuários e na beira-mar, além dos estabelecidos pelas normas federais (SANTA CATARINA, 2009).

### 2.3 BREVE HISTÓRICO DA MINERAÇÃO DE CARVÃO NA BACIA CARBONÍFERA CATARINENSE (BCC)

De acordo com o CETEM (2001), a história do carvão em Santa Catarina iniciou quando, em 1822, os tropeiros que desciam a serra do “12”, com destino a Laguna, descobriram o carvão catarinense. A região de Lauro Müller foi o local onde se iniciaram os primeiros trabalhos de exploração no estado. A extração, até 1884, era completamente manual e as pequenas produções predominavam. Durante as duas grandes guerras mundiais, o carvão catarinense serviu de suporte para atividades econômicas, devido à escassez de outros combustíveis para os transportes marítimos e ferroviários e para a indústria.

As primeiras leis foram criadas em 1931 e 1940, as quais “obrigavam o consumo, pelas indústrias, de 10 e 20%, respectivamente, do carvão nacional em substituição ao importado.” (CETEM, 2001, p. 8).

A partir da década de 40, a Companhia Siderúrgica Nacional (CSN) foi responsável pela expansão da produção de carvão em Santa Catarina e pela política nacional para o consumo do carvão, contribuindo na exploração das jazidas de carvão a céu aberto (CETEM, 2001). O método de lavra a céu aberto utilizado na época causava a inversão das camadas, sendo realizado com o auxílio de um equipamento conhecido como dragline Marion (FEPAM, 2002 apud GALATTO, 2006).

Para a ampliação do uso do carvão nacional na geração de energia elétrica, além da procura por mercados novos e utilização para os subprodutos gerados no beneficiamento e aperfeiçoar a economicidade da indústria carbonífera como um todo, foram feitas diversas iniciativas, com apoio maior do governo, entre os anos de 1953 e 1970. Através da mecanização das atividades de lavra e da criação de subsídios, a década de 70 e início de 80 marcaram a efetiva diversificação da economia na região da BCC (CETEM, 2001). Segundo o mesmo autor, os setores industriais de cimento, papel, celulose, cerâmica, petroquímica, fumo, alimentação, entre outros, passaram a fazer parte dos consumidores do carvão.

A poluição ambiental agravou-se com a mecanização das minas subterrâneas, uma vez que se diminuiu a seletividade da lavra mecanizada e aumentou-se a quantidade de rejeitos encaminhados para a superfície

(ALEXANDRE, 1999). Como as máquinas utilizadas exigiam galerias mais amplas, as condições de trabalho melhoraram neste aspecto, além das mesmas realizarem o serviço, até então feito pelos mineiros, de desmonte manual. Em contrapartida, houve um aumento de vazão de drenagem ácida e de doenças profissionais; esta, em razão da circulação de ar no interior das galerias e do volume de carvão movimentado.

Os incentivos à indústria carbonífera foram aumentados pelo Governo Federal a partir das crises mundiais energéticas de 1973 e 1979, por meio de subsídios ao consumo e ao transporte do carvão e de financiamentos facilitados às empresas, objetivando a substituição dos derivados de petróleo e desenvolver as fontes de energia alternativas no Brasil (CETEM, 2001). De acordo com Alexandre (1999), a máxima produção de carvão ocorreu na chamada “década de ouro”, entre os anos de 1975 e 1985, quando se produziu em torno de 125 milhões de toneladas de rejeitos sólidos provenientes das etapas de beneficiamento e extração do carvão.

Em 1986, segundo CETEM (2001), a produção e o consumo do carvão brasileiro alcançaram oito milhões de toneladas, valor três vezes maior que o obtido no ano de 1975, sendo o valor máximo já alcançado. Deste modo, conquistou novos mercados, tendo o cimenteiro como destaque.

O declínio econômico do carvão iniciou em 1988, com a suspensão de qualquer tipo de subsídio ao mineral. A “era Collor de Mello” foi à época de maior crise do setor carbonífero, em setembro de 1990, a partir da desregulamentação do setor por meio da assinatura da Portaria Federal n. 801. A produção do carvão no Brasil ficou estabilizada entre cinco e seis milhões de toneladas anuais a partir do ano de 1990 (CETEM, 2001).

O grande impacto ocasionado no sul de Santa Catarina pela atividade mineradora originou a Ação Civil Pública (ACP) n. 93.8000533-4, movida pelo Ministério Público Federal (MPF), onde foram condenadas solidariamente empresas carboníferas da região e a União, a recuperar as áreas impactadas pela mineração de carvão e os cursos hídricos das bacias hidrográficas dos rios Tubarão, Urussanga e Araranguá (JFSC, 2009).

A ACP foi movida pelo Ministério Público Federal, em 1993. Os executados nessa ação se baseiam nos temas de abrangência geral, que são desenvolvidos e decididos no Processo de Execução Principal n. 2000.72.04.002543-9. Além disso, há os processos específicos de execução,

elaborados para cada réu. Esta medida foi tomada em razão de ser tratada, simultaneamente, uma grande quantidade de temas (JFSC, 2013a).

A recuperação das áreas degradadas pela mineração de carvão observa o documento denominado “*Critérios para recuperação ou reabilitação de áreas degradadas pela mineração de carvão*”, determinado pelo Grupo Técnico de Assessoramento (GTA), além do cronograma já estabelecido para início da recuperação de cada área. Neste documento, constam os conceitos relacionados à recuperação das áreas, as condições as quais o Projeto de Recuperação de Área Degradada (PRAD) deve atender para licenciamento ambiental; critérios a serem atendidos junto as Áreas de Preservação Permanente (APP); demais áreas excetuando-se APP; áreas mineradas em subsolo; aspectos sociais e direitos dos proprietários das áreas a serem recuperadas; dentre outros aspectos relevantes (JFSC, 2013b).

O GTA é formado por representantes de empresas condenadas e por órgãos ligados à questão minerária e ambiental, sendo formado como uma maneira de promover um fórum técnico de debates e decisões. É também de responsabilidade do grupo, a promoção na região de um amplo monitoramento ambiental e o assessoramento na compreensão a cerca de temas técnicos pelo Juízo (JFSC, 2013a).

Os PRADs foram padronizados de maneira a exigir o cumprimento de vários requisitos pelas rés. Para tanto, empregou-se o modelo sugerido pelo MPF, o qual se fundamentava na NBR 13030/99, nas Resoluções CONAMA 001/86 e 009/90, na NRM-21 (Reabilitação de Áreas Pesquisadas, Mineradas e Impactadas) e NRM-01 (Normas Gerais) da Portaria do DNPM n. 237/2001 e o Decreto-Lei n. 97.632/89 (JFSC, 2012).

Também existe outro documento, denominado “*Proposta de indicadores ambientais e plano de monitoramento para as áreas degradadas pela mineração de carvão no Estado de Santa Catarina*”, homologado pelo Juízo para utilizar como base para um amplo relatório técnico, composto pelos diversos planos de monitoramentos (JFSC, 2012). As obras de recuperação previstas na ACP possui como base o ano de 2020 para suas finalizações.

## 2.4 IMPACTOS AMBIENTAIS DA MINERAÇÃO DE CARVÃO NA BACIA CARBONÍFERA CATARINENSE

A mineração a céu aberto ou em subsolo são as duas maneiras existentes para o funcionamento da atividade, sendo determinada conforme as condições da jazida. Em ambas as situações existem o risco potencial de ocorrência de impactos negativos sobre o solo e água (ALEXANDRE, 1999). A degradação pode ocorrer também em função da realização incorreta das atividades de beneficiamento, estocagem e transporte.

Neste contexto, os principais problemas ambientais ocorridos na Bacia Carbonífera Catarinense (BCC) foram ocasionados em função da maneira predatória como foi realizada as operações de extração e beneficiamento do carvão. Os problemas ambientais ainda permanecem, mesmo com os esforços para aprimorar estas atividades, aliado ao tratamento e disposição dos resíduos da mineração por parte das mineradoras (MILIOLI; SANTOS; CITADIN-ZANETTE, 2009).

As atividades de lavra a céu aberto originam a exposição de grandes áreas em superfície, além de que nas áreas próximas aos locais minerados ocorre a geração de uma grande quantidade de rejeitos depositados em barragens ou pilhas, que são ricos em sulfetos e se constituem em uma fonte de geração de drenagens com níveis de metais muito altos. Como consequência, ocorre uma ampla dispersão dos contaminantes, os quais são lixiviados até alcançarem arroios e rios, tanto na forma particulada quanto dissolvida (SALOMONS, 1995 apud ORTIZ; TEIXEIRA, 2002).

Diversos autores consideram a drenagem ácida de mina (DAM) um dos principais impactos da mineração (ALEXANDRE; KREBS, 1995, apud CETEM, 2001; RUBIO; OLIVEIRA; SILVA, 2010; TRINDADE; SOARES, 2004; BORMA; SOARES, 2002), a qual é geralmente proveniente da poluição decorrente da percolação da água de chuva através de rejeitos gerados nas atividades de lavra e beneficiamento, alcançando os corpos hídricos superficiais e/ou subterrâneos (ALEXANDRE; KREBS, 1995, apud CETEM, 2001).

As áreas não cobertas por material estéril e por depósitos de rejeitos também podem ter seu solo contaminado pela mineração de carvão. Esta contaminação pode ocorrer por meio da inundação de áreas não contaminadas com águas de drenagens ácidas. A atividade de mineração também causa poluição do ar

a partir da manipulação de material particulado gerado no processo de lavra e beneficiamento e rebeneficiamento (CETEM, 2001), e da geração de gases tóxicos, tais como monóxido de carbono, gás sulfídrico e hidrocarbonetos, através da autocombustão à que o rejeito piritoso fica sujeito quando exposto à umidade e ao oxigênio atmosférico (ALEXANDRE, 1999).

#### 2.4.1 Drenagem Ácida de Mina

O processo de oxidação da pirita, assim como da existência de outros sulfetos, resulta na geração de um dos principais impactos ambientais da atividade de mineração: a drenagem ácida de mina. Esta produz uma solução rica em sulfatos, ferro, alumínio e metais pesados, como manganês, cádmio, chumbo e, em casos particulares, urânio e tório; além de possuir um pH inferior a 2,0, sendo considerada muito acidificada (UBALDO; SOUZA, 2008).

A oxidação dos sulfetos metálicos presentes na pirita ocorre a partir da presença de oxigênio atmosférico. A geração de drenagem ácida resulta da presença da água que infiltra e percola através do resíduo. A água é considerada o veículo de transporte das substâncias químicas para fora da área de disposição (UBALDO; SOUZA, 2008).

Este processo acontece em função de três condições: i) processos microbiológicos; ii) condições que predominam dentro do depósito ou pilha de resíduos; iii) exposição ao oxigênio atmosférico. Ademais, o mesmo ocorre em diversos estágios, sendo alguns simultâneos (BORMA; SOARES, 2002).

O bissulfeto de ferro ( $\text{FeS}_2$ ) ocorre nos estratos geológicos em duas formas predominantes, marcassita e pirita, que se diferenciam em suas formas cristalográficas, mas possuem composição química igual. A oxidação destes materiais ocorre a partir de uma série de reações, onde a reação geral estequiométrica está descrita na Equação 1; em que os produtos da reação entre a pirita, oxigênio e água, são hidróxido de ferro sólido, sulfato, íons e calor (UBALDO; SOUZA, 2008).



A reação que ocorre a partir da oxidação dos sulfetos e da acidificação das águas que percolam no rejeito é, de início, lenta. Com o pH atingindo, principalmente, valores abaixo de 3,5, pode-se catalisar essa reação com processos microbiológicos (SOUZA et al, 2011). O ciclo dessas reações continua ocorrendo até que se consuma toda pirita acessível aos reagentes da reação (PRADO et al, 2011). A geração da DAM pode ser reduzida ou eliminada caso alguma dessas reações seja detida ou torne-se lenta (ALBA, 2010).

Os impactos gerados pela drenagem ácida podem atingir cursos hídricos subterrâneos e superficiais afastados do empreendimento, uma vez que os mesmos não se limitam somente à área minerada. Mesmo após o esgotamento do depósito mineral, ocorrem durante anos reações químicas envolvidas no processo. Também, há o fato de que o uso da água para fins agrícolas, recreativos e de consumo é inviabilizado pela contaminação (CETEM, 2001).

Para o gerenciamento da disposição de resíduos da atividade de mineração, assim como a tomada de decisão de alternativas de mitigação e controle, faz-se necessário avaliar o potencial de geração dessa drenagem na etapa de planejamento do empreendimento. Deste modo, as mesmas podem auxiliar as ações de recuperação no caso do encerramento das atividades, além de diminuir os impactos ambientais ao longo da vida útil da mina (CETEM, 2001).

#### **2.4.2 Técnicas de Prevenção ou de Controle da Drenagem Ácida de Mina**

Conforme exposto, a DAM necessita de dois elementos para ser gerada: oxigênio e água. As alternativas existentes para controlar a geração da drenagem ácida visam diminuir o contato desses dois elementos com o material reativo (UBALDO; SOUZA, 2008). Desse modo, as chamadas coberturas secas e as coberturas úmidas são as ações que são empregadas normalmente, de modo a diminuir a produção de acidez em resíduos de mineração.

O aumento do nível d'água dentro das áreas de disposição de resíduos ou a inundação controlada consiste na cobertura úmida. A mesma tem como objetivo diminuir o oxigênio que vai para dentro do material reativo. Desse modo, o processo gerador de acidez é reduzido (UBALDO; SOUZA, 2008). Este método é indicado em locais onde se tem a possibilidade de restabelecer ou elevar o nível do lençol

freático, de maneira que irá submergir os rejeitos responsáveis pela geração de acidez (BORMA; SOARES, 2002).

O sistema de cobertura seca consiste na cobertura de resíduos com materiais sólidos, de modo a diminuir o contato do oxigênio e da água com os materiais poluentes (BORMA; SOARES, 2002). Esta cobertura pode ser feita com diferentes tipos de solos, formando-se camadas. Estes, por sua vez, podem ser trocados por outros materiais, como resíduos oriundos de outras atividades ou geossintéticos. A substituição por esses materiais pode ser feita desde que os mesmos apresentem propriedades necessárias a esta ação (UBALDO; BORMA; BARBOSA, 2006). As condições climáticas e os materiais utilizados são as características que determinam o desempenho desse tipo de cobertura (UBALDO; SOUZA, 2008).

Existem basicamente três formas de coberturas secas: barreira de transporte de oxigênio, barreira hidráulica e barreira capilar. A primeira consiste em diminuir o fluxo de oxigênio criando-se uma barreira ao transporte de oxigênio. O mesmo pode transportar-se por difusão, por meio dos poros preenchidos por ar dissolvido na água da chuva e a partir da ação do vento nas pilhas (UBALDO; SOUZA, 2008). Assim, é necessário que, independente da condição climática, o solo argiloso utilizado na camada possua um alto grau de saturação (UBALDO; BORMA; BARBOSA, 2006). Este tipo de barreira é indicado em locais com pouca precipitação pluviométrica e em depósitos recentes de resíduos (pouco oxidados), uma vez que nesses casos é mais importante o controle da presença de oxigênio (BORMA; SOARES, 2002).

A barreira hidráulica consiste em limitar a infiltração, diminuindo a água que percola e passa pela zona oxidada dentro da pilha de resíduo e que pode atingir as águas subterrâneas (UBALDO; SOUZA, 2008). Neste caso, como o objetivo principal é o controle do fluxo de água, recomenda-se seu uso em antigos depósitos de resíduos, os quais já sofreram grande ação da oxidação e apresentam muitos produtos e ácidos resultantes dessa reação (BORMA; SOARES, 2002).

Por fim, a barreira capilar consiste em formar uma barreira ao fluxo da água e do oxigênio para o resíduo, simultaneamente, utilizando-se, também, de camadas de solos ou outros materiais (UBALDO; BORMA; BARBOSA, 2006). Quando se tem conhecimento de que o resíduo existente nos depósitos é antigo e recente, e quando não se tem conhecimento detalhado das características da

geração de drenagem ácida, emprega-se esse tipo de barreira (BORMA; SOARES, 2002).

Em todos os casos descritos acima, para fins de elaboração de projeto, devem-se analisar as condições climáticas que predominam na região onde será implantada a barreira. Nesse contexto, é necessário saber que quando duas áreas apresentam condições climáticas diferentes, o mesmo projeto não poderá ser transposto com sucesso em pelo menos uma delas (BORMA; SOARES, 2002).

Em termos de eficiência, a cobertura úmida se sobressai uma vez que é feito um bloqueio efetivo da difusão do oxigênio, sendo que a cobertura seca pode alcançar mesma eficiência caso uma das camadas da barreira conserve-se saturada ao longo do tempo, de modo a manter baixa a taxa de difusão do oxigênio. Entretanto, as coberturas secas, se considerarem as condições hidrogeológicas e climáticas do local e se forem projetadas com materiais apropriados, tem a capacidade de limitar tanto a entrada de água quanto de oxigênio nos depósitos (BORMA et al, 2003).

A prevenção e controle da drenagem ácida, geralmente, abrangem diversos sistemas, como os de drenagem, unidade de tratamento de efluentes e uso de coberturas, consistindo em uma solução integrada para este problema. Assim, a necessidade desses sistemas não é eliminada somente com o uso das coberturas secas ou úmidas, mesmo diminuindo os custos de sistemas de tratamento de efluentes a partir da redução substancial do volume de DAM originado (BORMA; SOARES, 2002). Além disso, segundo mesmo autor, há situações em que a simples coleta e tratamento dos efluentes ácidos podem solucionar os problemas gerados pela drenagem ácida, não havendo, assim, a necessidade de aplicarem-se as coberturas. Por fim, recomenda-se que sejam conferidos os custos e eficiência para alternativas com e sem o uso de coberturas quando for determinar uma técnica de mitigação da drenagem ácida.

## 2.5 BREVE HISTÓRICO DAS ÁREAS DE ESTUDO

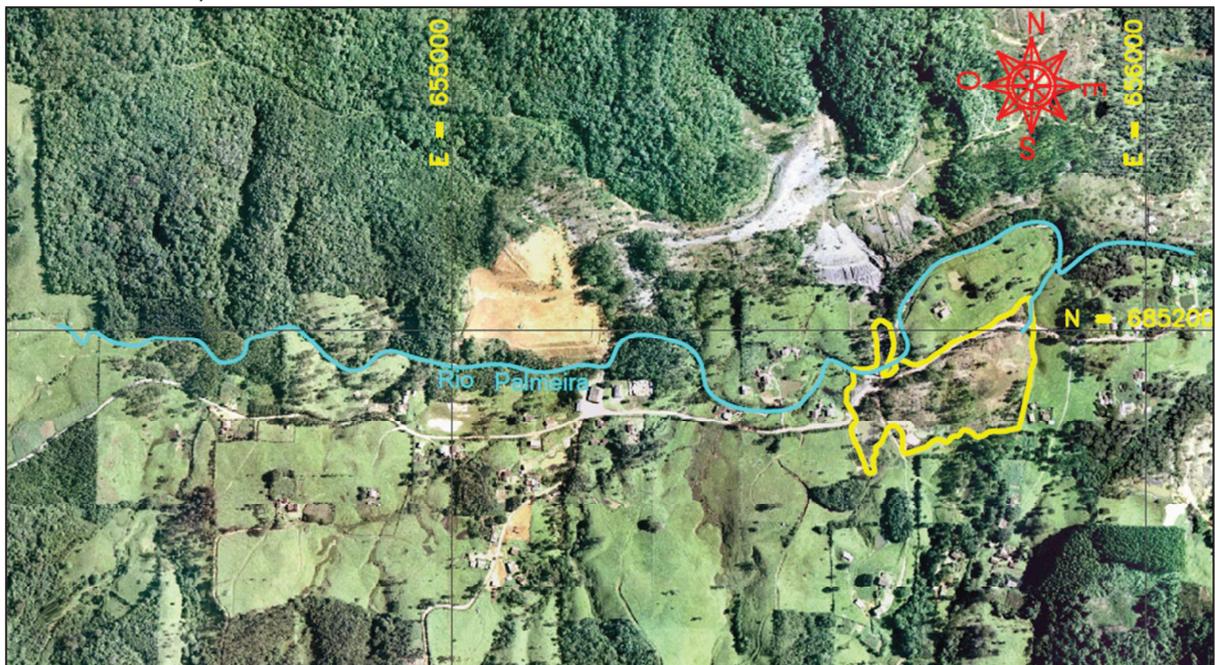
De maneira a facilitar a identificação das áreas selecionadas para este estudo, adotou-se a seguinte nomenclatura: as duas áreas situadas em Lauro Müller foram identificadas como Áreas “A” e “B” e a área localizada em Treviso foi denominada de Área “C”.

### 2.5.1 Áreas “A” e “B”

O carvão extraído nas Áreas “A” e “B”, pertenciam às camadas Barro Branco e Bonito Inferior, onde se realizou a mineração a céu aberto. Estas áreas possuem, respectivamente, 3,40 e 3,67 hectares (GEOVITA, [2007]).

Na Área “A” há evidências de galerias de minas subterrâneas (bocas de mina), caimentos e acidez em um fluxo de água de intensidade baixa. Há a interação da área pela vizinhança, através da pecuária e, em sua porção sul, há bacias de acumulação de água, que se assemelham a açudes (GEOVITA, [2007]). Esta área ainda não possui qualquer ação de recuperação ambiental. A figura 01 apresenta a vista aérea da área, com sua delimitação, com ortofoto datada de fevereiro de 2002. O sistema de coordenadas utilizado foi o Universal Transversa de Mercator (UTM) – South American Datum 1969 Fuso 22 Sul e a escala utilizada foi de 1:5.000.

Figura 1 - Vista aérea com a localização espacial do polígono que compõe a Área “A”, localizada em Lauro Müller.

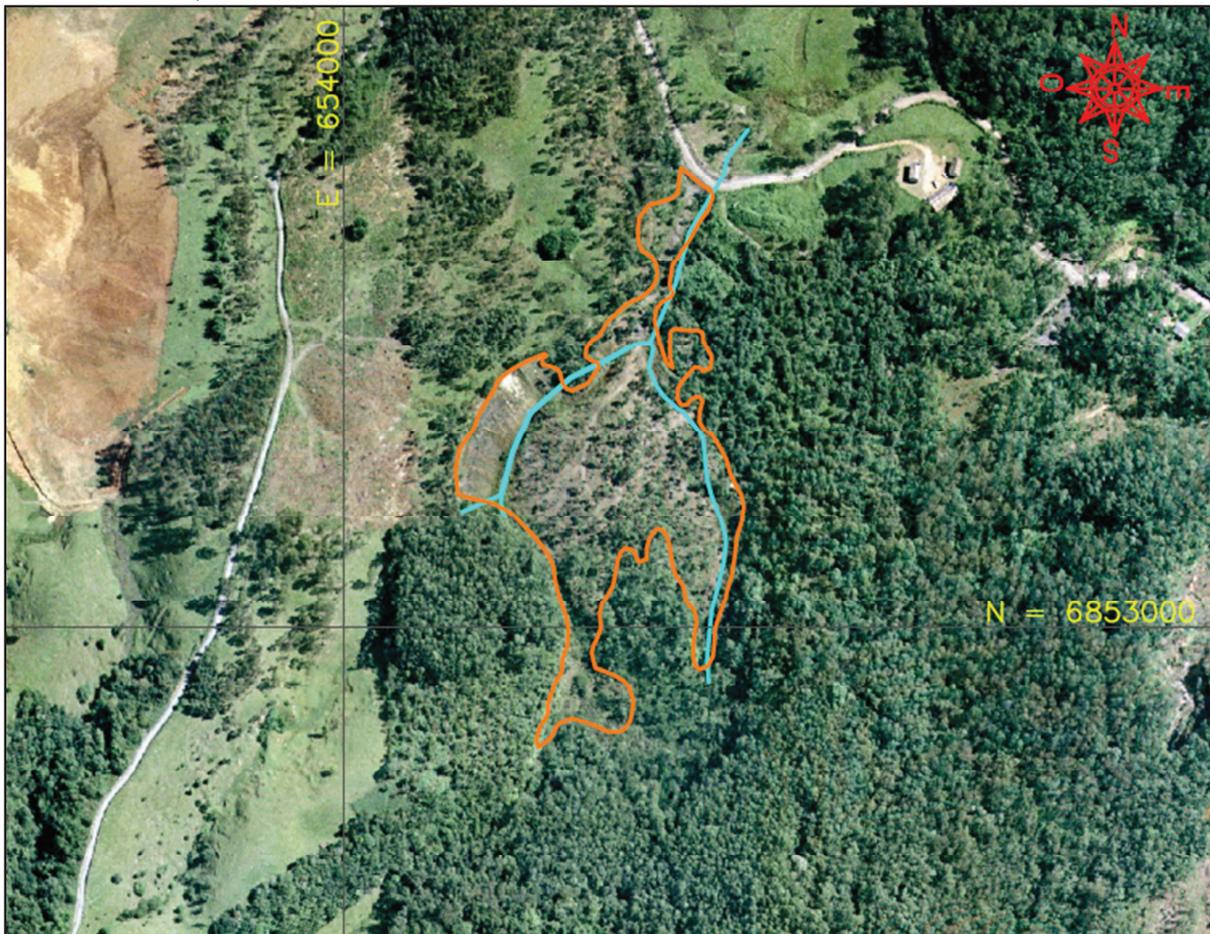


Fonte: Adaptado de GEOVITA, 2006.

Na Área “B”, havia a exposição de material estéril, proveniente da extração da camada Barro Branco, e um corpo hídrico de baixa vazão. Esta área teve sua topografia reconformada parcialmente após o abandono da lavra, mas que não foi suficiente do ponto de vista de geração de DAM, e havia a exposição a processo erosivo da área em função da vegetação na área que era pouco

estabelecida (GEOVITA, [2007]). Esta área atualmente está em fase de finalização de recuperação. A figura 02 apresenta a vista aérea da Área “B”, com sua delimitação, em ortofoto datada de fevereiro de 2002. O sistema de coordenadas utilizado foi o Universal Transversa de Mercator (UTM) – South American Datum 1969 Fuso 22 Sul e a escala utilizada foi de 1:5.000.

Figura 2 - Vista aérea com a localização espacial do polígono que compõe a Área “B”, localizada em Lauro Müller.



Fonte: Adaptado GEOVITA, 2006.

As principais ações de reabilitação ambiental propostas no Projeto de Recuperação Ambiental protocolado na Fundação de Meio Ambiente (FATMA) foram: remoção da cobertura vegetal existente, recomposição topográfica, cobertura do estéril, construção de canais de drenagem periféricos e reconstrução dos canais internos existentes, fechamento de bocas de mina e caimentos, reconstrução do solo, recomposição da vegetação e cercamento da área (GEOVITA, 2010). Até o presente momento, apenas a recomposição da vegetação e o cercamento da área ainda não foram feitos.

### 2.5.2 Área “C”

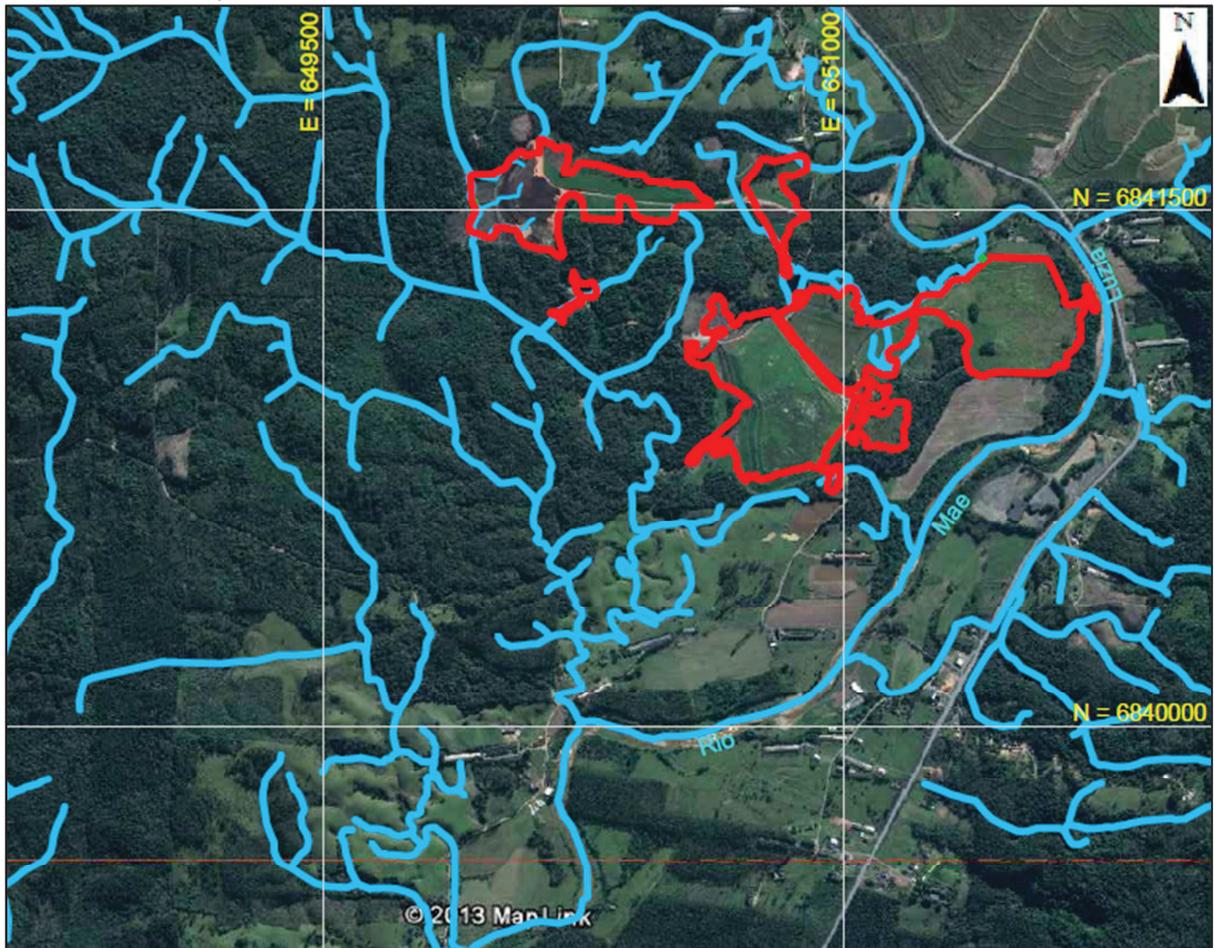
Na Área “C” foram extraídos cerca de 5,77 milhões de toneladas de carvão *Run Of Mine* (ROM), da Camada Barro Branco proveniente do subsolo entre os anos de 1982 e 1989, sendo todo este carvão beneficiado na usina existente na antiga unidade. O processo de reabilitação ambiental das áreas degradadas em superfície pela mina contemplou as atividades de extração e beneficiamento de rejeitos carbonosos das antigas bacias de decantação do beneficiamento, totalizando uma área de 57,97 hectares (GEOLÓGICA, [2006]).

Esta área se situa entre os rios Mãe Luzia e Manim, que pertencem à sub-bacia do rio Mãe Luzia, e compõem a Bacia Hidrográfica do Rio Araranguá. A área recuperada situa-se na margem direita do primeiro rio, que se apresenta bem sinuoso, possuindo uma largura aproximada de 30 metros (GEOLÓGICA, [2006]).

No Relatório do Ministério Público Federal (JFSC, 2010), a área minerada a céu aberto ao norte da área e o antigo depósito de rejeitos foram adicionados ao PRAD posteriormente.

A imagem utilizada na figura 03 para representar a delimitação da área, é datada de 2013 e foi obtida através do software Google Earth. O sistema de coordenadas utilizado foi o Universal Transversa de Mercator (UTM) – South American Datum 1969 Fuso 22 Sul e a escala utilizada foi de 1:5.000.

Figura 3 - Vista aérea com a localização espacial dos polígonos que compõe a Área "C", localizada em Treviso.



Fonte: Adaptado SATC, 2013.

De forma geral as principais ações de reabilitação ambiental propostas no Projeto de Recuperação Ambiental protocolado na Fundação de Meio Ambiente (FATMA) e efetuadas na recuperação da área foram: i) retirada e beneficiamento dos finos depositados nas bacias de decantação, dispendo-os em um novo depósito, distante das margens de rios, construído obedecendo às normas técnicas; ii) utilização desses rejeitos para o enchimento/assoreamento da cava de acesso ao subsolo da mina; iii) redistribuição dos rejeitos espalhados pelas vias de circulação interna e pátios operacionais, diminuindo a área afetada; iv) reconformação topográfica; v) raspagem de solo estéril; vi) impermeabilização das pilhas e bacias de rejeito e plantio de vegetação adequada (GEOLÓGICA, [2006]).

## 2.6 MONITORAMENTO DOS RECURSOS HÍDRICOS

As atividades de mineração de carvão em Santa Catarina impactaram as bacias hidrográficas dos rios Araranguá, Tubarão e Urussanga. Destas, a bacia do rio Araranguá, de acordo com SNIEC (1983 apud CETEM, 2001), detém 80% da produção de carvão da região. Segundo o SDMA/MITSUBISHI CORP/CHIYODADAMES & MOORE CO (1997 apud CETEM, 2001), mais de 370 milhões de metros cúbicos de rejeitos e estéril ocupam as áreas das três bacias hidrográficas, e em um mapeamento preliminar registrou 4,7 mil há com materiais expostos. Posteriormente, um levantamento realizado pela SATC mapeou 6,4 mil ha aproximadamente de áreas degradadas, sendo que este valor é sempre revisado e atualizado (JFSC, 2013c).

Neste contexto, os sistemas de monitoramento da qualidade das águas consistem em fornecer informações obtidas através de análises sobre o meio, de modo a auxiliar no entendimento dos processos ambientais que acontecem nos ecossistemas, subsidiando, assim, na correta atuação sobre as causas das alterações encontradas. Desta maneira, é necessário que estes sistemas de monitoramento sejam entendidos e planejados (REBOUÇAS; BRAGA; TUNDISI, 2006).

Pensando nisso, o GTA propôs, em consenso com membros do grupo, o relatório que dispõe sobre os critérios técnicos de recuperação. Neste documento constam os critérios para fins de monitoramento ambiental.

Na revisão 06, de 2012, dos Critérios Técnicos de Recuperação, é descrito que, para os recursos hídricos superficiais e subterrâneos, o monitoramento precisa se basear na metodologia apresentada pelo Grupo Técnico de Assessoramento (GTA). Este deve contemplar a determinação de pontos de amostragem, medidas de vazão, coleta e análises físico-químicas. As campanhas precisam ser feitas em período seco e chuvoso, ou seja, devem estar condicionadas ao regime hidrológico. Portanto, as amostragens precisam, no mínimo, ter uma frequência semestral (JFSC, 2013b).

De acordo com este mesmo documento,

Os pontos devem ser definidos em função de sua representatividade e da maior vulnerabilidade à contaminação de drenagem ácida de origem superficial ou subterrânea e da sua importância como sistemas produtores

de água para uso humano e industrial. Os parâmetros utilizados como indicadores da qualidade ambiental serão os mesmos definidos pelo GTA para o monitoramento regional. (JFSC, 2013b, não paginada).

Desta maneira, as amostragens na região são feitas em 140 pontos, que se localizam nos corpos hídricos que drenam áreas atuais e antigas de mineração de carvão, e consiste na caracterização físico-química e em medidas de vazão. A determinação da localização desses pontos foi arranjada de maneira que o monitoramento seja feito a montante e a jusante de todas as áreas degradadas pela mineração de carvão. São feitas também análises bacteriológicas em alguns rios. Em função do regime hidrológico, o monitoramento dos recursos hídricos é feito uma vez por semestre (GOMES et al, 2008), atendendo aos seguintes parâmetros: dados regionais de precipitação (chuva), pH, vazão, manganês total, ferro total, oxigênio dissolvido, acidez total, alumínio total, condutividade, sulfatos e alcalinidade (JFSC, [2009]).

De acordo com Gomes et al (2008), os metais dos rios e as cargas de acidez são determinados a partir dos resultados das análises físico-químicas. Dessa maneira, é possível determinar a participação das principais fontes de poluição dos cursos d'água no impacto ambiental da bacia e a localização dessas fontes. Portanto, o monitoramento da qualidade da água se faz um importante instrumento para analisar a eficácia dos trabalhos que vem sendo executados nas áreas impactadas pela mineração de carvão na BCC.

O Plano de Monitoramento Ambiental (PMA) visa gerar um banco de dados e analisar a evolução da qualidade ambiental através da geração de dados técnicos/científicos a curto, médio e longo prazo (ALBA, 2007).

Na região, a geração de DAM é o aspecto ambiental principal, foco do monitoramento. O Núcleo de Meio Ambiente do Centro Tecnológico de Carvão Limpo da Associação Beneficente da Indústria Carbonífera de Santa Catarina (CTCL/SATC), através de convênio com o SIECESC, administra o banco de dados geográficos alimentados pelos dados levantados nos monitoramentos (JFSC, [2009]).

Uma vez finalizados os trabalhos de reabilitação nas áreas, a fase de monitoramento será autorizada a partir de Licença Ambiental de Operação (LAO), emitida pela FATMA. Será emitido laudo atestando a reabilitação da área pela FATMA somente a partir da comprovação, através de monitoramento por tempo

satisfatório, da eficiência da reabilitação. No caso de comprovada ineficiência das obras de reabilitação a partir de vistorias e monitoramentos, a FATMA e o Ministério Público Federal poderão determinar novas intervenções, obedecendo aos critérios estabelecidos no documento dos “Critérios Técnicos de Recuperação” (JFSC, 2013b).

## 2.7 INDICADORES AMBIENTAIS

O monitoramento ambiental da qualidade da água, como exposto anteriormente, obedece a critérios apresentados pelo GTA. Dentre estes, há a determinação dos indicadores a serem utilizados neste trabalho, a saber: dados regionais de precipitação (chuva), pH, vazão, manganês total, ferro total, oxigênio dissolvido, acidez total, alumínio total, condutividade, sulfatos e alcalinidade.

### 2.7.1 Dados Regionais de Precipitação

A dinâmica fluvial e o ciclo hidrológico são influenciados pelo clima e seus elementos. Por isso, deve-se levar em consideração este fator no momento do estudo do diagnóstico ambiental de uma área e seu monitoramento. Desta maneira, este dado pode servir de subsídio para interpretar a relação entre os aspectos qualitativos da água e a quantidade de chuvas ou, também, determinar relações entre o meio biótico de uma área e as chuvas (CTCL, 2013a).

### 2.7.2 pH

O potencial hidrogeniônico é medido em uma escala de valores entre 0 e 14. Grande parte dos organismos, a longo prazo, são considerados compatíveis com valores de pH entre 6 e 9; e são prejudicados ou mortos com pH abaixo de 5,5. Valores de pH muito altos ou muito baixos acarretam, respectivamente, em doenças básica ou ácida em peixes (FATMA, 1999).

O pH pode sofrer um aumento gradual em corpos hídricos que recebem contribuição de DAM em razão da dissolução de minerais alcalinos, como silicatos e carbonatos. Este aumento do pH pode acontecer de maneira imediata através da

mistura das águas que recebem as drenagens e acarreta na sedimentação dos metais ligada à precipitação dos hidróxidos de ferro (ORTIZ; TEIXEIRA, 2002).

### **2.7.3 Vazão**

Segundo Alexandre; Krebs (1995), o conhecimento da vazão no monitoramento da qualidade de um corpo hídrico auxilia na classificação do grau de poluição de acordo com os padrões pré-estabelecidos, correlacionando este grau com a vazão correspondente.

O conhecimento da descarga líquida ou vazão correspondente em cada nível ou cota d'água no ponto em estudo, ou seja, a determinação da relação cota X descarga, é feita através de medições de vazão feitas nos corpos hídricos (ALEXANDRE; KREBS, 1995).

Em um corpo hídrico, a capacidade de diluição da carga poluidora no momento de seu lançamento é diretamente proporcional à vazão deste curso d'água (ALEXANDRE; KREBS, 1995).

### **2.7.4 Manganês Total**

A lixiviação de minérios e a poluição industrial, conforme Alexandre; Krebs (1995), são os dois processos que originam o manganês. Os cursos d'água impactados pelas atividades de mineração apresentam este parâmetro, uma vez que nódulos de óxido de ferro e manganês ocorrem frequentemente junto às camadas de carvão.

A solubilização desse metal total ou parcial deve-se à alteração no ambiente geoquímico e deriva do aumento ou redução do potencial de oxi-redução e redução do pH em função do aporte da carga ácida (GEOLÓGICA, [2006]).

### **2.7.5 Ferro Total**

O ferro é um metal que confere odor e cor amarelo-avermelhada aos cursos hídricos que o recebem, além de propiciar o desenvolvimento de ferro-bactérias (ALEXANDRE; KREBS, 1995). De acordo com Ortiz; Teixeira (2002), o mesmo é considerado uma consequência direta da dissolução da pirita, apresentando altas concentrações de ferro e enxofre.

Assim como o manganês, a solubilização do ferro total ou parcial deve-se à alteração no ambiente geoquímico e deriva do aumento ou redução do potencial de oxi-redução e redução do pH em função do aporte da carga ácida (GEOLÓGICA, [2006]).

No ponto de descarga das drenagens de mina há um aumento significativo da concentração de ferro nos corpos hídricos. Entretanto, a jusante destes locais, este valor diminui ligeiramente até níveis basais (ORTIZ; TEIXEIRA, 2002).

### **2.7.6 Oxigênio Dissolvido**

Diversos organismos aquáticos necessitam de oxigênio para realizarem os processos metabólicos de bactérias aeróbicas, assim como outros microrganismos que utilizam o oxigênio como acceptor de elétrons para degradar os poluentes nos sistemas aquáticos (ROCHA; ROSA; CARDOSO, 2004).

Por outro lado, a Fundação do Meio Ambiente de Santa Catarina (FATMA, 1999) considera o oxigênio um elemento bastante agressivo em função de sua afinidade com grande parte dos demais elementos a partir do processo de oxidação, gerando óxidos.

A concentração igual ou superior a 5 mg/L de oxigênio, de acordo com Alexandre; Krebs (1995), é considerada satisfatória e desejável.

### **2.7.7 Acidez Total**

A capacidade de uma água em neutralizar álcalis é denominada de acidez. A mesma está relacionada ao pH e não existe padrão de referência do ponto de vista de saúde pública e sanitário (ALEXANDRE; KREBS, 1995).

Os corpos hídricos que drenam áreas com presença de rochas estéreis, rejeitos e bocas de minas com DAM apresentam acidez. Assim, considera-se esse parâmetro no monitoramento das áreas impactadas pela mineração de carvão (GEOLÓGICA, [2006]).

A partir da geração de ácido sulfúrico, tem-se o aumento da acidez nas águas superficiais. Com esse processo, a maior parte dos metais liberados pela

oxidação da pirita se mantém dissolvida na água, o que prejudica a vida aquática e o uso da água para abastecimento público (GEOLÓGICA, [2006]).

### **2.7.8 Alumínio Total**

O alumínio que se origina na bacia carbonífera está relacionado com a mineralogia das rochas drenadas através dos corpos hídricos das bacias hidrográficas (GEOLÓGICA, [2006]).

Assim, como o ferro e o manganês, a solubilização total ou parcial do alumínio deve-se à alteração no ambiente geoquímico e resulta do aumento ou redução do potencial de oxi-redução e redução do pH em função do aporte da carga ácida (GEOLÓGICA, [2006]).

### **2.7.9 Condutividade**

A condutividade corresponde à existência de substâncias dissolvidas que se dissociam em cátions e ânions (MACÊDO, 2002).

Este parâmetro, de acordo com Ortiz; Teixeira (2002), indica indiretamente o aumento do conteúdo de espécies dissolvidas na água a partir de uma maior interação água-sólido proveniente do aumento dos íons H<sup>+</sup> causado pelos processos de oxidação e lixiviação da pirita.

A condutividade, conforme mesmo autor, correlaciona-se com as concentrações de sulfato nas águas em geral. Além disso, a diluição não causa efeitos tão imediatos sobre a mesma e é um dado que pode ser obtido facilmente e com pouca oneração.

### **2.7.10 Sulfato**

O sulfato pode ocorrer em concentrações variadas na água e está largamente distribuído na natureza. Na região da BCC, as altas concentrações de sulfatos, provenientes da DAM, podem acarretar na geração de ácido sulfúrico e diminuição do pH nos cursos hídricos (ALEXANDRE; KREBS, 1995).

Os fertilizantes utilizados em áreas rurais e que possuem em sua formulação o enxofre podem contribuir com o sulfato nos corpos d'água, assim como a lixiviação que ocorre nestas áreas por meio das chuvas. Além disso, há o ciclo do

enxofre originado da matéria orgânica, que também contribui com a presença de sulfato (ALEXANDRE; KREBS, 1995).

Os metais, conforme Ortiz; Teixeira (2002) podem constituir complexos com íons orgânicos, como os nitratos e sulfatos, influenciando, assim, na maneira dos contaminantes se transportarem para o meio hídrico.

### **2.7.11 Alcalinidade**

De acordo com Alexandre (2011), este parâmetro mede a capacidade da água em neutralizar os ácidos, ou seja, mede a quantidade de íons que irão reagir com os íons de hidrogênio, neutralizando-os.

As camadas sedimentares que se associam aos extratos carboníferos, segundo Ortiz; Teixeira (2002), geralmente apresentam carbonatos ou outros minerais, tais como os silicatos, que se dissolvem nas águas impactadas pela DAM e que apresentam uma grande quantidade de cátions alcalinos, tais como cálcio (Ca) e magnésio (Mg).

### 3 METODOLOGIA

A empresa responsável pelas áreas objetos desse estudo, desde 2007 vem realizando, através do Centro Tecnológico de Carvão Limpo (CTCL), o monitoramento da qualidade das águas superficiais junto às duas áreas antigas mineradas a céu aberto (Áreas “A” e “B”), em Lauro Müller e à área de depósito de rejeito de carvão (Área “C”) localizada em Treviso.

A estrutura deste trabalho proposta na metodologia considerou a seguinte divisão: i) seleção das áreas; ii) vistoria em campo nos pontos de amostragem; iii) levantamento de dados analíticos; iv) levantamento de dados pluviométricos; v) tratamento estatístico.

#### 3.1 SELEÇÃO DAS ÁREAS

O estágio de reabilitação ambiental em que se encontram as áreas foi o critério utilizado para auxiliar na seleção, associado à sugestão da empresa. Deste modo, definiu-se a seleção de três áreas, sendo que uma estaria sem as obras de intervenção, denominada neste estudo como Área “A”; a segunda área em fase de reabilitação (Área “B”) e, por fim, uma área com as obras de intervenção implantadas (Área “C”). Além disso, procurou-se levar em consideração áreas que apresentassem pontos amostrais a montante e jusante, a disponibilidade de dados analíticos que caracterizam as áreas antes, durante e após as ações de reabilitação ambiental, com exceção da Área “A” (sem ações de intervenção), de modo a atender ao objetivo geral deste trabalho.

Assim, junto à empresa, selecionaram-se duas áreas localizadas em Lauro Müller, uma com as obras não iniciadas, denominada Área “A”, e a Área “B” com as obras de reabilitação ambiental iniciadas em julho de 2012 e com previsão de término no final de 2013. Já em Treviso, selecionou-se uma área com as obras finalizadas, tendo suas atividades iniciadas em maio de 2008 e concluída em junho de 2011, denominada Área “C”.

### 3.2 VISTORIA EM CAMPO NOS PONTOS DE AMOSTRAGEM

Foram realizadas vistorias nos pontos amostrais junto às três áreas em estudo para auxiliar a compreensão da dinâmica ambiental em campo, bem como para facilitar a interpretação e discussão dos resultados. Em cada ponto foi tirada uma fotografia, que estão ilustradas no capítulo seguinte.

### 3.3 LEVANTAMENTO DE DADOS ANALÍTICOS

A avaliação dos dados analíticos existentes das campanhas amostrais considerou a frequência semestral, no período compreendido entre o primeiro semestre de 2007 ao primeiro semestre de 2013.

Na Área “A” foram utilizados três pontos, sendo dois localizados a montante e outro a jusante. Na Área “B” utilizou-se apenas um ponto de amostragem, localizado a jusante, sendo que não existem pontos a montante. Por fim, na Área “C” foram utilizados oito pontos dos nove estabelecidos pelo CTCL. O ponto descartado localiza-se em um canal de drenagem junto às bacias de decantação e, nos relatórios apresentados pelo CTCL, desde 2007 vem registrando a impossibilidade de coleta devido a não presença de drenagem no momento das coletas.

Estes pontos utilizados pelo CTCL são os mesmos definidos nos PRADs das áreas, sendo que para a Área “C”, o CTCL adicionou mais dois pontos, um a montante e outro a jusante da área em relação ao rio Mãe Luzia, totalizando os oito pontos considerados neste trabalho.

As coordenadas geográficas desses pontos, assim como sua nomenclatura e descrições, estão descritos no quadro 01. O sistema de coordenadas utilizado foi o Universal Transversa de Mercator (UTM) – South American Datum 1969 Fuso 22 Sul. A denominação dos pontos foi feita de modo a identificar a área referente ao ponto e o número do mesmo. Desta maneira, para a Área “A”, os pontos possuem a nomenclatura PMA seguido do número do ponto, adotando-se o mesmo critério para as Áreas “B” e “C”.

Quadro 01 - Denominação, localização e descrição dos pontos de monitoramento das Áreas “A”, “B” e “C”.

Pontos	Coordenadas UTM		Descrição do ponto
	E	N	
PMA-01	654.478	6.851.993	Ponto branco a montante da área “A”, situado no rio Palmeira
PMA-02	655.484	6.851.888	Rio Palmeira a montante da área “A”, com influência de duas áreas degradadas pela mineração de carvão
PMA-03	655.885	6.852.093	Rio Palmeira a jusante da área “A”
PMB-01	654.276	6.853.334	Corpo hídrico a jusante da área “B”
PMC-01	649.434	6.841.833	Ponto branco, córrego Volta Redonda a montante da área “C”
PMC-02	650.515	6.841.821	Curso d'água perene à margem direita do rio Mãe Luzia que recebe contribuição da Área “C” a oeste
PMC-03	650.944	6.841.625	Curso d'água perene à margem direita do rio Mãe Luzia que recebe contribuição da Área “C” a leste
PMC-04	650.853	6.841.238	Lagoa que recebe contribuição de drenagem ácida da Área “C” a leste
PMC-05	650.195	6.840.095	Córrego Volta Redonda que recebe contribuição de drenagens ácidas das minas a céu aberto, depósito de rejeitos grossos e furos de sonda com drenagem ácida intermitente
PMC-06	649.853	6.839.342	Curso d'água perene à margem do rio Mãe Luzia que recebe contribuição de drenagem ácida perene do furo de sonda
PMC-07	651.230	6.841.780	Rio Mãe Luzia a montante da Área “C”, bem próximo aos limites de uma antiga área minerada e que está sendo recuperada
PMC-08	649.870	6.839.190	Rio Mãe Luzia a jusante da Área “C”

Fonte: Adaptado de CTCL, 2013a.

Os indicadores ambientais da qualidade da água considerados neste estudo estão descritos no quadro 02, assim como o valor mínimo detectável, o valor

máximo permitido de acordo com a Resolução CONAMA n. 357/05 e o método de análise. Os parâmetros analíticos que compõem os relatórios de monitoramento ambiental do CTCL foram selecionados em função do impacto causado pela mineração de carvão na região, caracterizando deste modo o nível de degradação em que se encontram os corpos d'água.

Os dados das campanhas de monitoramento foram comparados a Resolução CONAMA n. 357/05, que dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências.

Quadro 02 - Relação dos parâmetros utilizados para o monitoramento, limite de detecção, valor máximo permitido e método de análise.

<b>Parâmetros</b>	<b>Mínimo detectável</b>	<b>Valor máximo permitido (1) (2)</b>	<b>Método de análise</b>
pH (23,1°C)	0,0	6,0 a 9,0	Potenciométrico
Vazão (m³/s)	0,0	-	Molinete
Manganês total (mg/L)	0,0	0,1	Espectrometria de absorção atômica
Ferro total (mg/L)	0,0	0,3 (2)	Espectrometria de absorção atômica
Oxigênio dissolvido (mg/L)	0,0	Não inferior a 5	Eletrodo de membrana
Acidez total (mgCaCO <sub>3</sub> /L)	1,0	-	Titulação potenciométrica
Alumínio total (mg/L)	0,0	0,1 (3)	Espectrometria de absorção atômica
Condutividade (uS/cm) (25°C)	0	-	Condutivimétrico
Sulfatos (mg/L)	1,0	250	Espectrofotométrico
Alcalinidade (mgCaCO <sub>3</sub> /L)	1,0	-	Titulação potenciométrica

Fonte: Adaptado de CTCL, 2013a.

(1) Valor máximo permitido segundo a Legislação Ambiental - Resolução CONAMA n. 357/2005.

(2) Valores para rios de Classe 2.

(3) Valor correspondente ao ferro e alumínio dissolvido segundo a Resolução CONAMA n. 357/2005.

Importante destacar que os parâmetros ferro e alumínio total são os considerados nas análises feitas pelo CTCL. Entretanto, a Resolução CONAMA n. 357/05 trás como parâmetro de qualidade para ferro e alumínio o dissolvido. Quando se considera o total desses metais, está se analisando a forma deste metal em suspensão e na forma solúvel. Desse modo, optou-se em representar estes dois elementos em gráficos, não comparando ao limite da Resolução n. 357/2005. Para o oxigênio dissolvido foi considerado o limite estabelecido para rios de Classe 2.

### 3.4 LEVANTAMENTO DE DADOS PLUVIOMÉTRICOS

Os dados pluviométricos utilizados correspondem àqueles apresentados nos Relatórios de Monitoramento Ambiental do CTCL, os quais foram obtidos junto a pluviômetros instalados nas áreas, sendo que nas áreas “A” e “B”, os dados são do período de 2007 até o primeiro semestre de 2011 e, a partir do segundo semestre de 2011 utilizou-se como alternativa o pluviômetro de uma mina próxima ao local. O mesmo ocorreu com o pluviômetro da Área “C”, que operou entre 2007 e o primeiro semestre de 2012 e, após esse período, considerou-se os dados obtidos em um pluviômetro também instalado em uma mina próxima.

Também foram utilizados neste estudo os dados de pluviometria obtidos de estações pluviométricas pertencentes à rede hidrológica da Agência Nacional de Águas (ANA), conforme pode ser visualizado na tabela 02.

Tabela 2 - Estações pluviométricas utilizadas no estudo, seus códigos, municípios e períodos de registro.

<b>Estação</b>	<b>Código</b>	<b>Município</b>	<b>Período</b>
Urussanga	02849011	Urussanga	2007 – 2012
Orleans	02849001	Orleans	2007 – 2012
Serrinha	02849029	Siderópolis	2007 – 2012

Fonte: Da Autora, 2013.

Os dados pluviométricos das Estações de Urussanga e Orleans foram utilizados para complementar o pluviômetro instalado nas Áreas “A” e “B”, enquanto que as Estações de Serrinha e Urussanga para a Área “C”.

Com isso, elaborou-se uma planilha com os dados brutos mensais de

pluviometria destas estações para o período compreendido entre 2007 e 2012. Para o ano de 2013, foi obtido junto ao CTCL apenas o registro para o mês que foi realizada a análise: julho.

Essas informações foram utilizadas para apoiar a interpretação dos dados analíticos dos pontos de monitoramento.

### 3.5 TRATAMENTO DOS DADOS ANALÍTICOS

Os dados analíticos obtidos foram trabalhados no software Excel de modo a auxiliar a tabulação dos dados e representação gráfica, visando a interpretação dos resultados e avaliação temporal da qualidade das águas superficiais no período que foi realizado o monitoramento.

Na Área “A” analisou-se o comportamento da qualidade da água em três pontos amostrais, considerando que a área não teve intervenção de reabilitação; na Área “B” percebeu-se a evolução da qualidade da água (um ponto amostral) antes e durante as ações de reabilitação, ainda não finalizadas; e para a Área “C” foi possível analisar a situação da qualidade da água em oito pontos amostrais, antes e após as ações de reabilitação ambiental, em fase de monitoramento ambiental.

Os gráficos elaborados para os pontos das Áreas “A” e “C” foram feitos da seguinte forma: a linha dos resultados foi representada na cor preta com marcador; a linha na cor vermelha corresponde ao valor máximo permitido pela Resolução CONAMA n. 357/05; a linha na cor verde representa o valor mínimo permitido pela mesma resolução; e a linha de tendência linear dos resultados, na cor azul, sem marcador. Destacando que os valores máximos e mínimos só foram representados nos gráficos, quando da existência destes.

A análise integrada da Área “A” considerou a representação dos resultados em colunas, ficando assim estabelecidos: ponto PMA-01 na coluna azul, PMA-02 na coluna vermelha e PMA-03 na coluna verde, além da inclusão do índice pluviométrico representada pela linha de cor roxa.

Os resultados da Área “B” foram demonstrados nos gráficos através de colunas na coloração preta, os valores máximos e mínimos considerados pela resolução seguiram com as linhas nas cores vermelha e verde, assim como a linha de tendência na cor azul e a pluviometria em roxo. Esta mudança ocorreu em função

de que para esta área não foi feita análise integrada, por apresentar apenas um ponto de monitoramento.

A análise integrada para a Área “C” foi feita em duas situações. Na primeira, analisou-se o comportamento de um curso d’água em três pontos, desde o ponto branco (PMC-01), passando pelo PMC-05, onde o mesmo já recebe contribuição da Área “C” e finalizando no PMC-08, junto ao rio Mãe Luzia, o qual recebeu toda contribuição dos corpos hídricos da Área “C”. No segundo caso, comparou-se a qualidade da água do rio Mãe Luzia a montante e a jusante da área impactada. Nesta situação seguiu-se com o mesmo modelo de gráfico da análise integrada da Área “A”, com os resultados apresentados através de colunas (coluna azul para o PMC-01, coluna vermelha (PMC-05), coluna verde (PMC-08) na primeira situação; e coluna azul (PMC-07) e vermelha (PMC-08) no segundo caso), e a pluviometria representada pela linha roxa.

Ademais, considerou-se também para a interpretação dos resultados a situação dos corpos hídricos a montante das áreas selecionadas, quando possível, e os dados pluviométricos da região e se estes influenciaram ou não nos pontos analisados.

## 4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS DADOS

A apresentação e análise dos dados foram separadas nesse capítulo em três tópicos, sendo uma para cada área.

A análise e discussão dos resultados foram feitas para todos os parâmetros, sendo que para a representação gráfica selecionou-se os seguintes parâmetros: pH, acidez total, sulfatos, alumínio total, ferro total e manganês total; uma vez que estes parâmetros são mais representativos em relação à ação da drenagem ácida gerada nessas áreas sobre os cursos d'água.

Nas tabelas apresentadas, quando o resultado de algum parâmetro possui valor igual a zero, significa que o equipamento utilizado não pôde detectar a casa decimal em que se apresentou a amostra (por exemplo, uma amostra apresenta um resultado de 0,01, mas o equipamento detecta apenas 0,0). Quando o resultado da campanha apresenta "n.d" (não detectado) significa que a amostra não há a presença do parâmetro analisado. Os resultados que apresentaram um traço (-) significa que não há a existência desses dados.

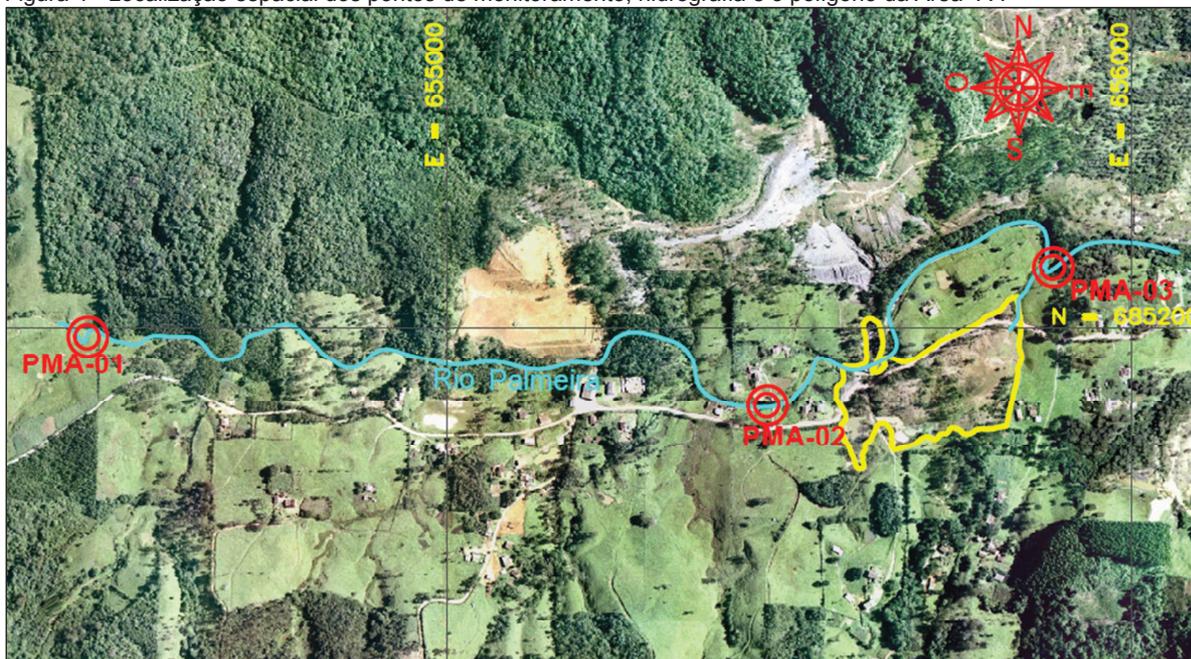
Os dados pluviométricos das estações constam apresentados no Apêndice A.

### 4.1 ÁREA "A"

A Área "A", localizada em Lauro Müller, não iniciou ainda suas atividades de reabilitação ambiental. De acordo com o PRAD elaborado (GEOVITA, [2007]) há evidências da existência de galerias de mina, caimentos em superfície (subsistência), além de um fluxo de água de intensidade baixa com características de drenagem de mina.

Há três pontos de monitoramento nessa área que são feitos em um mesmo curso d'água, o Rio Palmeira, sendo os dois primeiros localizados a montante da área e o último a jusante. A figura 04 apresenta a localização espacial dos pontos de monitoramento, hidrografia e o polígono da área. A figura 05 apresenta os locais de amostragem dos pontos de coleta (PMA-01, PMA-02 e PMA-03).

Figura 4 - Localização espacial dos pontos de monitoramento, hidrografia e o polígono da Área "A".



Fonte: Adaptado de GEOVITA, 2006.

Figura 5 - A - Localização PMA-01; B - Localização PMA-02; C - Localização PMA-03.



Fonte: Da autora, 2013.

#### **4.1.1 PMA-01**

Este ponto de amostragem é considerado o ponto branco, pois o curso d'água neste local não sofreu intervenção das áreas degradadas pela mineração e, portanto, foi utilizado de modo a analisar o comportamento do rio antes de ser afetado pelas áreas impactadas pela mineração de carvão. A tabela 03 apresenta os resultados analíticos das campanhas amostrais (2º semestre de 2007 ao 1º semestre de 2013), totalizando 12 campanhas.

Tabela 3 - Resultados das análises do ponto PMA-01. Jul 2007 / Jul 2013.

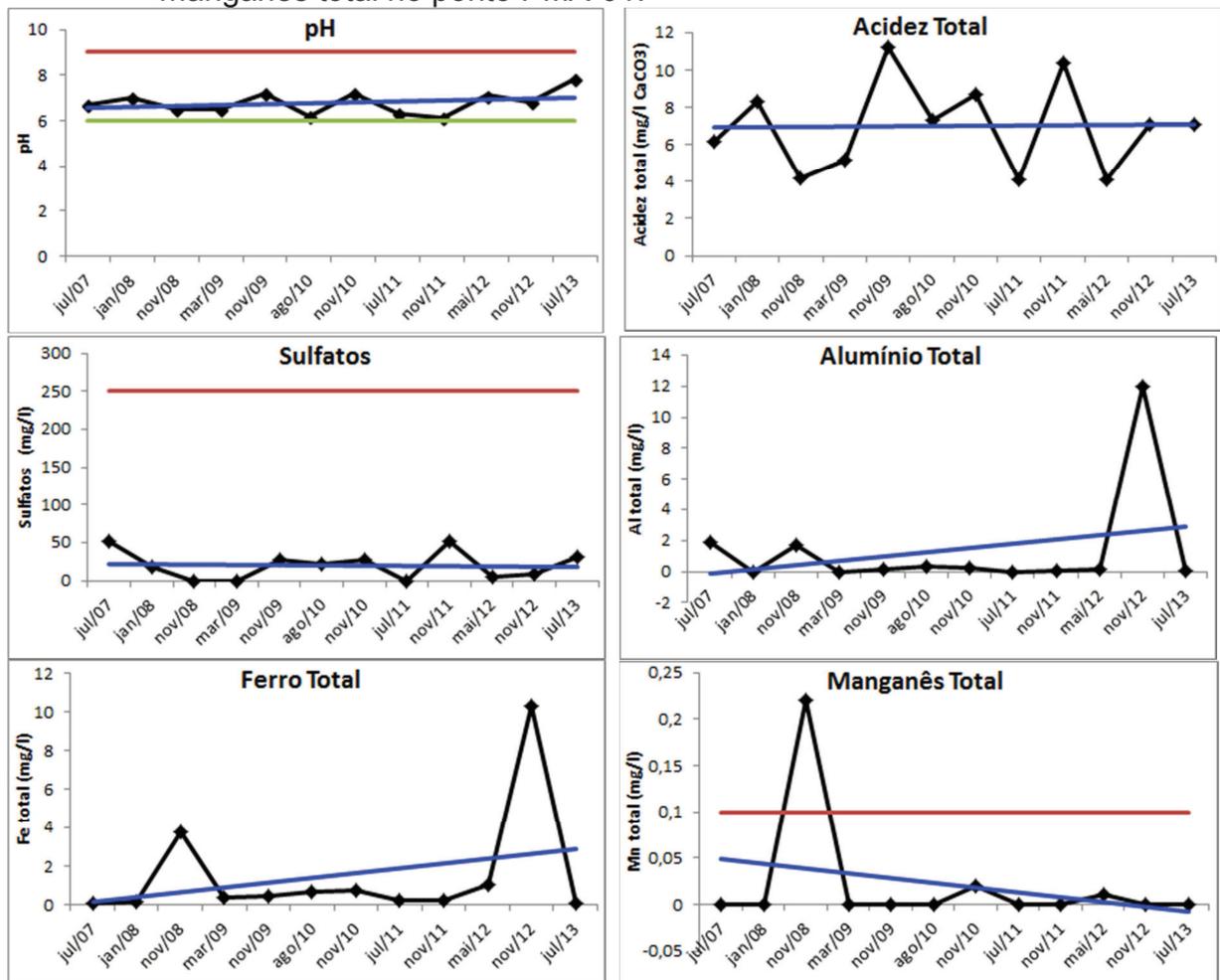
Período da Coleta	pH	Alcalinidade total (mgCaCO <sub>3</sub> /L)	Acidez total (mgCaCO <sub>3</sub> /L)	Condutividade (µS/cm)	Oxigênio dissolvido (mg/L)	Sulfatos (mg/L)	Alumínio total (mg/L)	Ferro total (mg/L)	Manganês total (mg/L)	Vazão (m <sup>3</sup> /s)	Pluviometria total do mês correspondente (mm/mês)
Jul/07	6,7	150,0	6,2	176,4	7,9	51,3	1,86	0,05	n.d	0,018	170,2
Jan/08	7,0	19,3	8,3	121,0	7,9	18,9	n.d	0,16	n.d	0,028	173,7
Nov/08	6,5	0	4,2	108,0	6,9	n.d	1,74	3,72	0,22	0,158	256,1
Mar/09	6,5	15,0	5,2	109,0	7,5	n.d	n.d	0,38	n.d	0,056	180,1
Nov/09	7,2	20,8	11,2	104,0	9,4	27,8	0,15	0,46	n.d	0,038	193,0
Ago/10	6,2	25,9	7,3	131,0	9,2	22,2	0,32	0,68	n.d	0,067	69,6
Nov/10	7,2	23,5	8,7	129,0	6,9	27,1	0,24	0,69	0,02	0,018	253,4
Jul/11	6,3	14,0	4,1	115,0	7,6	n.d	n.d	0,20	n.d	0,078	185,0
Nov/11	6,1	17,0	10,4	232,0	7,0	52,6	0,08	0,23	n.d	0,011	26,25
Mai/12	7,1	21,6	4,1	144,0	8,0	5,6	0,17	0,99	0,01	0,005	47,5
Nov/12	6,8	20,0	7,1	144,0	5,6	9,6	12,03	10,3	n.d	0,007	46,6
Jul/13	7,8	21,9	7,1	140,0	9,6	30,7	0,06	0,03	0	0,014	96,2
<b>Padrão (1)</b>	6,0 a 9,0	-	-	-	5,0	250	-	-	0,1	-	-

Fonte: Adaptado de CTCL, 2013b.

(1) Resolução CONAMA n. 357/2005.

A figura 06 apresenta o comportamento do pH, acidez total, sulfatos, alumínio (Al) total, ferro (Fe) total e manganês (Mn) total, com suas linhas de tendência, para as 12 campanhas de amostragem.

Figura 6 - Tendência do pH, acidez total, sulfatos, alumínio total, ferro total e manganês total no ponto PMA-01.



Fonte: Da Autora, 2013.

Os resultados apresentados na tabela 03 e figura 06 indicam que o pH mostrou-se dentro da faixa ideal considerada pela resolução, possuindo seus valores variando entre 6,1 e 7,8, com leve tendência de aumento. A acidez total apresentou variação baixa, com valores entre 4,1 e 11,2 mgCaCO<sub>3</sub>/L, tendendo a aumentar. O sulfato não foi detectado em três campanhas e alcançou 52,6 mg/L na nona campanha (Nov/2011), permanecendo abaixo do valor máximo estabelecido pela resolução. O alumínio total não foi detectado em três campanhas e obteve maior concentração (12,03 mg/L) em novembro de 2012. O ferro total obteve resultados entre 0,03 e 10,3 mg/L, com uma tendência de aumento. O manganês

total não foi detectado em oito campanhas e variou entre 0 e 0,22 mg/L. A alcalinidade total variou entre 0 e 150 mgCaCO<sub>3</sub>/L. A condutividade variou entre 104 e 232 µS/cm. O oxigênio dissolvido variou entre 5,6 e 9,6 mg/L, permanecendo acima do mínimo desejável estabelecido pela resolução.

Com esse ponto foi possível conhecer o comportamento da qualidade da água do Rio Palmeira antes de receber contribuição das áreas impactadas pela mineração de carvão. Ressalta-se que o alumínio total e o ferro total, na campanha de novembro de 2012 apresentaram resultado acima do normal, o que pode estar relacionado com a precipitação neste período, o qual ficou bem abaixo quando comparado com os outros dados de chuva. Não se pode afirmar esta relação uma vez que as campanhas antes e após novembro de 2012 também apresentaram baixa precipitação.

#### **4.1.2 PMA-02**

Este ponto se encontra sob a ponte de um sítio local, a montante da Área “A”. O rio Palmeira onde se realiza a coleta recebe contribuição de duas áreas impactadas pela mineração, sendo que uma delas ainda não recebeu intervenções para a reabilitação ambiental. Estas duas áreas foram mineradas em subsolo e serviram de depósito de rejeito. A tabela 04 apresentou os resultados das coletas realizadas entre o segundo semestre de 2007 e o primeiro semestre de 2013, totalizando 12 campanhas.

Tabela 4 - Resultados das análises do ponto PMA-02. Jul 2007 / Jul 2013.

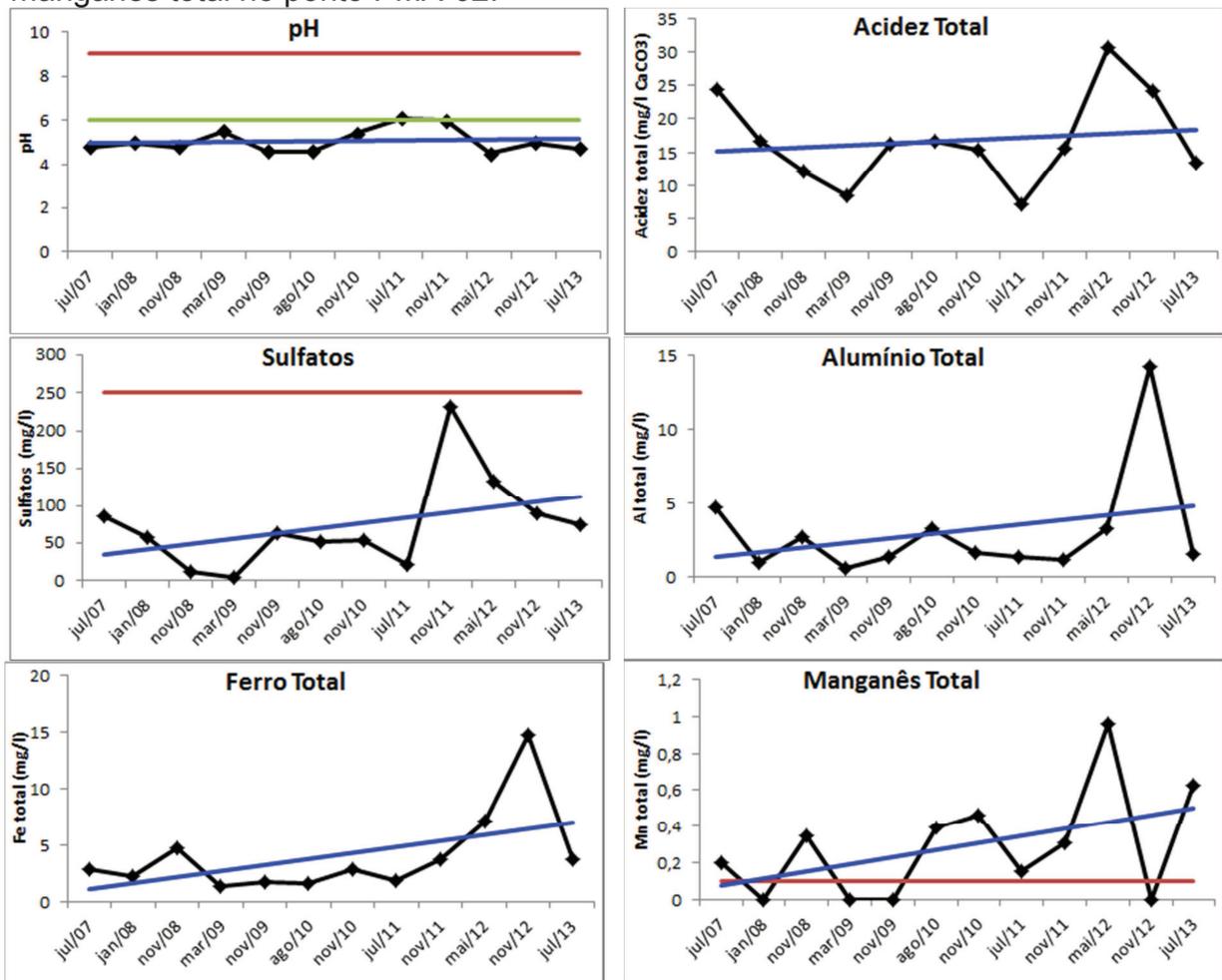
Período da Coleta	pH	Alcalinidade total (mgCaCO <sub>3</sub> /L)	Acidez total (mgCaCO <sub>3</sub> /L)	Condutividade (µS/cm)	Oxigênio dissolvido (mg/L)	Sulfatos (mg/L)	Alumínio total (mg/L)	Ferro total (mg/L)	Manganês total (mg/L)	Vazão (m <sup>3</sup> /s)	Pluviometria total do mês correspondente (mm/mês)
Jul/07	4,8	n.d	24,4	215,2	8,1	86,0	4,68	2,85	0,20	0,030	170,20
Jan/08	5,0	0,6	16,6	167,0	7,6	57,2	0,93	2,29	n.d	0,102	173,70
Nov/08	4,8	-	12,1	117,0	6,9	11,7	2,67	4,82	0,35	0,386	256,10
Mar/09	5,5	<1	8,4	148,0	7,1	3,8	0,56	1,40	n.d	0,217	180,10
Nov/09	4,6	n.d	16,3	164,0	7,4	64,0	1,34	1,76	n.d	0,115	193,00
Ago/10	4,6	n.d	16,6	181,0	8,5	52,3	3,27	1,59	0,39	0,032	69,60
Nov/10	5,4	n.d	15,3	173,0	6,8	52,9	1,67	2,90	0,46	0,032	253,40
Jul/11	6,1	1,3	7,2	135,0	8,2	21,2	1,36	1,91	0,15	0,075	185,00
Nov/11	6,0	1,3	15,6	497,0	6,9	232,1	1,13	3,77	0,31	0,028	26,25
Mai/12	4,5	n.d	30,6	263,0	8,4	133,9	3,27	7,17	0,96	0,027	47,50
Nov/12	5,0	n.d	24,1	203,0	6,0	90,2	14,2	14,80	n.d	0,023	46,60
Jul/13	4,7	n.d	13,4	197,0	8,5	73,7	1,52	3,77	0,63	0,028	96,20
<b>Padrão (1)</b>	6,0 a 9,0	-	-	-	5,0	250	-	-	0,1	-	-

Fonte: Adaptado de CTCL, 2013b.

(1) Resolução CONAMA n. 357/2005.

A figura 07 apresenta os gráficos de pH, acidez total, sulfatos, alumínio total, ferro total e manganês total, com suas linhas de tendência, para as 12 campanhas realizadas.

Figura 7 - Tendência do pH, acidez total, sulfatos, alumínio total, ferro total e manganês total no ponto PMA-02.



Fonte: Da Autora, 2013.

Neste ponto já foi possível perceber a interferência das áreas degradadas pela mineração de carvão no rio Palmeira. O pH apresentou-se na faixa entre 4,5 e 6,1, com apenas dois resultados acima do mínimo considerado ideal pela resolução. A acidez total variou entre 7,2 e 30,6 mgCaCO<sub>3</sub>/L, com tendência a elevação, apesar do resultado da última campanha (13,4 mgCaCO<sub>3</sub>/L) ser menor que o da primeira (24,4 mgCaCO<sub>3</sub>/L). O sulfato obteve maior variação (entre 3,8 e 232,1 mg/L), com tendência de aumento. Porém, seus valores ainda se encontram abaixo do valor máximo considerado pela resolução. O alumínio total apresentou seus resultados entre 0,56 e 14,2 mg/L, sendo que a maioria se manteve entre 0,56 e 4,68 mg/L. Os

resultados possuem uma tendência a aumentar, embora a última campanha (1,52 mg/L) tenha apresentado menor concentração em relação à primeira (4,68 mg/L). O ferro total também tende a aumentar, com os resultados variando entre 1,4 e 14,8 mg/L. O manganês total não foi detectado em quatro campanhas e seus resultados alcançaram apenas 0,96 mg/L, não variando significativamente, mas com tendência a aumentar, com a maioria dos resultados acima do valor máximo considerado pela resolução. A alcalinidade não foi detectada em sete campanhas e atingiu apenas 1,3 mg/L. A condutividade variou entre 117 e 497  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , tendendo a aumentar, mesmo com a primeira campanha (215,2  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) sendo maior que a última (197,0  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ). O oxigênio dissolvido variou entre 6,0 e 8,5 mg/L, com leve tendência de aumento, ficando acima do mínimo desejável considerado pela resolução.

A partir da análise do comportamento da qualidade da água neste ponto, foi possível notar a influência que as áreas degradadas pela mineração de carvão possuem sobre o Rio Palmeira. Todos os parâmetros apresentaram uma piora na qualidade da água e possuem tendência a piorar. Foi possível perceber também o aumento do alumínio total e ferro total na campanha de novembro de 2012, o que pode estar relacionado com a característica da água a montante, a qual já apresentou esta diferença. Neste ponto, o oxigênio dissolvido apresentou concentrações elevadas quando comparados ao pH e a alguns contaminantes, como por exemplo acidez e ferro total. É de conhecimento que a presença de metais tende a oxidar o ambiente, consumindo o oxigênio presente na água. Assim, este comportamento pode ter ocorrido em função do rio não apresentar uma grande profundidade e possuir leito rochoso, acarretando em uma boa reoxigenação, ou seja, possível que tenha ocorrido alguma anomalia durante os procedimentos de amostragem ou execução da análise em laboratório.

#### **4.1.3 PMA-03**

Este ponto de monitoramento de água se encontra a jusante da área "A", no mesmo corpo hídrico (rio Palmeira) em que se realiza a coleta dos pontos PMA-01 e PMA-02 e, portanto, representa a contribuição destes pontos, junto com a contribuição da área "A". A tabela 05 apresenta os resultados das coletas realizadas entre o segundo semestre de 2007 e o primeiro semestre de 2013, totalizando 12 campanhas.

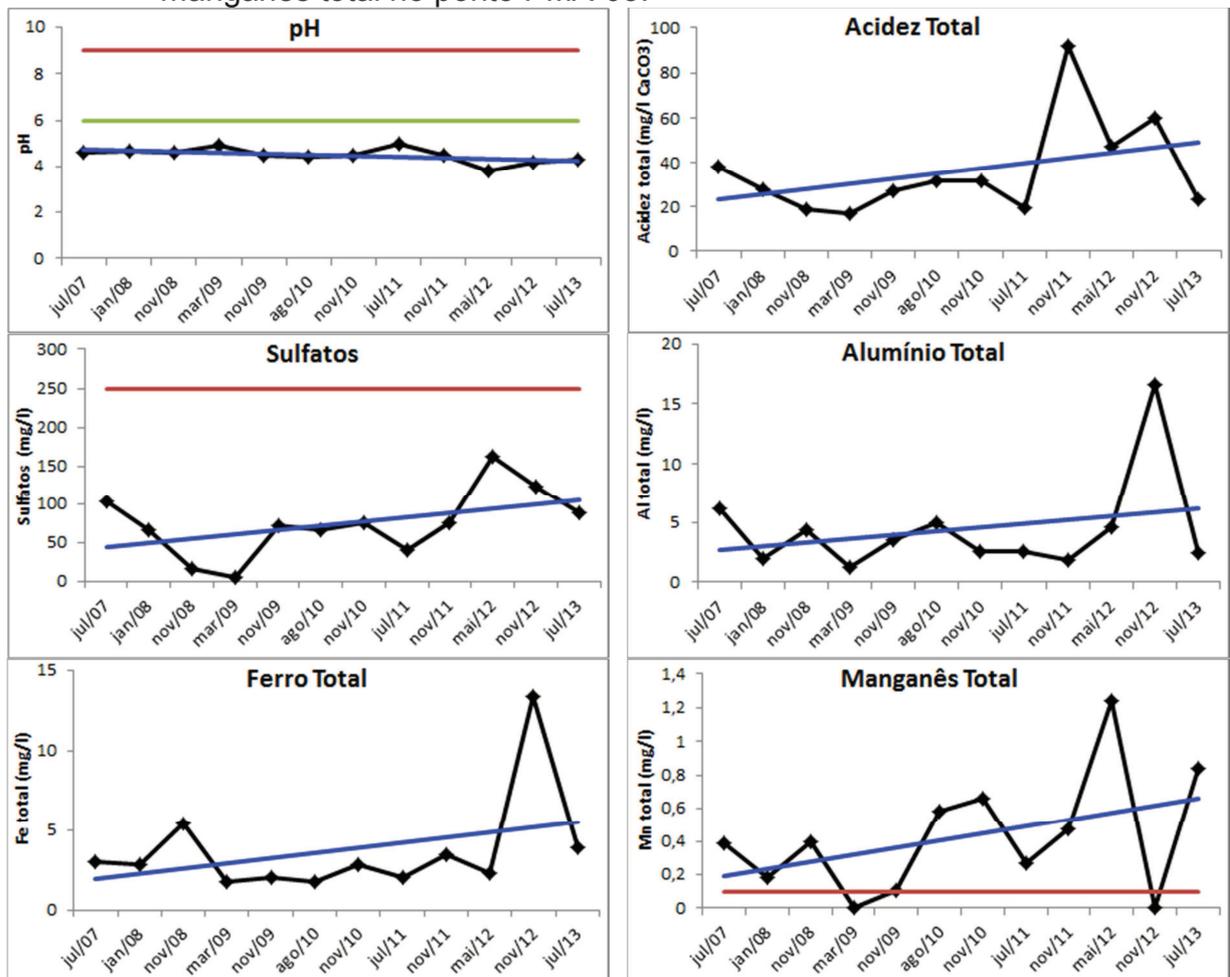
Tabela 5 - Resultados das análises do ponto PMA-03. Jul 2007 / Jul 2013.

Período da Coleta	pH	Alcalinidade total (mgCaCO <sub>3</sub> /L)	Acidez total (mgCaCO <sub>3</sub> /L)	Condutividade (µS/cm)	Oxigênio dissolvido (mg/L)	Sulfatos (mg/L)	Alumínio total (mg/L)	Ferro total (mg/L)	Manganês total (mg/L)	Vazão (m <sup>3</sup> /s)	Pluviometria total do mês correspondente (mm/mês)
Jul/07	4,6	n.d	38,0	235,6	8,2	103,4	6,11	2,96	0,39	0,041	170,2
Jan/08	4,7	n.d	28,1	191,0	7,4	66,7	2,00	2,84	0,18	0,081	173,7
Nov/08	4,6	-	18,9	130,0	7,4	17,0	4,40	5,41	0,40	0,460	256,1
Mar/09	4,9	n.d	16,8	157,0	7,5	6,4	1,23	1,72	n.d	0,241	180,1
Nov/09	4,5	n.d	27,5	190,0	7,9	72,3	3,46	2,01	0,11	0,086	193,0
Ago/10	4,4	n.d	31,6	218,0	8,5	66,7	4,96	1,71	0,58	0,060	69,6
Nov/10	4,5	n.d	31,6	218,0	6,7	76,7	2,54	2,84	0,66	0,029	253,4
Jul/11	5,0	0,7	19,6	161,0	8,1	40,2	2,52	2,05	0,27	0,059	185,0
Nov/11	4,5	n.d	91,8	220,0	7,2	75,0	1,89	3,44	0,47	0,028	26,25
Mai/12	3,8	n.d	46,9	321,0	8,4	161,8	4,60	2,29	1,24	0,019	47,5
Nov/12	4,2	n.d	59,6	260,0	5,5	123,4	16,61	13,36	n.d	0,026	46,6
Jul/13	4,3	n.d	23,1	221,0	8,9	89,4	2,49	3,91	0,84	0,044	96,2
<b>Padrão (1)</b>	6,0 a 9,0	-	-	-	5,0	250	-	-	0,1	-	-

Fonte: Adaptado de CTCL, 2013b.  
 (1) Resolução CONAMA n. 357/2005.

A figura 08 apresenta os gráficos de pH, acidez total, sulfatos, alumínio total, ferro total e manganês total, com suas linhas de tendência, para as 12 campanhas realizadas.

Figura 8 - Tendência do pH, acidez total, sulfatos, alumínio total, ferro total e manganês total no ponto PMA-03.



Fonte: Da Autora, 2013.

Neste ponto, o pH obteve seus valores compreendidos entre 3,8 e 5,0, com leve tendência a diminuir, ficando abaixo do mínimo desejável considerado pela resolução. A acidez total teve valor mínimo de 16,8 mgCaCO<sub>3</sub>/L e valor máximo de 91,8 mgCaCO<sub>3</sub>/L e apesar da última campanha (23,1 mgCaCO<sub>3</sub>/L) ter apresentado valor menor que a primeira (38,0 mgCaCO<sub>3</sub>/L), sua tendência é de aumentar. O sulfato tende a aumentar, com seus valores variando entre 6,4 e 161,8 mg/L, abaixo do máximo considerado pela resolução, embora a primeira campanha (103,4 mg/L) tenha apresentado valor maior que a última (89,4 mg/L). O alumínio total variou entre 1,23 e 16,61 mg/L, sendo que a última campanha (2,49 mg/L) apresentou valor

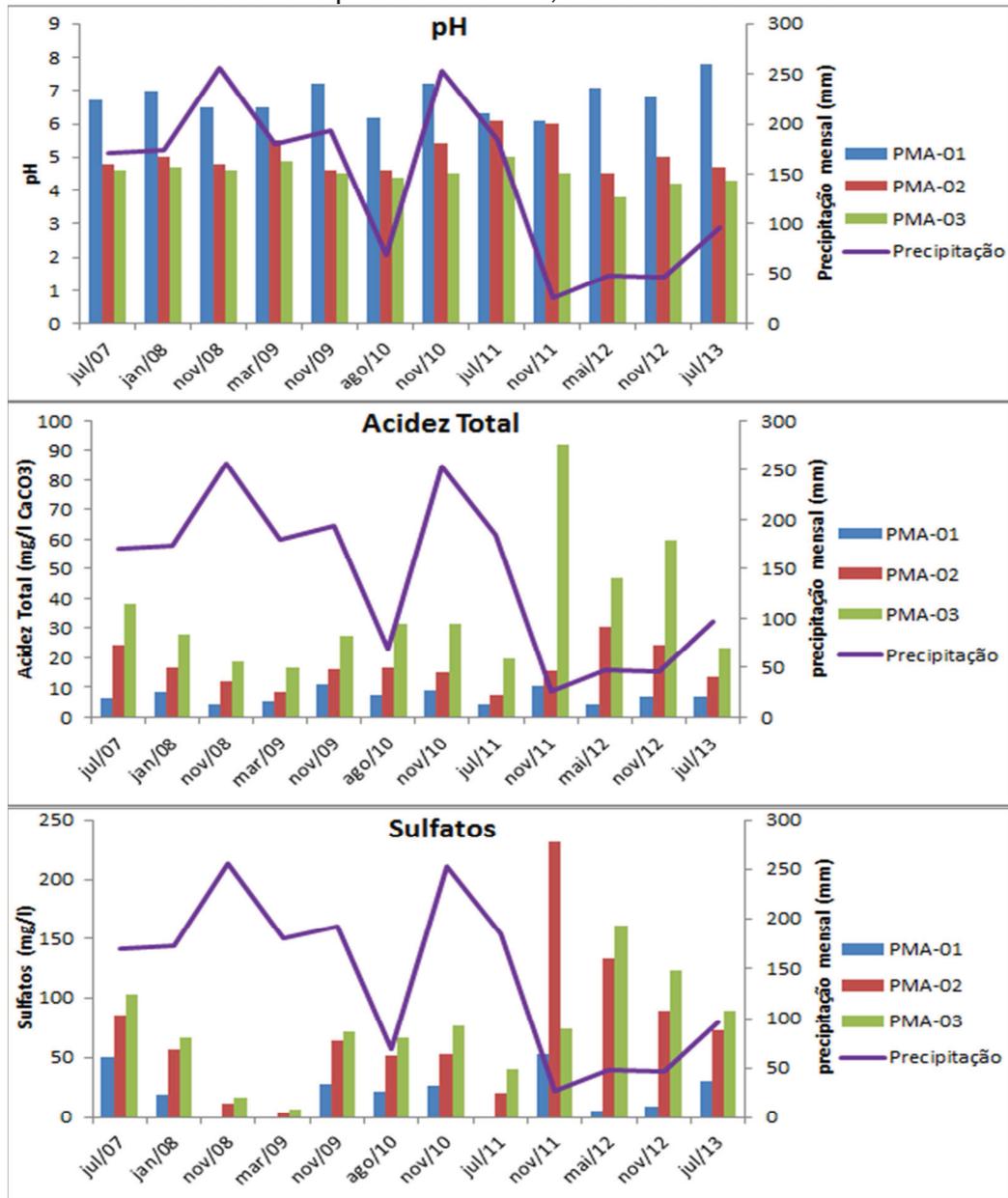
menor que a primeira (6,11 mg/L), embora tenha uma tendência de aumento. O ferro total apresentou uma tendência de aumento, com seus resultados variando entre 1,71 e 13,36 mg/L. O manganês total não foi detectado em duas campanhas e variou pouco, alcançando apenas 1,24 mg/L, apesar de permanecer acima dos valor máximo na maioria das campanhas, com uma tendência de aumento. A alcalinidade total só foi detectada na campanha de julho de 2011, apresentando um resultado de 0,7 mgCaCO<sub>3</sub>/L. A condutividade variou entre 130 e 321 µS/cm e tende a aumentar, embora a última campanha (221 µS/cm) tenha apresentado um decréscimo em relação à primeira (235,6 µS/cm). O oxigênio dissolvido variou entre 5,5 e 8,9 mg/L e possui uma linha de tendência praticamente estável, com a última campanha (8,9 mg/L) apresentando um aumento em relação à primeira (8,2 mg/L) e todos os resultados acima do mínimo considerado desejável pela resolução.

Com essa análise foi possível verificar que todos os parâmetros se encontraram fora dos padrões de qualidade da água estabelecidos pela resolução CONAMA n. 357/05 e tendendo a piorar, excetuando-se o sulfato e o oxigênio dissolvido que ainda se apresentaram dentro do estabelecido pela resolução, mas que tendem a piorar. Neste ponto, manteve-se novamente para a campanha de novembro de 2012 alta concentração de alumínio e ferro total. Ademais, na campanha de maio de 2012, a acidez total, o sulfato e o manganês total apresentaram seus resultados mais elevados, o que pode estar relacionado com um aumento na contribuição da área "A" sobre o rio, além da baixa precipitação apresentada (47,5 mm). De forma semelhante ao PMA-02, as concentrações de oxigênio dissolvido apresentaram-se discrepantes em relação ao pH e a contaminantes na amostra (ferro total, manganês total e sulfatos), uma vez que como os metais tendem a oxidar, acabam por consumir oxigênio na água.

#### **4.1.4 Análise Integrada**

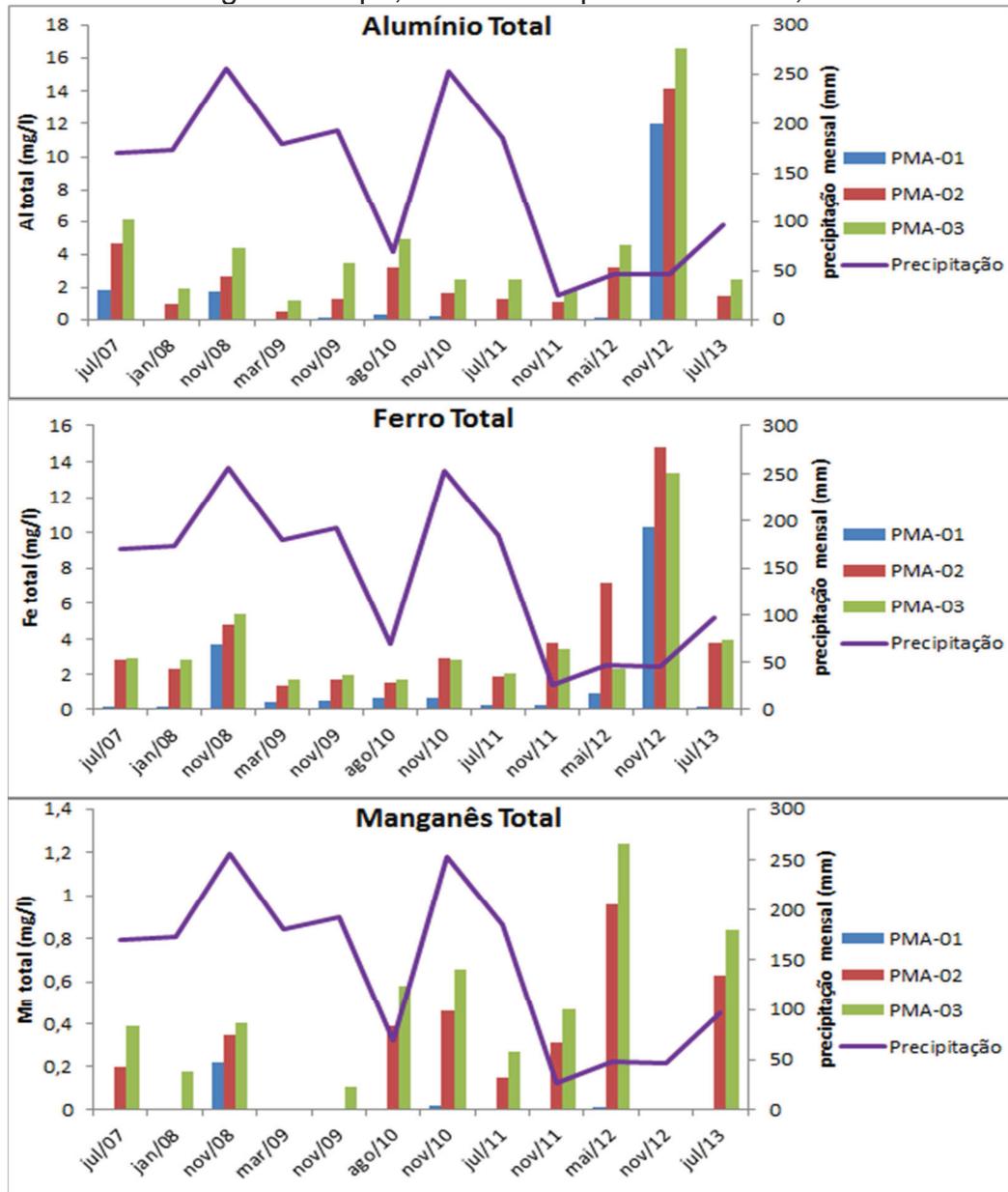
Esta análise integrada foi feita objetivando a visualização, por meio de gráficos, do comportamento da qualidade da água através dos pontos PMA-01 (coluna azul), PMA-02 (coluna vermelha) e PMA-03 (coluna verde), ao longo do monitoramento realizado. A figura 09 apresenta os gráficos do pH, acidez total e sulfatos, e a figura 10 apresenta o comportamento de alumínio total, ferro total e manganês total.

Figura 9 - Comportamento do pH, acidez total e sulfatos, ao longo do tempo, através dos pontos PMA-01, PMA-02 e PMA-03.



Fonte: Da autora, 2013.

Figura 10 - Comportamento do alumínio total, ferro total e manganês total, ao longo do tempo, através dos pontos PMA-01, PMA-02 e PMA-03.



Fonte: Da autora, 2013.

A partir da visualização das figuras 09 e 10 foi possível perceber a piora da qualidade da água à medida que atravessa as áreas impactadas pela mineração, em todos os parâmetros e em todas as campanhas, o que evidencia o impacto que uma área degradada sem ações de reabilitação causa em um curso d'água. Apenas o sulfato e o ferro total em poucas campanhas apresentaram maior concentração no ponto PMA-02.

O pH apresentou valores mais uniformes, com pouca variação em cada um dos pontos amostrados. Quando relacionado à precipitação, o pH não

apresentou a mesma variação que a pluviometria. A acidez total no ponto PMC-03 na campanha de novembro de 2011 apresentou um resultado diferenciado em relação aos demais pontos e campanhas, o que pode estar relacionado com a influência da Área “A” sobre o curso hídrico. Além disso, este resultado pode estar relacionado também com a precipitação no mês da coleta. Como pode ser visualizado, os maiores valores de acidez total foram alcançados nos períodos com menor precipitação registrada, o que reflete no aumento da concentração dos metais analisados. O mesmo observou-se para o sulfato. O ponto PMC-02 na mesma campanha apresentou um valor mais acima do que o ponto a jusante (PMA-03), além dos maiores resultados possuírem estrita relação com a pluviometria.

O alumínio e o ferro total apresentaram valor maior na campanha de novembro de 2012, nos três pontos analisados, sendo possível perceber que esta diferença foi detectada já no ponto branco. Portanto, esta alteração não está diretamente relacionada apenas com as áreas degradadas pela mineração. Este valor também está relacionado com o comportamento natural do rio. Já para o manganês total houve o aumento da concentração na campanha de maio de 2012 após o curso d’água receber a contribuição das áreas impactadas, uma vez que o mesmo apresentou resultado zero no ponto PMA-01. Estes três parâmetros apresentaram o mesmo comportamento da acidez total e do sulfato quando relacionados com as chuvas. Nos períodos com menor índice pluviométrico, obteve-se aumento na concentração destes elementos no rio Palmeira. Ressaltando-se que as características do corpo hídrico dependem também da influência das áreas degradadas e, por isso, não seguem a mesma variação das chuvas.

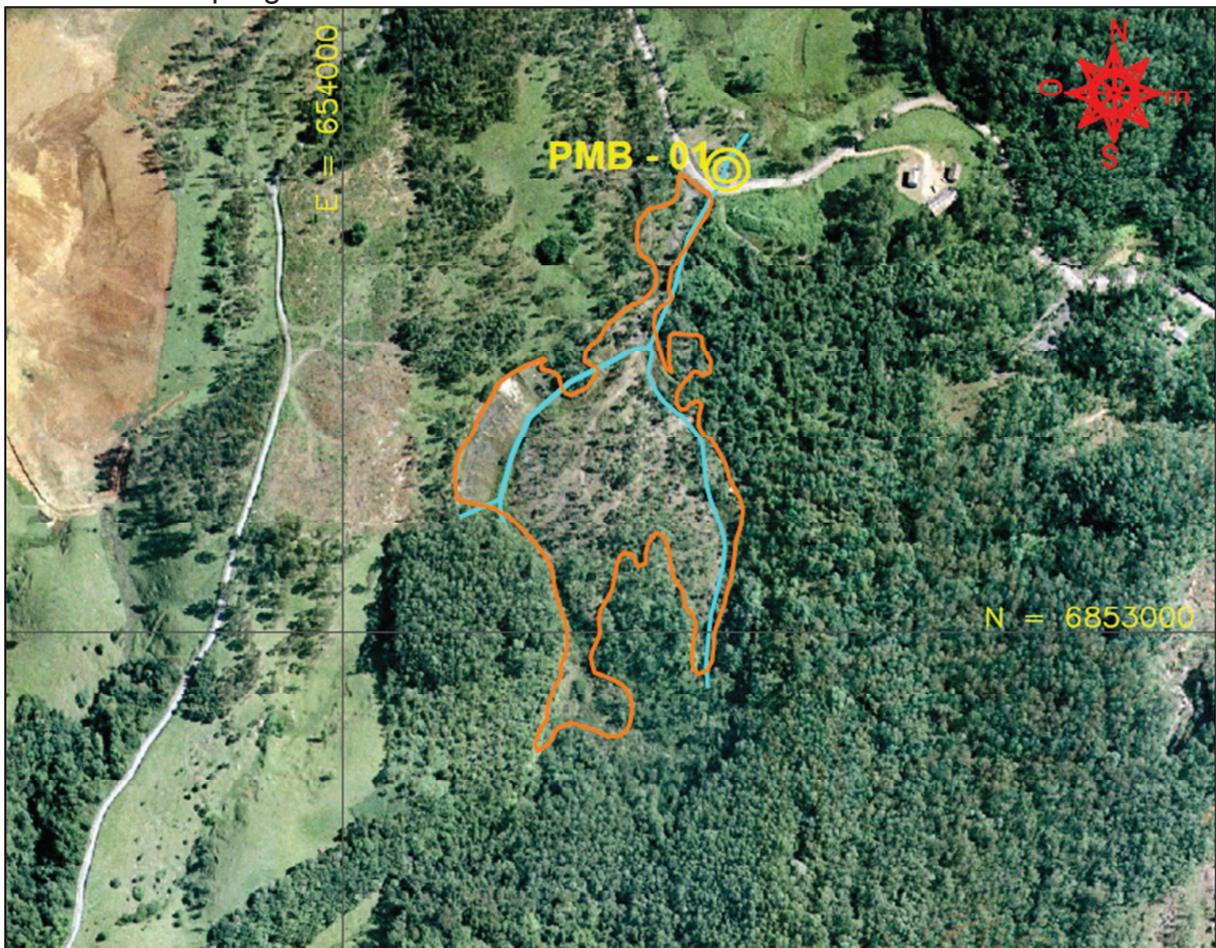
#### 4.2 ÁREA “B”

A Área “B”, situada em Lauro Müller, teve suas obras de reabilitação iniciadas em julho de 2012 e possui previsão de conclusão no final de 2013. As obras que já ocorreram na área foram: remoção da cobertura vegetal existente, recomposição topográfica, cobertura do estéril, construção de canais de drenagem periféricos e reconstrução dos canais internos existentes, fechamento de bocas de mina e caimentos e reconstrução do solo (GEOVITA, 2010). Para finalizar a recuperação na área, é necessário ainda realizar a recomposição da vegetação e o cercamento da área.

Dessa maneira, as campanhas de julho de 2007 a maio de 2012 apresentam a qualidade da água antes das ações de recuperação e as restantes representam a qualidade da água durante as obras de reabilitação.

Esta área possui apenas um ponto amostragem, denominado como ponto PMB-01, que se localiza a jusante da área em um curso d'água de pequeno porte. A figura 11 apresenta a localização espacial do ponto de monitoramento, hidrografia e o polígono da área. A figura 12 apresenta o local onde é realizada a coleta da água.

Figura 11 - Localização espacial do ponto de monitoramento, hidrografia e o polígono da Área "B".



Fonte: Adaptado de GEOVITA, 2006.

Figura 12 - Local de coleta de água do ponto PMB-01 com a Área “B” ao fundo.



Fonte: Da autora, 2013.

#### 4.2.1 PMB-01

A tabela 06 apresenta os resultados das coletas realizadas entre o segundo semestre de 2007 e o primeiro semestre de 2013, totalizando 12 campanhas.

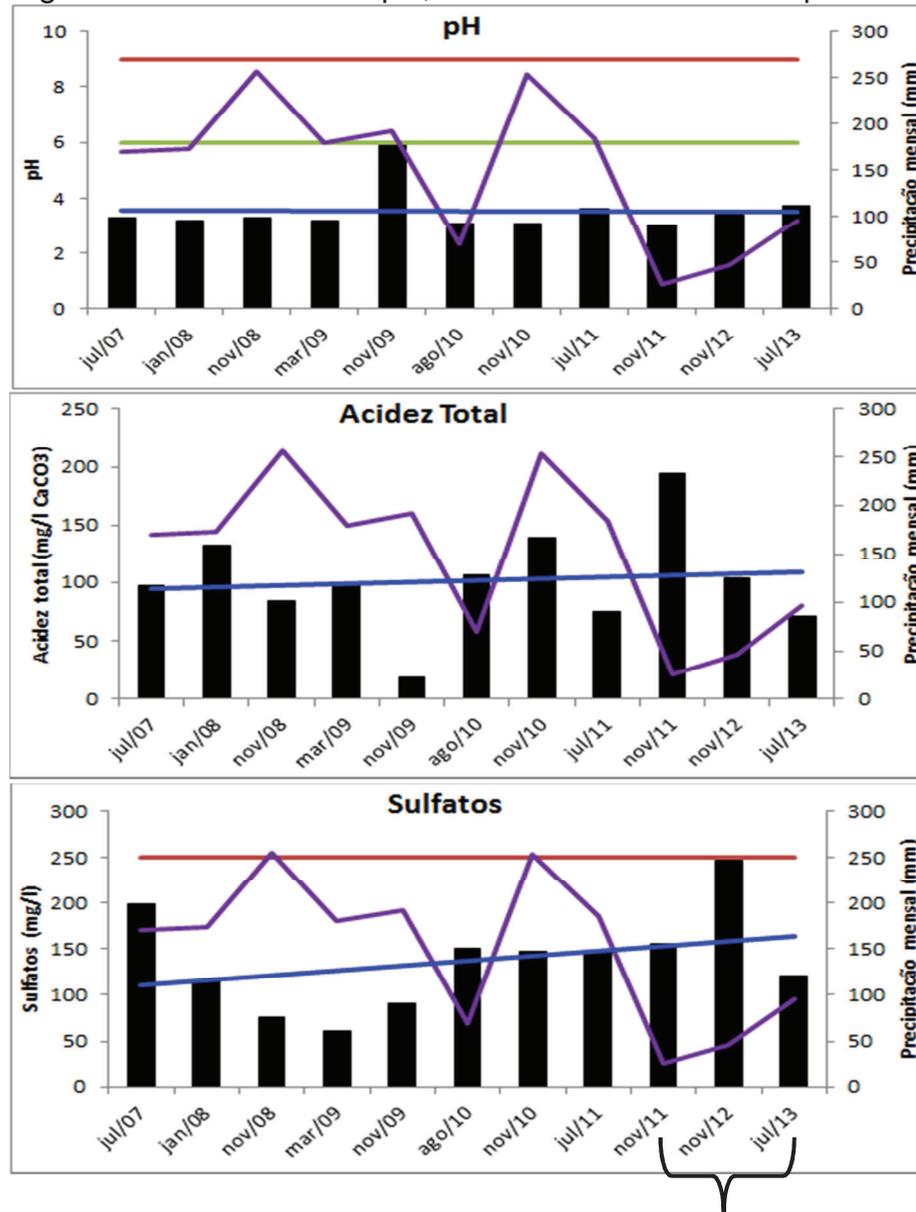
Tabela 6 - Resultados das análises do ponto PMB-01. Jul 2007 / Jul 2013.

Período da Coleta	pH	Alcalinidade total (mgCaCO <sub>3</sub> /L)	Acidez total (mgCaCO <sub>3</sub> /L)	Condutividade (µS/cm)	Oxigênio dissolvido (mg/L)	Sulfatos (mg/L)	Alumínio total (mg/L)	Ferro total (mg/L)	Manganês total (mg/L)	Vazão (m <sup>3</sup> /s)	Pluviometria total do mês correspondente (mm/mês)
Jul/07	3,3	n.d	97,8	638,5	9,2	199,0	4,42	12,18	2,01	0,020	170,2
Jan/08	3,2	n.d	132,6	665,0	5,7	116,5	1,04	18,88	2,97	0,007	173,7
Nov/08	3,3	-	84,2	391,0	5,5	75,2	2,54	13,07	1,88	0,012	256,1
Mar/09	3,2	n.d	99,4	516,0	5,9	61,4	1,13	18,39	2,08	0,005	180,1
Nov/09	6,0	13,2	19,4	251,0	7,8	91,2	1,01	4,78	0,70	0,011	193
Ago/10	3,1	n.d	106,1	684,0	6,7	150,9	3,88	8,97	3,07	-	69,6
Nov/10	3,1	n.d	139,5	746,0	5,9	148,0	3,06	14,74	2,79	0	253,4
Jul/11	3,6	n.d	75,2	473,0	7,6	147,4	1,83	9,42	1,72	-	185
Nov/11	3,0	n.d	193,8	807,0	6,1	155,6	2,14	17,24	3,87	-	26,25
Mai/12					SEM DRENAGEM						47,5
Nov/12	3,4	n.d	104,4	626,0	5,5	246,9	12,65	26,62	2,21	0,007	46,6
Jul/13	3,7	n.d	70,8	307,0	9,0	120,7	2,63	13,62	1,38	0,003	96,2
<b>Padrão (1)</b>	6,0 a 9,0	-	-	-	5,0	250	-	-	0,1	-	-

Fonte: Adaptado de CTCL, 2013b.  
(1) Resolução CONAMA n. 357/2005.

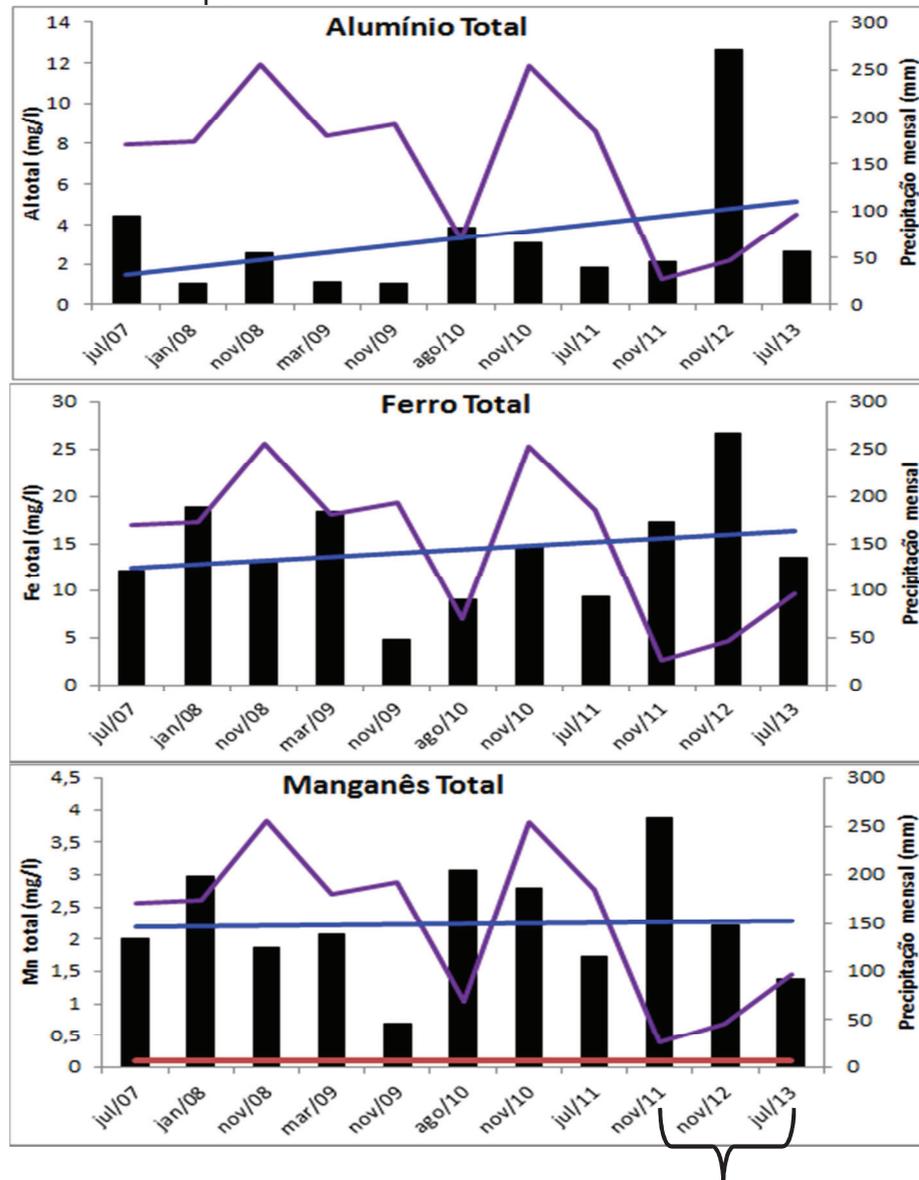
A campanha de maio de 2012 não foi considerada uma vez que não foi possível realizar a coleta de água, pelo fato do local apresentar-se sem drenagem. Portanto, considerou-se apenas 11 campanhas. Assim, a figura 13 apresenta os gráficos de pH, acidez total e sulfatos, enquanto que a figura 14 ilustra o alumínio total, ferro total e manganês total.

Figura 13 - Tendência do pH, acidez total e sulfatos no ponto PMB-01.



Fonte: Da Autora, 2013.

Figura 14 - Tendência do alumínio total, ferro total e manganês total no ponto PMB-01.



Obras iniciadas.

Fonte: Da Autora, 2013.

A partir da interpretação da tabela 06 e dos gráficos das figuras 13 e 14 foi possível perceber que o pH manteve-se praticamente estável, com valores entre 3,0 e 3,7, apresentando apenas uma campanha com o pH bem acima do normal para este corpo hídrico (6,0), o que sugere-se que possa ter ocorrido algum erro de amostragem ou na análise laboratorial. O mesmo apresentou uma leve tendência a diminuir, porém, analisando a primeira (3,3) e a última (3,7) campanhas, notou-se

que houve aumento de pH. Os resultados se apresentam bem abaixo da faixa entre 6,0 a 9,0, considerada ideal para a qualidade da água.

A acidez total apresentou resultados variados, tendendo a aumentar. Seus valores giraram entre 19,4 e 193,8 mgCaCO<sub>3</sub>/L. Entretanto, analisando-se a primeira (97,8 mgCaCO<sub>3</sub>/L) e a última (70,8 mgCaCO<sub>3</sub>/L) campanhas é possível perceber que a acidez diminuiu. O sulfato também apresentou valores variados (entre 61,4 e 246,9 mg/L), tendendo a aumentar. Contudo, o mesmo também diminuiu em relação à primeira (199,0 mg/L) e última (120,7 mg/L) campanhas. Além disso, todos os resultados se mantiveram abaixo do valor máximo estabelecido pela resolução. Os resultados do alumínio total variaram em uma faixa menor (entre 1,01 e 12,65 mg/L), sendo que os valores se concentraram na faixa entre 1,01 e 4,42 mg/L, com apenas a campanha de novembro de 2012 se apresentou acima (12,65 mg/L). Esse resultado foi apresentado na campanha de novembro de 2012, primeira campanha após o início das obras. Assim, observou-se que este aumento pode ter ocorrido em razão das obras que estavam ocorrendo no local. Mais uma vez, analisando-se a primeira (4,42 mg/L) e última (2,63 mg/L) campanhas notou-se uma diminuição do alumínio total.

O ferro total apresentou valores entre 4,78 e 26,62 mg/L e possui tendência de aumento. Seu pior resultado também foi registrado na campanha de novembro de 2012, o que pode ter ocorrido em razão das obras. O manganês total apresentou pequena variação (entre 0,70 e 3,87 mg/L), com tendência de aumento. Mais uma vez, houve uma diminuição da primeira (2,0 mg/L) para a última (1,4 mg/L) campanhas e todos os resultados ficaram acima do valor ideal estabelecido pela resolução.

A alcalinidade total foi detectada apenas na campanha de novembro de 2009, com valor de 13,2 mgCaCO<sub>3</sub>/L e nas demais não foi detectada. A condutividade diminuiu da primeira (638,5 µS/cm) para a última (307,0 µS/cm) campanhas. O oxigênio dissolvido começou com 9,2 mg/L e depois variou na faixa entre 5,5 e 7,8 mg/L até alcançar 9,0 mg/L na última campanha, sendo que todos os valores são considerados bons, uma vez que ficaram acima do valor mínimo exigido pela resolução. Entretanto, em algumas campanhas pode ter ocorrido alguma anomalia na coleta ou análise do oxigênio dissolvido, uma vez que o mesmo se apresentou muito elevado para os valores de metais presentes nesse ponto.

Com esta análise, foi possível perceber que mesmo muitos parâmetros possuindo uma tendência a aumentar, os resultados da última campanha demonstraram que houve uma melhora do curso d'água. Esta melhora não foi muito significativa, mas reflete as ações de reabilitação ambiental que estão sendo realizadas na área.

Destaca-se que das onze campanhas realizadas, apenas as duas últimas correspondem ao período de implantação das obras, que ainda não foram finalizadas e, portanto, o período em que não houve obras possui maior tendência na piora da qualidade da água. Ademais, foi possível observar que houve uma melhora em todos os parâmetros quando comparada a última campanha em relação à penúltima. Este comportamento pode ter sido observado pois as obras consideradas mais críticas já haviam sido implantadas, motivo pelo qual se observou a melhora na última campanha.

Observa-se que os parâmetros variaram sem ter relação com os índices pluviométricos durante o período de amostragem. Pode-se dizer que a chuva influencia a qualidade do corpo hídrico. Entretanto, é necessário levar em consideração que a maioria das campanhas corresponde ao período em que não havia obras de intervenção. Portanto, o comportamento desta área é um importante fator de influência na qualidade do corpo hídrico. Notou-se também que o índice pluviométrico aumentou na última campanha (96,2 mm/mês), quando comparado à penúltima (46,6 mm/mês), o que pode ter contribuído para a melhora dos resultados, somada às ações de reabilitação.

Deste modo, é necessário ainda aguardar o término das obras e o período mínimo de monitoramento exigido pelo órgão ambiental para avaliar de fato se as obras estão sendo positivas ou não em relação à qualidade do curso d'água. Ademais, para um resultado mais satisfatório, sugere-se a adição de um ponto de monitoramento de água superficial a montante da área, pois assim será possível realizar um comparativo da situação do corpo hídrico a montante e a jusante, além de avaliar o quanto o corpo hídrico melhorou ou não.

#### 4.3 ÁREA "C"

A Área "C" situa-se em Treviso e teve suas ações de recuperação iniciadas em maio de 2008 e finalizadas em junho de 2011.

As obras de recuperação efetuadas na área foram: retirada e beneficiamento dos finos depositados nas bacias de decantação, dispondo-os em um novo depósito, distante das margens de rios, construído obedecendo às normas técnicas; utilização desses rejeitos para o enchimento/assoreamento da cava de acesso ao subsolo da mina; redistribuição dos rejeitos espalhados pelas vias de circulação interna e pátios operacionais, diminuindo a área afetada; reconformação topográfica; raspagem de solo estéril; impermeabilização das pilhas e bacias de rejeito e plantio de vegetação adequada (GEOLÓGICA, [2006]).

Assim, as campanhas de fevereiro de 2007 a janeiro de 2008, representam a qualidade da água antes das ações de recuperação, as campanhas entre novembro de 2008 e novembro de 2010 durante as ações e as restantes apresentam os resultados após as ações de recuperação estarem implantadas. Vale ressaltar que o monitoramento da qualidade da água previsto no PRAD desta área está projetado para cinco anos após a confirmação da efetiva reabilitação.

Esta área possui oito pontos de monitoramento, que estão ilustrados nas figuras 15 e 16. A figura 17 apresenta a localização espacial dos pontos de monitoramento, hidrografia e o polígono da área.

Figura 15 - A - Localização PMC-01; B - Localização PMC-02; C - Localização PMC-03; D - Localização PMC-04.



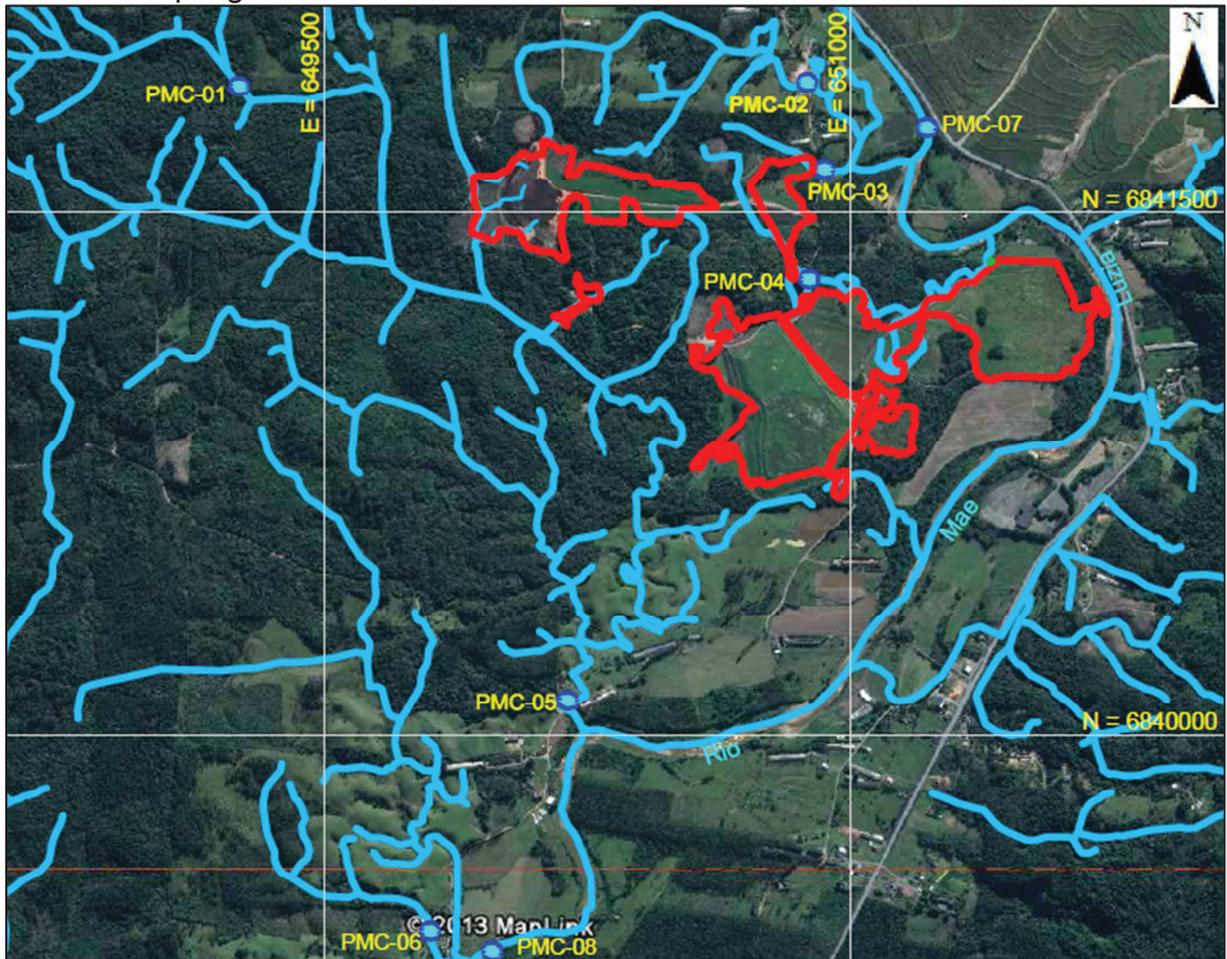
Fonte: Foto A cedida do CTCL, 2013a; Fotos B, C e D da autora, 2013.

Figura 16 - A - Localização PMC-05; B - Localização PMC-06; C - Localização PMC-07; D - Localização PMC-08.



Fonte: Da autora, 2013.

Figura 17 - Localização espacial dos pontos de monitoramento, hidrografia e os polígonos da Área "C".



Fonte: Adaptado de SATC, 2013.

#### 4.3.1 PMC-01

Este ponto localiza-se no córrego Volta Redonda, a montante da área, sendo considerado o ponto branco. O mesmo foi utilizado para analisar o comportamento do curso hídrico antes de alcançar a área degradada e sofrer intervenção da mesma, influenciando os pontos PMC-05 e PMC-08. A tabela 07 apresentou os resultados das coletas realizadas entre o primeiro semestre de 2007 e o primeiro semestre de 2013, totalizando 13 campanhas.

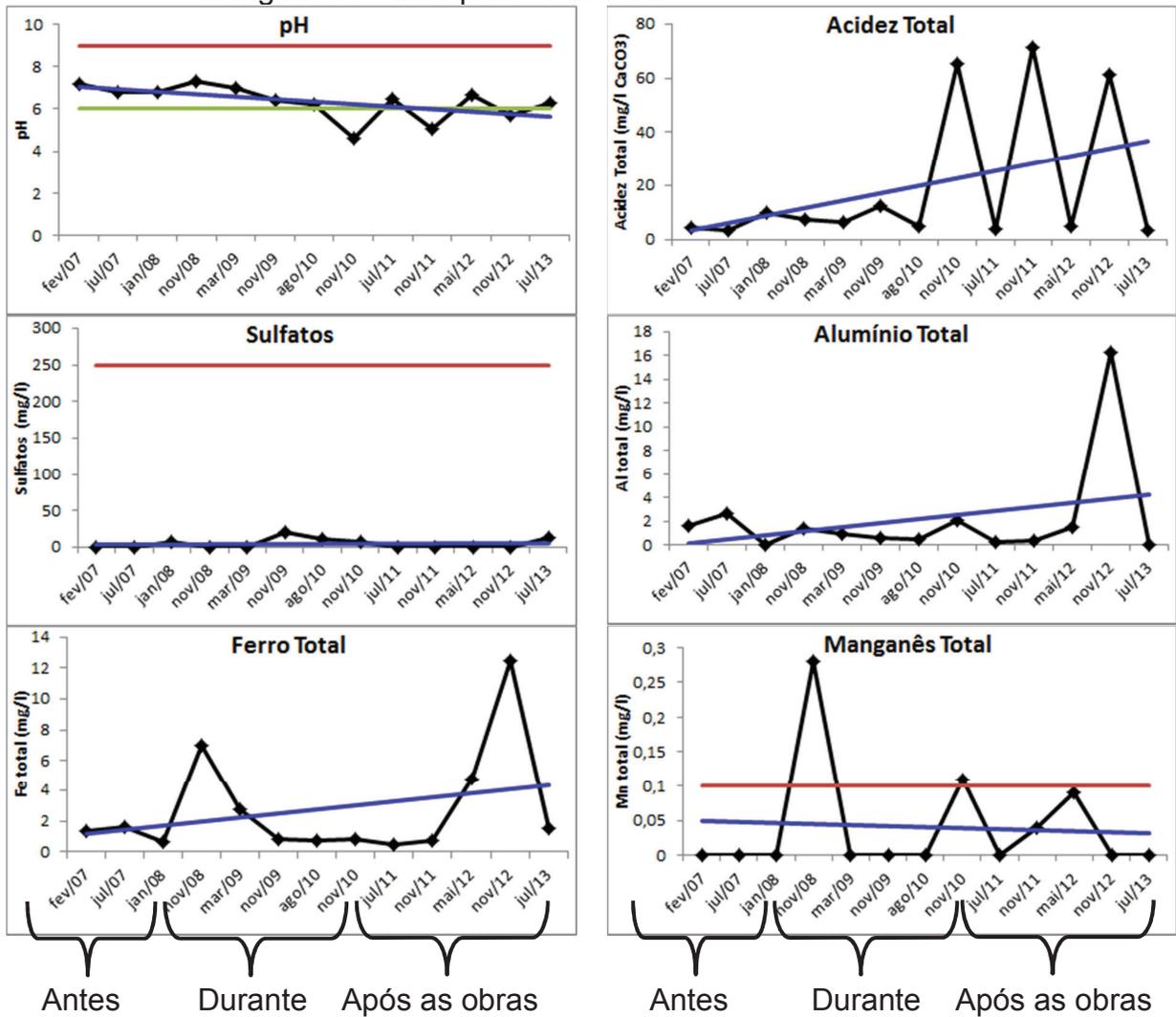
Tabela 7 - Resultados das análises do ponto PMC-01. Fev 2007 / Jul 2013.

Data da coleta	pH	Alcalinidade total (mgCaCO <sub>3</sub> /L)	Acidez total (mgCaCO <sub>3</sub> /L)	Condutividade (µS/cm)	Oxigênio dissolvido (mg/L)	Sulfatos (mg/L)	Alumínio total (mg/L)	Ferro total (mg/L)	Manganês total (mg/L)	Vazão (m <sup>3</sup> /s)	Pluviometria total do mês correspondente (mm/mês)
Fev/07	7,2	n.d	4,6	69,5	5,8	n.d	1,67	1,40	n.d	0,0070	185,4
Jul/07	6,8	6,7	3,6	49,6	7,4	n.d	2,62	1,61	n.d	0,0337	168,8
Jan/08	6,8	12,4	9,9	56,0	6,2	7,1	n.d	0,66	n.d	0,0268	269,0
Nov/08	7,3	n.d	7,4	39,0	6,4	n.d	1,38	7,01	0,28	0,0910	276,3
Mar/09	7,0	5,9	6,3	32,0	7,5	n.d	0,91	2,79	n.d	0,2230	287,8
Nov/09	6,4	10,6	12,2	51,0	6,1	20,0	0,58	0,83	n.d	0,0360	189,1
Ago/10	6,2	20,7	5,1	64,0	6,8	10,6	0,46	0,75	n.d	0,0180	45,0
Nov/10	4,6	n.d	65,4	53,0	3,4	7,8	2,12	0,82	0,11	0,080	283,3
Jul/11	6,5	12,0	4,1	46,0	8,8	n.d	0,21	0,48	n.d	0,0420	177,6
Nov/11	5,1	2,0	71,4	59,0	4,4	n.d	0,30	0,71	0,04	0,0750	41,1
Mai/12	6,7	40,2	5,1	74,0	9,2	n.d	1,55	4,84	0,09	0,0020	44,3
Nov/12	5,7	8,0	61,1	31,0	4,9	n.d	16,31	12,50	n.d	0,1220	40,3
Jul/13	6,3	12,0	3,6	64,0	8,5	13,9	n.d	1,58	n.d	0,0060	68,0
<b>Padrão (1)</b>	6,0 a 9,0	-	-	-	5,0	250	-	-	0,1	-	-

Fonte: Adaptado de CTCL, 2013a.  
(1) Resolução CONAMA n. 357/2005.

A figura 18 apresenta o comportamento do pH, acidez total, sulfatos, alumínio total, ferro total e manganês total, com suas linhas de tendência.

Figura 18 - Tendência do pH, acidez total, sulfatos, alumínio total, ferro total e manganês total no ponto PMC-01.



Fonte: Da Autora, 2013.

A partir dos dados apresentados na tabela 07 e figura 18 foi possível observar que o pH neste ponto se manteve estável (pH 6,2 a 7,3) até a campanha de novembro de 2010, quando o pH se apresentou bem abaixo do normal (pH 4,6). A variação entre as campanhas analisadas foi entre 4,6 e 7,3, sendo que na última campanha apresentou pH 6,3, permanecendo entre os valores de 6,0 e 9,0, que são considerados ideais para a qualidade da água. Em apenas três campanhas o pH ficou abaixo de 6,0 (Nov/2010; Nov/2011 e Nov/2012).

A acidez total até novembro de 2009 manteve-se praticamente estável, mas depois apresentou comportamento variado. Seus valores variaram entre 3,6 e

71,4 mgCaCO<sub>3</sub>/L. O sulfato em oito campanhas não foi detectado e nas campanhas restantes variou entre 7,1 e 20,0 mg/L, abaixo do considerado ideal pela Resolução, com leve tendência a aumentar.

O alumínio total não foi detectado em duas campanhas e nas demais teve variação entre 0,21 e 16,3 mg/L, tendendo a aumentar, apesar de não ter sido detectado na última campanha. O ferro total apresentou resultados entre 0,48 e 12,5 mg/L, com tendência de elevação. O manganês total apresentou apenas dois resultados acima do valor máximo considerado pela Resolução 357/05, sendo que o mesmo não foi detectado em nove campanhas e variou entre 0 e 0,28 mg/L. Portanto, o manganês manteve-se praticamente estável, com leve tendência a redução das concentrações.

A alcalinidade total não foi detectada em três campanhas e variou entre 2,0 e 40,2 mgCaCO<sub>3</sub>/L. A condutividade variou entre 31,0 e 74,0 µS/cm, sendo que houve uma diminuição da última campanha (64,0 µS/cm) em relação a primeira (69,5 µS/cm). O oxigênio dissolvido apresentou seus resultados entre 3,4 e 9,2 mg/L, com o resultado da última campanha (8,5 mg/L) maior que da primeira (5,8 mg/L).

A partir desta análise percebeu-se que o curso hídrico neste ponto branco possui boa qualidade, quando comparado aos limites estabelecidos pela Resolução n. 357/05, sendo que os parâmetros que possuem limite pela resolução apresentaram apenas alguns resultados fora do considerado ideal. No entanto, o pH, acidez total, sulfatos, alumínio total, ferro total e condutividade apresentaram uma tendência a piorar.

#### **4.3.2 PMC-02**

Este ponto se encontra à margem direita do rio Mãe Luzia, em um curso d'água perene que recebe contribuição da Área "C" a oeste. A tabela 08 apresenta os resultados das campanhas analisadas entre o primeiro semestre de 2007 ao primeiro semestre de 2013, totalizando 13 campanhas.

Tabela 8 - Resultados das análises do ponto PMC-02. Fev 2007 / Jul 2013.

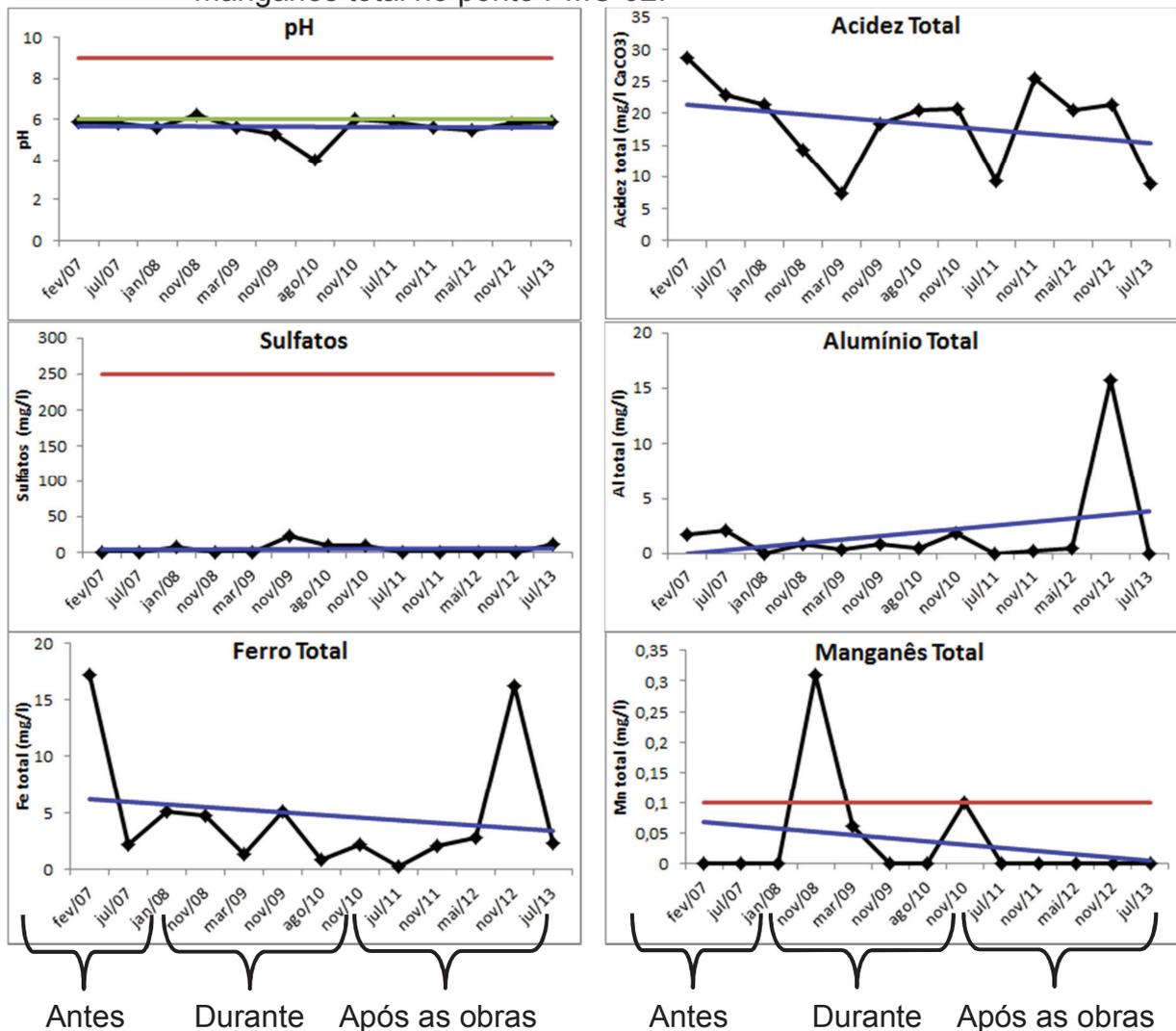
Data da coleta	pH	Alcalinidade total (mgCaCO <sub>3</sub> /L)	Acidez total (mgCaCO <sub>3</sub> /L)	Condutividade (µS/cm)	Oxigênio dissolvido (mg/L)	Sulfatos (mg/L)	Alumínio total (mg/L)	Ferro total (mg/L)	Manganês total (mg/L)	Vazão (m <sup>3</sup> /s)	Pluviometria total do mês correspondente (mm/mês)
Fev/07	5,9	n.d	28,6	44,5	2,53	<1	1,78	17,12	n.d	0	185,4
Jul/07	5,8	3,2	22,9	50,0	5,20	n.d	2,18	2,20	n.d	0	168,8
Jan/08	5,6	5,9	21,3	35,0	1,70	8,4	n.d	5,06	n.d	0	269,0
Nov/08	6,2	n.d	14,2	31,0	4,60	n.d	0,94	4,74	0,31	0,016	276,3
Mar/09	5,6	1,3	7,4	27,0	6,50	n.d	0,42	1,28	0,06	0,037	287,8
Nov/09	5,3	0	18,4	32,0	4,20	23,8	0,94	5,10	n.d	0	189,1
Ago/10	4,0	n.d	20,4	68,0	4,50	9,2	0,51	0,88	n.d	0	45,0
Nov/10	6,0	5,4	20,7	46,0	2,60	9,3	1,85	2,23	0,10	0	283,3
Jul/11	5,9	0	9,3	45,0	7,10	0	0,03	0,20	n.d	0,004	177,6
Nov/11	5,6	1,3	25,5	44,0	3,30	n.d	0,32	2,03	0	0	41,1
Mai/12	5,5	2,9	20,4	42,0	2,50	n.d	0,55	2,74	n.d	-	44,3
Nov/12	5,8	n.d	21,3	42,0	4,70	n.d	15,71	16,24	n.d	-	40,3
Jul/13	5,9	1,3	8,9	47,0	5,70	12,1	n.d	2,24	n.d	0,002	68,0
<b>Padrão (1)</b>	<b>6,0 a 9,0</b>	-	-	-	5,0	250	-	-	0,1	-	-

Fonte: Adaptado de CTCL, 2013a.

(1) Resolução CONAMA n. 357/2005.

A figura 19 apresenta os gráficos de pH, acidez total, sulfatos, alumínio total, ferro total e manganês total, com suas linhas de tendência, para as 13 campanhas realizadas.

Figura 19 - Tendência do pH, acidez total, sulfatos, alumínio total, ferro total e manganês total no ponto PMC-02.



Fonte: Da Autora, 2013.

O pH apresentou-se entre 4,0 e 6,2, com uma leve tendência a piorar. Apenas dois resultados ficaram acima do mínimo desejável pela resolução. A acidez total apresentou uma tendência de redução, com seus resultados variando entre 7,4 e 28,6 mgCaCO<sub>3</sub>/L, sendo que houve melhora da primeira campanha (28,6 mgCaCO<sub>3</sub>/L) para a última (8,9 mgCaCO<sub>3</sub>/L). O sulfato permaneceu bem abaixo do máximo considerado pela resolução, não sendo detectado em seis campanhas, e variou entre 0 e 23,8 mg/L, com leve tendência a aumentar.

O alumínio total variou entre 0,03 e 15,71 mg/L, não sendo detectado em duas campanhas e com tendência a aumentar. O ferro total apresentou seus resultados entre 0,2 e 17,12 mg/L, com tendência a melhorar, sendo que a concentração diminuiu da primeira (17,12 mg/L) para a última campanha (2,24 mg/L). O manganês total não foi detectado em nove campanhas, variando entre 0 e 0,31 mg/L, permanecendo praticamente em todas as campanhas dentro do valor máximo considerado pela resolução, tendendo a diminuir. A alcalinidade total não foi detectada em quatro campanhas, em duas campanhas obteve 0,0 como resultado e alcançou 5,9 mgCaCO<sub>3</sub>/L. A condutividade variou entre 27,0 e 68,0 µS/cm, com tendência a aumentar. O oxigênio dissolvido variou entre 1,7 e 7,1 mg/L, com apenas três resultados acima do mínimo considerado ideal pela resolução. O mesmo possui uma tendência a melhorar, com a última campanha (5,70 mg/L) maior que a primeira (2,53 mg/L). Nesta situação, em que os resultados do pH e dos metais não se apresentaram muito ruins, o oxigênio dissolvido poderia ter apresentado resultados melhores, o que não ocorreu.

A avaliação do comportamento dos parâmetros analisados neste ponto permitiu perceber que não apresenta uma qualidade tão ruim quando comparado a outros corpos hídricos que recebem contribuição de áreas degradadas pela mineração de carvão no sul de Santa Catarina. A acidez total e a condutividade apresentaram valores baixos, próximos aos resultados do ponto branco e a alcalinidade total foi detectada em diversas campanhas, o que não ocorreu em outros cursos d'águas impactados.

Em relação às obras de reabilitação ambiental realizadas na área, com exceção da alcalinidade, todos os parâmetros apresentaram o melhor resultado durante (pH, acidez total e condutividade) ou depois (oxigênio dissolvido, sulfato, alumínio total, ferro total e manganês total) das obras de intervenção. Após a implantação das obras de reabilitação, o pH, o sulfato e o manganês total permaneceram praticamente estáveis. O mesmo ocorreu com o alumínio total e ferro total, porém, estes obtiveram um pico na penúltima campanha, mas voltaram a apresentar valores menores na última campanha. Este pico pode estar relacionado com o índice pluviométrico registrado no mês desta campanha, o qual se apresentou abaixo de algumas campanhas. Porém, esta diferença pode estar relacionada também a outros fatores desconhecidos neste trabalho.

Assim, comparando-se os resultados dos parâmetros com os índices pluviométricos, pode-se observar que os valores variaram sem ter uma relação muito direta com a precipitação e, portanto, esta variação pode estar relacionada também às características da área.

#### **4.3.3 PMC-03**

Este ponto localiza-se à margem direita do rio Mãe Luzia, em um curso d'água perene que recebe contribuição da Área "C" a leste. A tabela 09 apresenta os resultados das coletas realizadas entre o primeiro semestre de 2007 e o primeiro semestre de 2013, totalizando 13 campanhas.

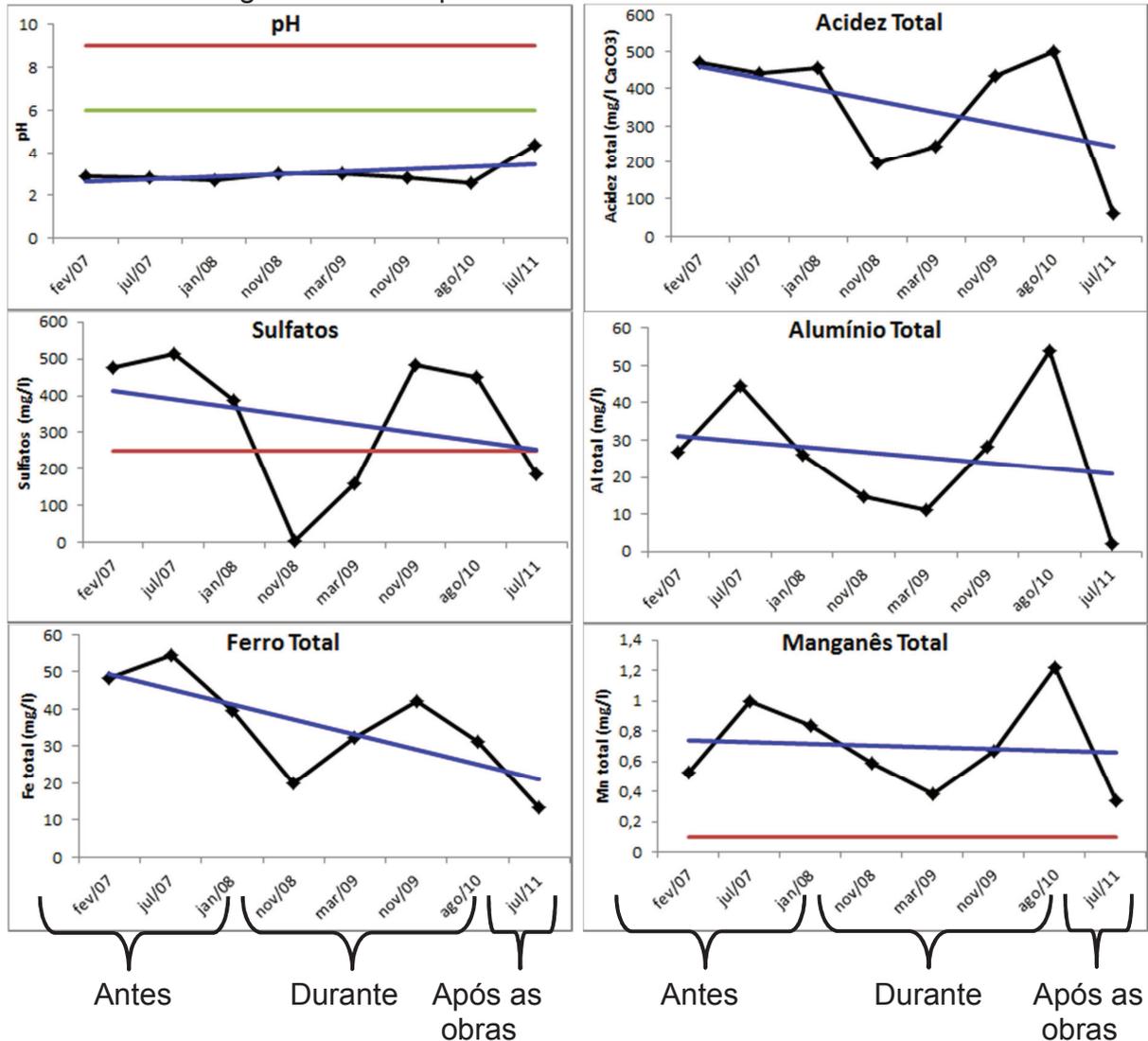
Tabela 9 - Resultados das análises do ponto PMC-03. Fev 2007 / Jul 2013.

Data da coleta	pH	Alcalinidade total (mgCaCO <sub>3</sub> /L)	Acidez total (mgCaCO <sub>3</sub> /L)	Condutividade (µS/cm)	Oxigênio dissolvido (mg/L)	Sulfatos (mg/L)	Alumínio total (mg/L)	Ferro total (mg/L)	Manganês total (mg/L)	Vazão (m <sup>3</sup> /s)	Pluviometria total do mês correspondente (mm/mês)
Fev/07	2,9	n.d	471,8	1257,00	5,0	476,5	26,81	48,12	0,53	0	185,4
Jul/07	2,8	n.d	440,3	1051,00	7,0	512,4	44,46	54,31	1,00	0,0018	168,8
Jan/08	2,7	n.d	456,4	1304,00	4,7	388,1	26,05	39,50	0,84	0,0002	269,0
Nov/08	3,0	n.d	196,4	667,00	5,9	4,7	14,60	19,94	0,59	0,0180	276,3
Mar/09	3,0	n.d	242,2	657,00	7,0	161,2	10,95	32,42	0,38	0,0010	287,8
Nov/09	2,8	n.d	433,5	1403,00	6,0	482,3	28,28	42,02	0,67	0,0020	189,1
Ago/10	2,6	n.d	499,8	18,04	6,7	450,2	53,93	31,20	1,22	0	45,0
Nov/10					SEM DRENAGEM						
Jul/11	4,4	n.d	61,8	511,00	7,5	184,6	2,14	13,32	0,34	-	177,6
Nov/11					SEM DRENAGEM						
Mai/12					SEM DRENAGEM						
Nov/12					SEM DRENAGEM						
Jul/13					SEM DRENAGEM						
<b>Padrão (1)</b>	6,0 a 9,0	-	-	-	5,0	250	-	-	0,1	-	-

Fonte: Adaptado de CTCL, 2013a.  
(1) Resolução CONAMA n. 357/2005.

Neste caso, do total de 13 campanhas de amostragem realizadas, cinco apresentaram-se sem drenagem. Portanto, os gráficos de pH, acidez total, sulfatos, alumínio total, ferro total e manganês total e suas linhas de tendência apresentaram apenas os resultados das oito campanhas restantes (Figura 20).

Figura 20 - Tendência do pH, acidez total, sulfatos, alumínio total, ferro total e manganês total no ponto PMC-03.



Fonte: Da Autora, 2013.

O pH apresentou seus resultados variando entre 2,6 e 4,4, abaixo do valor mínimo considerado ideal pela resolução, com leve tendência de elevação, sendo que o melhor resultado foi atingido na campanha de julho de 2011, última campanha que apresentou drenagem. A acidez total apresentou uma tendência a melhorar, com seus resultados variando entre 61,8 e 499,8 mgCaCO<sub>3</sub>/L. Seu menor e melhor resultado foi atingido na última campanha. O sulfato apresentou seus

resultados entre 4,7 e 512,4 mg/L, a maioria acima do máximo considerado pela resolução. Entretanto, sua tendência é diminuir.

O alumínio total variou entre 2,14 e 53,93 mg/L, apresentando seu pico na campanha de agosto de 2010 e seu mínimo na campanha seguinte, tendendo a diminuir. O ferro total apresentou uma melhora nos resultados, que variaram entre 13,32 e 54,31 mg/L, e diminuiu da primeira (48,12 mg/L) para a última campanha (13,32 mg/L). O manganês total possui uma leve tendência a diminuir, com seus resultados variando entre 0,34 e 1,22 mg/L, permanecendo todos acima do limite máximo considerado pela resolução.

A alcalinidade total não foi detectada em nenhuma campanha. A condutividade variou entre 18,04 e 1403  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , com tendência a diminuir. O oxigênio dissolvido obteve resultados entre 4,7 e 7,5 mg/L, tendendo a melhorar, com a maioria dos seus resultados acima do mínimo solicitado pela resolução.

A partir desta análise foi possível observar uma melhora em quase todos os parâmetros, especialmente na última campanha (julho de 2011), quando as obras de reabilitação ambiental já estavam implantadas. Os parâmetros pH, acidez total, oxigênio dissolvido, alumínio total, ferro total e manganês total apresentaram seus melhores resultados na última campanha, o que demonstra que as obras de reabilitação já oferecem um resultado positivo na qualidade da água.

Relacionando-se os resultados com as precipitações nos meses de coleta, a campanha de agosto de 2010 registrou uma pluviometria mensal bem abaixo das outras. Com isso, percebeu-se uma piora em quase todos os parâmetros. Do mesmo modo que houve uma melhora nas campanhas de maior índice pluviométrico (janeiro e novembro de 2008 e março de 2009). Na campanha de julho de 2011 houve um aumento na precipitação em relação a agosto de 2010, melhorando os parâmetros.

Importante destacar que desde a campanha de novembro de 2011 este ponto não apresenta drenagem.

#### **4.3.4 PMC-04**

Este ponto está localizado em uma lagoa que recebe contribuição de drenagem ácida da Área "C" a leste. A tabela 10 apresenta os resultados das coletas

realizadas entre o primeiro semestre de 2007 e o primeiro semestre de 2013, totalizando 13 campanhas.

Tabela 10 - Resultados das análises do ponto PMC-04. Fev 2007 / Jul 2013.

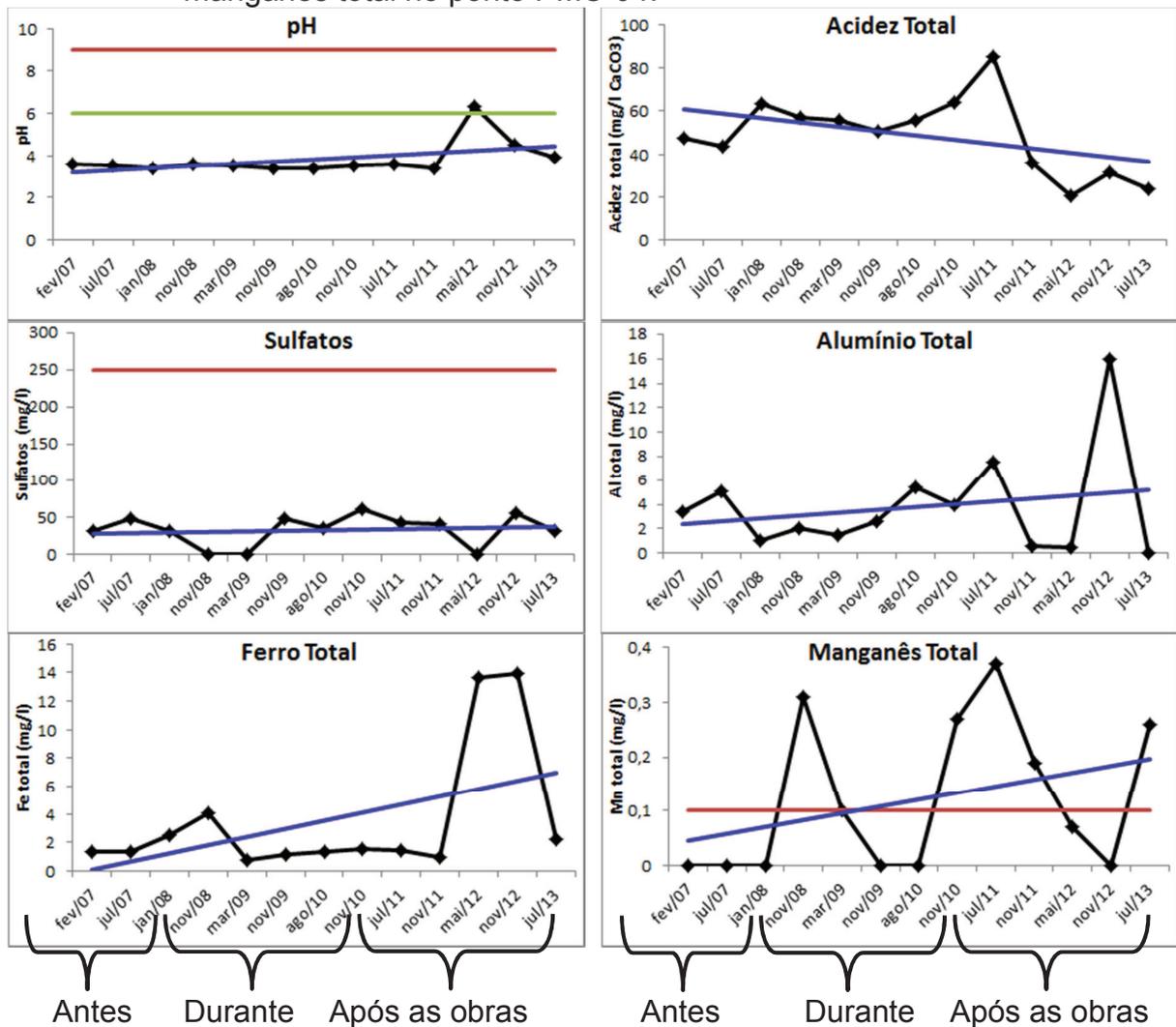
Data da coleta	pH	Alcalinidade total (mgCaCO <sub>3</sub> /L)	Acidez total (mgCaCO <sub>3</sub> /L)	Condutividade (µS/cm)	Oxigênio dissolvido (mg/L)	Sulfatos (mg/L)	Alumínio total (mg/L)	Ferro total (mg/L)	Manganês total (mg/L)	Vazão (m <sup>3</sup> /s)	Pluviometria total do mês correspondente (mm/mês)
Fev/07	3,6	n.d	47,4	246,1	3,22	32,5	3,33	1,35	n.d	0	185,4
Jul/07	3,5	n.d	43,8	181,7	8,00	48,0	5,07	1,33	n.d	0	168,8
Jan/08	3,4	n.d	63,8	229,0	4,00	31,7	0,99	2,56	n.d	0	269,0
Nov/08	3,6	n.d	57,2	183,0	4,30	n.d	2,03	4,11	0,31	0	276,3
Mar/09	3,5	n.d	56,1	182,0	4,00	n.d	1,48	0,76	0,10	0	287,8
Nov/09	3,4	n.d	51,0	267,0	5,70	49,2	2,55	1,14	n.d	0	189,1
Ago/10	3,4	n.d	56,1	250,0	6,30	35,5	5,44	1,36	n.d	0	45,0
Nov/10	3,5	n.d	64,3	303,0	5,40	61,5	3,98	1,55	0,27	0	283,3
Jul/11	3,6	n.d	85,5	645,0	8,20	42,1	7,54	1,45	0,37	-	177,6
Nov/11	3,4	n.d	35,7	294,0	5,60	41,5	0,52	0,92	0,19	-	41,1
Mai/12	6,3	34,3	20,4	98,0	5,60	n.d	0,45	13,63	0,07	-	44,3
Nov/12	4,5	n.d	31,2	192,0	4,60	55,7	16,01	13,93	n.d	-	40,3
Jul/13	3,9	n.d	23,6	149,0	7,10	31,5	n.d	2,20	0,26	-	68,0
<b>Padrão (1)</b>	6,0 a 9,0	-	-	-	5,0	250	-	-	0,1	-	-

Fonte: Adaptado de CTCL, 2013a.

(1) Resolução CONAMA n. 357/2005.

A Figura 21 apresenta o comportamento do pH, acidez total, sulfatos, alumínio total, ferro total e manganês total, com suas linhas de tendência, para as 13 campanhas realizadas.

Figura 21 - Tendência do pH, acidez total, sulfatos, alumínio total, ferro total e manganês total no ponto PMC-04.



Fonte: Da Autora, 2013.

O pH obteve seus resultados entre 3,4 e 6,3, sendo que as três últimas campanhas apresentaram os melhores resultados e, com isso, o pH possui uma tendência a melhorar, embora apenas um resultado tenha ficado acima do mínimo considerado pela resolução. A acidez total também apresentou seus melhores resultados nas últimas três campanhas, tendendo a diminuir. Seus resultados variaram entre 20,4 e 85,5 mg/L. O sulfato se apresentou bem abaixo do máximo permitido pela resolução, variando entre 31,5 e 61,5 mg/L e em três campanhas não foi detectado, com leve tendência a piorar.

O alumínio total não foi detectado na última campanha e alcançou 16,01 mg/L na penúltima campanha. Possui tendência de aumento, embora a última campanha (não detectado) tenha ficado abaixo da primeira (3,33 mg/L). O ferro total apresentou seus resultados entre 0,76 e 13,93 mg/L, sendo que em duas campanhas apresentaram-se acima da maioria. Sua tendência é aumentar. O manganês total não foi detectado em seis campanhas e alcançou apenas 0,31 mg/L. Alguns resultados ficaram um pouco acima do máximo permitido pela resolução e sua tendência é aumentar. A alcalinidade total foi detectada apenas na campanha de maio de 2012, com 34,3 mg/L. A condutividade variou entre 98 e 645  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , com uma diminuição da última campanha (149  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) em relação à primeira (246  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ). O oxigênio dissolvido obteve seus resultados entre 3,22 e 8,2 mg/L. Alguns resultados se encontraram abaixo do mínimo considerado ideal pela resolução, mas sua tendência é melhorar. Além disso, em poucas campanhas, os valores de oxigênio dissolvido divergiram em relação aos valores de pH e metais. Dessa forma, pode-se dizer que pode ter ocorrido alguma anomalia na amostragem ou na execução das análises.

Neste ponto foi possível observar que o pH, acidez total e oxigênio dissolvido apresentaram uma melhora ao longo das campanhas, enquanto que o sulfato, alumínio total, ferro total, manganês total e condutividade possuem uma tendência a piorar. Observou-se também que o pH, acidez total, condutividade e alumínio total apresentaram o pior e o melhor resultados após a finalização das obras de reabilitação; o oxigênio dissolvido apresentou o pior resultado antes e o melhor depois das obras; a alcalinidade total só foi detectada em maio de 2012, após as obras; o sulfato e o manganês total não foram detectados em algumas campanhas durante e depois e o ferro total apresentou o melhor resultado durante as obras e o pior depois.

Por se tratar de uma lagoa, que em todas as campanhas não apresentaram vazão, pode-se considerar que este fator pode ter influenciado nesta piora, uma vez que a água permanece concentrada na lagoa. Somando-se a este fator, tem-se a pluviometria, que nas últimas quatro campanhas apresentaram baixos índices de chuva (41,1, 44,3, 40,3 e 68,0 mm/mês) quando comparado há períodos anteriores, por exemplo, novembro de 2008 e julho de 2011 (276,3 e 177,6 mm/mês, respectivamente), o que pode ter influenciado na piora de alguns parâmetros, como é o caso do alumínio total, ferro total e manganês total.

#### **4.3.5 PMC-05**

O córrego Volta Redonda que recebe drenagens ácidas das minas a céu aberto, do depósito de rejeito grosso e furos de sonda com drenagem ácida intermitente, é o local de coleta deste ponto. A tabela 11 apresenta os resultados das coletas realizadas entre o primeiro semestre de 2007 e o primeiro semestre de 2013, totalizando 13 campanhas.

Tabela 11 - Resultados das análises do ponto PMC-05. Fev 2007 / Jul 2013.

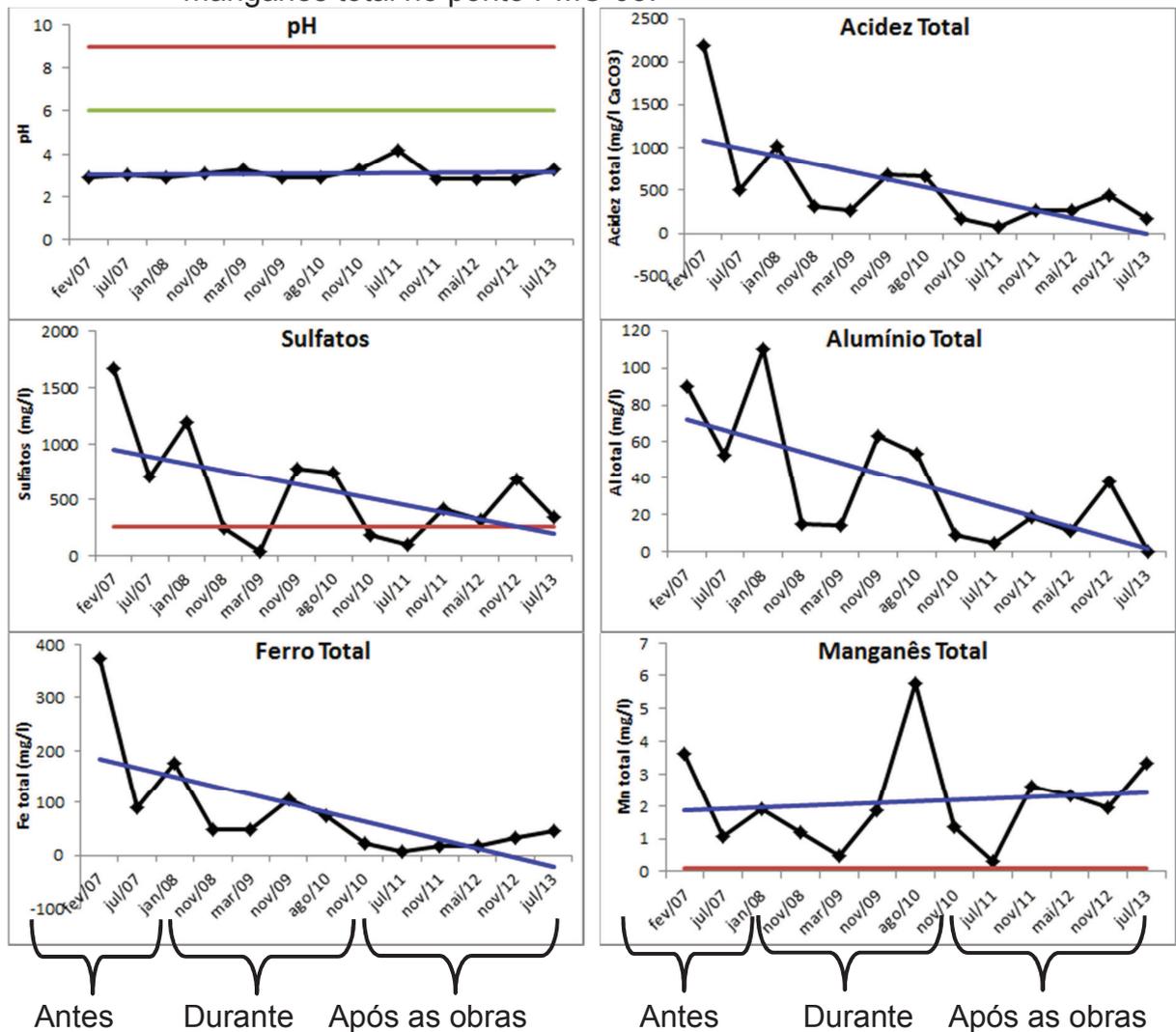
Data da coleta	pH	Alcalinidade total (mgCaCO <sub>3</sub> /L)	Acidez total (mgCaCO <sub>3</sub> /L)	Condutividade (µS/cm)	Oxigênio dissolvido (mg/L)	Sulfatos (mg/L)	Alumínio total (mg/L)	Ferro total (mg/L)	Manganês total (mg/L)	Vazão (m <sup>3</sup> /s)	Pluviometria total do mês correspondente (mm/mês)
Fev/07	2,9	n.d	2185,4	2448,5	3,4	1665,0	90,29	373,28	3,64	0,0332	185,4
Jul/07	3,0	n.d	504,7	1072,6	8,0	704,5	53,21	89,12	1,06	0,0672	168,8
Jan/08	2,9	n.d	1022,6	1685,0	3,0	1186,0	109,78	177,45	1,89	0,0947	269,0
Nov/08	3,1	n.d	313,6	838,0	5,2	243,7	14,85	49,58	1,18	0,2700	276,3
Mar/09	3,3	n.d	265,2	575,0	6,8	28,7	14,13	47,94	0,49	0,4030	287,8
Nov/09	2,9	n.d	678,3	1464,0	3,3	776,3	62,96	105,45	1,85	0,0770	189,1
Ago/10	2,9	n.d	668,1	1656,0	4,9	742,5	53,78	75,07	5,76	0,0360	45,0
Nov/10	3,3	n.d	171,1	627,0	4,7	172,6	8,69	21,52	1,36	0,0110	283,3
Jul/11	4,2	n.d	68,0	263,0	8,4	96,0	4,50	8,32	0,31	0,1260	177,6
Nov/11	2,8	n.d	270,3	1119,0	6,6	407,8	18,51	16,52	2,62	0,0110	41,1
Mai/12	2,8	n.d	258,8	1018,0	8,5	318,4	11,15	16,68	2,31	0,0020	44,3
Nov/12	2,8	n.d	440,8	1234,0	5,2	673,4	37,85	33,70	1,95	0,0060	40,3
Jul/13	3,3	n.d	177,0	1300,0	7,6	342,3	n.d	46,18	3,35	0,0170	68,0
<b>Padrão (1)</b>	6,0 a 9,0	-	-	-	5,0	250	-	-	0,1	-	-

Fonte: Adaptado de CTCL, 2013a.

(1) Resolução CONAMA n. 357/2005.

A Figura 22 apresenta o comportamento do pH, acidez total, sulfatos, alumínio total, ferro total e manganês total, com suas linhas de tendência, para as 13 campanhas realizadas.

Figura 22 - Tendência do pH, acidez total, sulfatos, alumínio total, ferro total e manganês total no ponto PMC-05.



Fonte: Da Autora, 2013.

O pH variou entre 2,8 e 4,2, com uma leve tendência a melhorar. Todos os resultados ficaram abaixo do mínimo considerado ideal pela resolução. A acidez total apresentou uma variação bastante significativa, entre 68,0 e 2185,4 mgCaCO<sub>3</sub>/L, com tendência a diminuir. Da mesma forma, o sulfato também variou bastante (entre 28,7 e 1665 mg/L) e, apesar de apresentar a maioria de seus resultados acima do valor máximo permitido, apresentou tendência a redução, se aproximando do considerado ideal pela resolução.

O alumínio total não foi detectado na última campanha e seus resultados se apresentaram entre 4,5 e 109,78 mg/L. O mesmo apresenta uma tendência a melhorar. O ferro total possui tendência de melhoria, passando de 373,28 mg/L na primeira campanha para 46,18 mg/L na última campanha, atingindo valor mínimo de 8,32 mg/L na campanha de julho de 2011. O manganês total variou entre 0,31 e 5,76 mg/L, tendendo a piorar, com todos os resultados acima do máximo permitido pela resolução. A alcalinidade não foi detectada em nenhuma campanha. A condutividade apresentou variação entre 263 e 2448,5  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , tendendo a diminuir. O oxigênio dissolvido apresentou tendência de melhoria, com seus valores variando entre 3,0 e 8,5 mg/L e com a última campanha (7,6 mg/L) expondo resultado melhor que a primeira (3,4 mg/L), sendo que nas últimas quatro campanhas permaneceu acima do mínimo considerado ideal pela resolução. Além disso, em algumas campanhas também pode ter ocorrido erros na amostragem ou análise deste parâmetro uma vez que se mostraram altos para os resultados de pH e concentração de metais.

Após a interpretação dos resultados (Tabela 11 e Figura 21) foi possível perceber uma melhora em todos os parâmetros nas últimas campanhas, onde as obras de reabilitação estavam concluídas, exceto o manganês, que ainda apresentou uma tendência de elevação. Com exceção do pH e sulfato, os demais parâmetros atingiram seus melhores resultados nas campanhas realizadas após o término das obras. Apesar de o índice pluviométrico ter ficado abaixo da média nas últimas quatro campanhas, a concentração do sulfato, alumínio total e ferro total, além da acidez total, pH, oxigênio dissolvido e condutividade, não tiveram uma piora significativa. Diante do exposto, pode-se considerar que as ações de reabilitação realizadas na área estão contribuindo para a melhora do corpo hídrico neste ponto.

#### **4.3.6 PMC-06**

Este ponto encontra-se à margem direita do Rio Mãe Luzia, em um curso d'água que recebe contribuição de drenagem ácida perene do furo de sonda. A tabela 12 apresenta os resultados das coletas realizadas entre o primeiro semestre de 2007 e o primeiro semestre de 2013, totalizando 13 campanhas.

Tabela 12 - Resultados das análises do ponto PMC-06. Fev 2007 / Jul 2013.

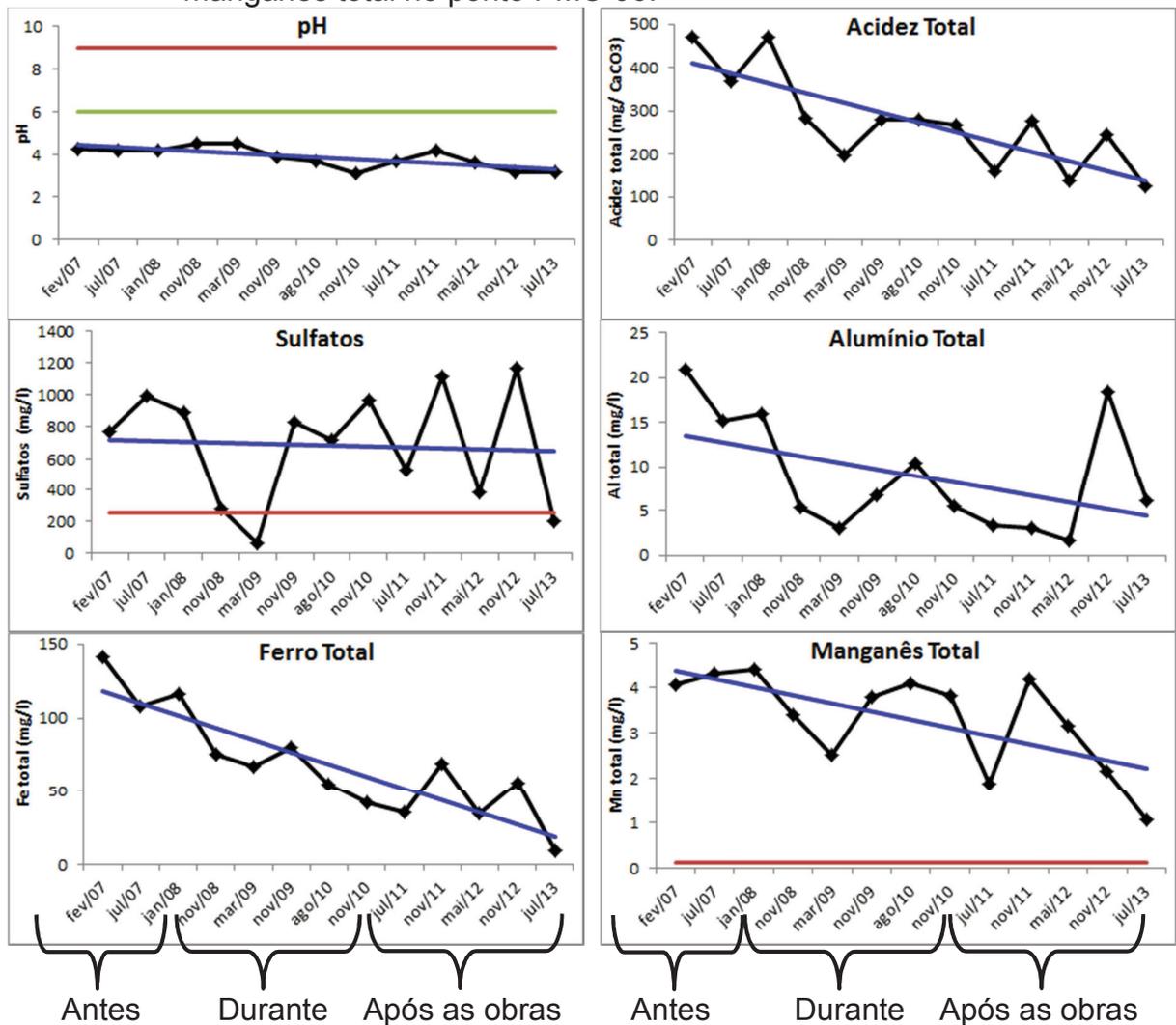
Data da coleta	pH	Alcalinidade total (mgCaCO <sub>3</sub> /L)	Acidez total (mgCaCO <sub>3</sub> /L)	Condutividade (µS/cm)	Oxigênio dissolvido (mg/L)	Sulfatos (mg/L)	Alumínio total (mg/L)	Ferro total (mg/L)	Manganês total (mg/L)	Vazão (m <sup>3</sup> /s)	Pluviometria total do mês correspondente (mm/mês)
Fev/07	4,3	n.d	471,2	1201	3,59	764,5	20,86	141,34	4,08	0,0092	185,4
Jul/07	4,2	n.d	367,6	1271	6,70	996,1	15,11	108,04	4,32	0,0173	168,8
Jan/08	4,2	n.d	470,1	1540	3,20	892,6	15,90	116,67	4,41	0,0301	269,0
Nov/08	4,5	n.d	284,6	1087	4,30	276,5	5,38	75,69	3,41	0,0380	276,3
Mar/09	4,5	n.d	195,8	1037	4,80	66,0	3,00	66,67	2,53	0,0280	287,8
Nov/09	3,9	n.d	281,5	1452	3,60	830,0	6,76	79,67	3,79	0,0160	189,1
Ago/10	3,7	n.d	280,5	1670	5,40	721,0	10,33	54,49	4,10	0,0070	45,0
Nov/10	3,1	n.d	267,0	1898	4,00	962,3	5,53	41,64	3,82	0,0050	283,3
Jul/11	3,7	n.d	158,6	1037	5,90	524,5	3,31	34,96	1,87	0,0180	177,6
Nov/11	4,2	n.d	275,4	1627	4,50	1111,0	2,98	68,86	4,19	0,0100	41,1
Mai/12	3,6	n.d	138,0	1227	7,40	383,1	1,66	34,15	3,16	0,0020	44,3
Nov/12	3,2	n.d	243,6	1598	4,40	1168,8	18,38	55,86	2,16	0,0120	40,3
Jul/13	3,2	n.d	123,9	497	6,60	200,4	6,02	9,79	1,05	0,0050	68,0
<b>Padrão (1)</b>	6,0 a 9,0	-	-	-	5,0	250	-	-	0,1	-	-

Fonte: Adaptado de CTCL, 2013a.

(1) Resolução CONAMA n. 357/2005.

A Figura 23 apresenta o comportamento do pH, acidez total, sulfato, alumínio total, ferro total e manganês total, com suas linhas de tendência, para as 13 campanhas realizadas.

Figura 23 - Tendência do pH, acidez total, sulfato, alumínio total, ferro total e manganês total no ponto PMC-06.



Fonte: Da Autora, 2013.

O pH variou entre 3,1 e 4,5 e possui uma tendência a piorar, com menor resultado na última campanha (3,2) em relação à primeira (4,3) campanha. A acidez total apresentou uma tendência de melhoria, com seu valor máximo atingido na primeira campanha (471,2 mgCaCO<sub>3</sub>/L) e mínimo alcançado na última campanha (123,9 mgCaCO<sub>3</sub>/L). O sulfato apresentou uma variação significativa, com seus resultados entre 66,0 e 1168,8 mg/L. A última campanha (200,4 mg/L) apresentou-se melhor que a primeira (764,5 mg/L), tendendo a melhorar. Apenas dois resultados se encontraram abaixo do valor máximo estabelecido pela resolução.

O alumínio total obteve seus resultados entre 1,66 e 20,86 mg/L e apresentou tendência de redução, sendo que a última campanha (6,02 mg/L) melhorou em relação à primeira (20,86 mg/L). Na campanha de novembro de 2012 o alumínio teve concentração acima das últimas campanhas, mas que não foi maior que o encontrado na primeira campanha, quando a área ainda não estava sendo reabilitada. Este aumento pode estar relacionado com a baixa precipitação registrada no mês da coleta e/ou com alguma outra interferência ocorrida na área. O ferro total obteve seu valor máximo na primeira campanha (141,34 mg/L) e seu valor mínimo na última (9,79 mg/L), com tendência de melhoria. O manganês total variou entre 1,05 e 4,41 mg/L, sendo que houve uma diminuição de seus resultados nas últimas três campanhas, atingindo o menor resultado na última campanha e tendendo a diminuir. A alcalinidade total não foi detectada em nenhuma campanha. A condutividade variou de 1201  $\mu\text{S}/\text{cm}$  na primeira campanha para 497  $\mu\text{S}/\text{cm}$  na última, sendo este o menor resultado atingido e o de maior valor foi na campanha de novembro de 2010 (1898  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ). Sua tendência é diminuir. O oxigênio dissolvido apresentou uma tendência a melhorar, com seus resultados variando entre 3,2 e 7,4 mg/L, havendo um aumento da primeira campanha (3,59 mg/L) para a última (6,6 mg/L).

Neste ponto, foi possível observar que, com exceção do pH, todos os parâmetros obtiveram uma tendência a melhorar, sendo que em alguns deles percebeu-se diferença entre as campanhas antes das obras de reabilitação ambiental. As variações apresentadas pelos parâmetros podem ter sido influenciadas pelo comportamento da pluviometria, mas destacam-se a influência das obras de reabilitação ambiental realizadas no local, finalizadas em junho de 2012; uma vez que nas últimas quatro campanhas os índices pluviométricos se apresentaram abaixo da média, quando comparados há períodos anteriores, e os parâmetros não apresentaram uma piora significativa. Apenas os parâmetros pH e sulfato tiveram seus melhores resultados durante as obras de reabilitação e seus piores valores após as obras. Os demais parâmetros (acidez total, condutividade, oxigênio dissolvido, alumínio total, ferro total e manganês total) alcançaram seus melhores valores após as obras e os piores antes, com exceção da condutividade que obteve seu pior valor durante as obras. Destaca-se que todos os parâmetros apresentaram uma melhora na campanha de julho de 2013, em relação à penúltima campanha (novembro de 2012) e apenas o pH se manteve.

#### **4.3.7 PMC-07**

Este ponto situa-se a montante da Área “C” no rio Mãe Luzia, bem próximo aos limites de uma antiga área de mineração de carvão a céu aberto, em fase de reabilitação ambiental. Este ponto foi adicionado pelo CTCL de modo a analisar a qualidade da água do rio Mãe Luzia antes de receber contribuição dos corpos hídricos da Área “C” e compará-lo ao ponto PMC-08, que corresponde ao rio Mãe Luzia a jusante.

A tabela 13 apresenta os resultados das coletas realizadas entre o primeiro semestre de 2007 e o primeiro semestre de 2013, totalizando 13 campanhas.

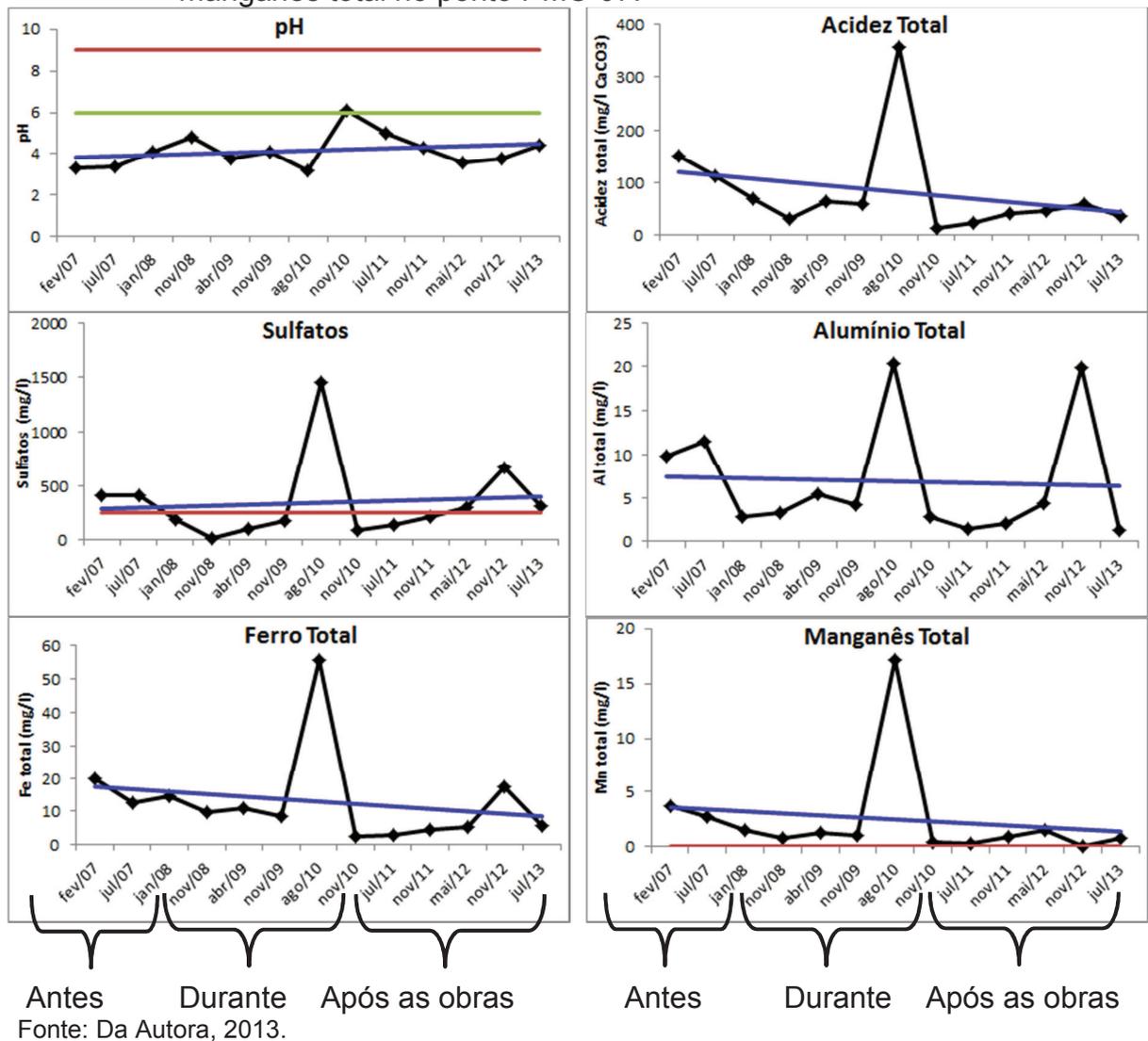
Tabela 13 - Resultados das análises do ponto PMC-07. Fev 2007 / Jul 2013.

Data da coleta	pH	Alcalinidade total (mgCaCO <sub>3</sub> /L)	Acidez total (mgCaCO <sub>3</sub> /L)	Condutividade (µS/cm)	Oxigênio dissolvido (mg/L)	Sulfatos (mg/L)	Alumínio total (mg/L)	Ferro total (mg/L)	Manganês total (mg/L)	Vazão (m <sup>3</sup> /s)	Pluviometria total do mês correspondente (mm/mês)
Fev/07	3,3	n.d	150,5	945,0	7,7	411,2	9,83	19,80	3,72	0	185,4
Jul/07	3,4	n.d	113,3	841,4	7,0	412,7	11,45	12,40	2,77	-	168,8
Jan/08	4,1	n.d	68,6	442,0	6,6	182,0	2,80	14,56	1,57	2,163	269,0
Nov/08	4,8	n.d	30,0	224,0	6,6	15,9	3,20	9,91	0,83	7,299	276,3
Abr/09	3,8	n.d	64,0	426,0	7,9	99,0	5,38	10,81	1,22	2,087	287,8
Nov/09	4,1	n.d	60,2	404,0	4,6	171,3	4,25	8,35	1,00	3,060	189,1
Ago/10	3,2	n.d	357,0	3140,0	6,4	1459,0	20,39	55,47	17,10	1,648	45,0
Nov/10	6,1	n.d	13,1	239,0	2,5	93,9	2,88	2,59	0,41	3,993	283,3
Jul/11	5,0	0	22,7	300,0	8,5	137,8	1,41	2,77	0,25	1,443	177,6
Nov/11	4,3	n.d	40,8	383,0	7,1	212,2	2,03	4,40	0,94	0,989	41,1
Mai/12	3,6	n.d	46,0	624,0	9,1	298,3	4,30	5,38	1,48	0,577	44,3
Nov/12	3,8	n.d	58,0	1070,0	6,3	672,4	19,97	17,59	n.d	0,981	40,3
Jul/13	4,4	n.d	35,4	581,0	8,3	309,6	1,32	5,84	0,77	0,777	68,0
<b>Padrão (1)</b>	6,0 a 9,0	-	-	-	5,0	250	-	-	0,1	-	-

Fonte: Adaptado de CTCL, 2013a.  
(1) Resolução CONAMA n. 357/2005.

A Figura 24 apresenta o comportamento do pH, acidez total, sulfatos, alumínio total, ferro total e manganês total, com suas linhas de tendência, para as 12 campanhas realizadas.

Figura 24 - Tendência do pH, acidez total, sulfatos, alumínio total, ferro total e manganês total no ponto PMC-07.



A partir dos dados constantes na tabela 13 e figura 24 foi possível perceber que o comportamento do pH variou entre 3,2 e 6,1, tendendo a melhorar, com o último resultado (4,4) melhor que o primeiro (3,3). Verificou-se também que apenas uma campanha (novembro de 2010) ficou acima do mínimo desejável pela resolução (6,1), provavelmente relacionado aos índices pluviométricos daquele mês (283,3 mm/mês). Ao longo das campanhas percebe-se que a acidez total tem tendência a redução, variando entre 13,1 e 357,0 mgCaCO<sub>3</sub>/L, sendo que apenas na

campanha de agosto de 2010 obteve um aumento significativo em relação às outras campanhas. O mesmo ocorreu com o sulfato, alumínio total, ferro total, manganês total e condutividade. O sulfato apresentou concentrações entre 15,9 e 1459 mg/L, com tendência a elevação, embora a última campanha (309,6 mg/L) tenha atingido um resultado menor que a primeira (411,2 mg/L). Do total das campanhas analisadas, uma parte se apresentou abaixo do valor máximo considerado pela resolução.

O alumínio total variou entre 1,32 e 20,39 mg/L, com leve tendência a diminuir, porém apresentando duas concentrações acima das demais campanhas. O segundo aumento ocorreu em novembro de 2012, onde o sulfato, ferro total, acidez total e condutividade também apresentaram uma elevação, mas não muito significativa. O ferro total obteve variação entre 2,59 e 55,47 mg/L, com tendência a reduzir. O manganês total não foi detectado na penúltima campanha e alcançou um valor máximo de 17,1 mg/L, com tendência a diminuir, sendo que apenas a campanha em que não foi detectado ficou abaixo do valor máximo permitido pela resolução. A alcalinidade não foi detectada em doze campanhas e em uma apresentou valor igual a 0. A condutividade variou entre 224 e 3140  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , com uma leve tendência a reduzir. O oxigênio dissolvido apresentou uma tendência a melhorar, com seus resultados variando entre 2,5 e 9,1 mg/L, e obteve apenas dois resultados abaixo do valor mínimo desejável pela resolução. Porém, algumas campanhas analisadas apresentaram este parâmetro mais elevado, podendo ter ocorrido algum erro de amostragem ou de análise, uma vez que na campanha em que o pH atingiu melhor resultado, apresentou piora nas concentrações de oxigênio dissolvido.

De forma geral, observa-se um aumento significativo na campanha de agosto de 2010 para a acidez total, sulfatos, alumínio total, ferro total, manganês total e condutividade, permanecendo acima das demais campanhas. Este fato pode estar relacionado aos baixos índices pluviométricos (45 mm/mês) registrados em agosto de 2010, bem como a outros fatores aqui desconhecidos, uma vez que nas quatro últimas campanhas a pluviometria se apresentou abaixo da média.

Assim, é possível observar que o rio Mãe Luzia já apresenta uma qualidade de água ruim a montante da Área "C", onde recebe contribuição de outras áreas impactadas pela mineração de carvão, mas com a maioria de seus parâmetros

tendendo a melhorar, sendo que seu comportamento influencia nos resultados obtidos no ponto PMC-08.

#### **4.3.8 PMC-08**

Por fim, o ponto PMC-08 se localiza a jusante da Área “C”, no Rio Mãe Luzia. A tabela 14 apresenta os resultados das coletas realizadas entre o primeiro semestre de 2007 e o primeiro semestre de 2013, totalizando 13 campanhas.

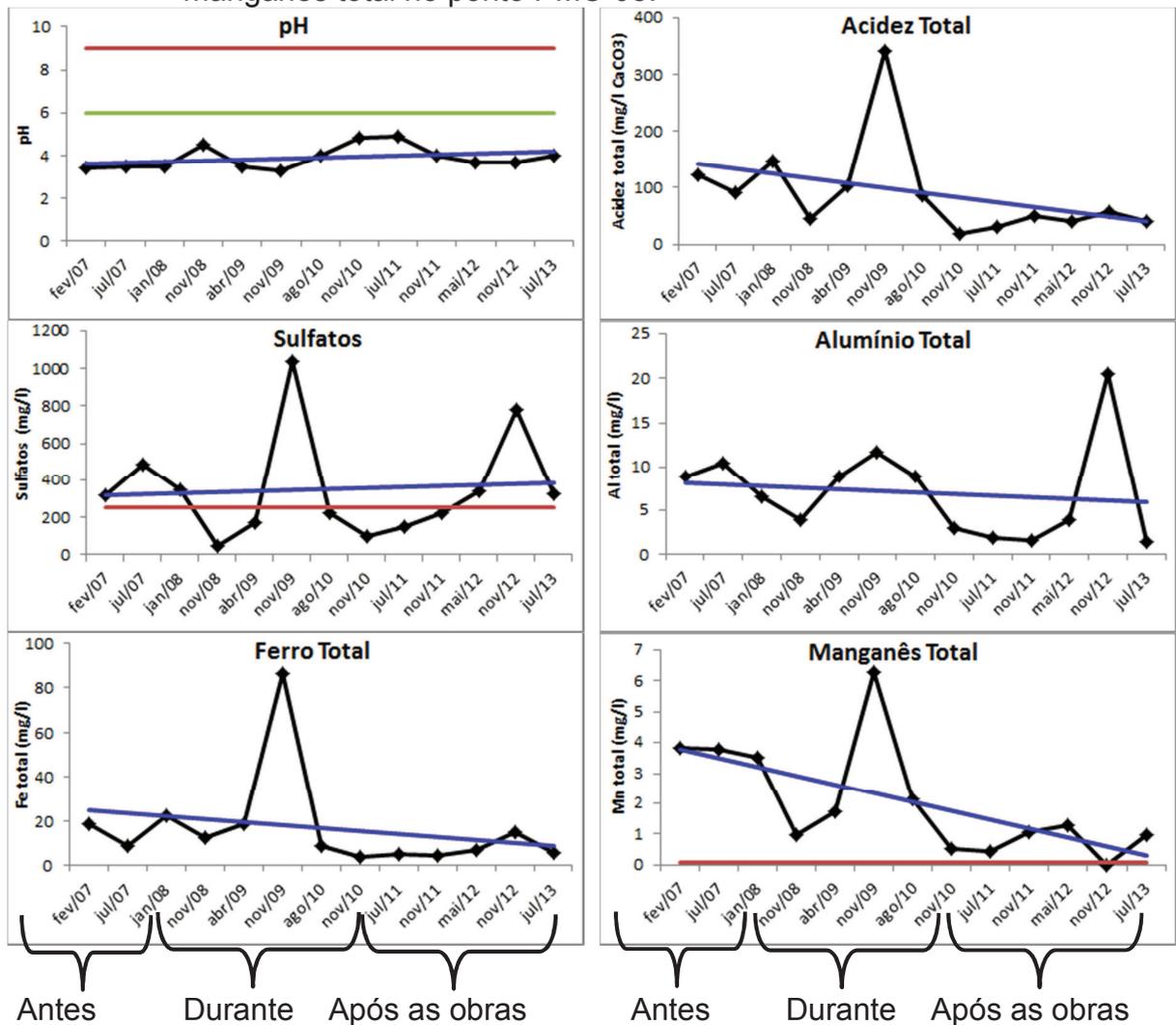
Tabela 14 - Resultados das análises do ponto PMC-08. Fev 2007 / Jul 2013.

Data da coleta	pH	Alcalinidade total (mgCaCO <sub>3</sub> /L)	Acidez total (mgCaCO <sub>3</sub> /L)	Condutividade (µS/cm)	Oxigênio dissolvido (mg/L)	Sulfatos (mg/L)	Alumínio total (mg/L)	Ferro total (mg/L)	Manganês total (mg/L)	Vazão (m <sup>3</sup> /s)	Pluviometria total do mês correspondente (mm/mês)
Fev/07	3,4	n.d	121,9	978,2	7,3	318,4	8,85	18,46	3,81	0	185,4
Jul/07	3,5	n.d	92,7	795,3	9,6	488,2	10,37	8,96	3,80	0	168,8
Jan/08	3,5	n.d	147,9	8245,0	6,0	348,6	6,54	22,20	3,52	3,362	269,0
Nov/08	4,5	n.d	46,2	268,0	7,0	46,6	3,86	12,40	0,96	5,964	276,3
Abr/09	3,5	n.d	104,6	592,0	8,1	170,0	8,94	18,77	1,72	1,567	287,8
Nov/09	3,3	n.d	341,7	1907,0	5,3	1033,0	11,73	86,38	6,27	3,345	189,1
Ago/10	4,0	n.d	86,7	677,0	6,3	221,7	8,83	9,04	2,13	1,395	45,0
Nov/10	4,8	n.d	19,6	261,0	1,4	98,0	3,00	3,92	0,51	4,184	283,3
Jul/11	4,9	0	29,9	312,0	8,7	147,4	1,84	5,22	0,44	4,884	177,6
Nov/11	4,0	n.d	51,0	419,0	6,1	225,7	1,62	4,20	1,06	1,065	41,1
Mai/12	3,7	n.d	40,2	824,0	9,3	340,9	3,94	6,77	1,30	0,653	44,3
Nov/12	3,7	n.d	58,0	1026,0	5,9	780,8	20,54	14,80	n.d	0,029	40,3
Jul/13	4,0	n.d	41,3	621,0	8,0	322,4	1,38	5,44	0,97	0,792	68,0
<b>Padrão (1)</b>	6,0 a 9,0	-	-	-	5,0	250	-	-	0,1	-	-

Fonte: Adaptado de CTCL, 2013a.  
 (1) Resolução CONAMA n. 357/2005.

A Figura 25 apresenta o comportamento do pH, acidez total, sulfatos, alumínio total, ferro total e manganês total, com suas linhas de tendência, para as 13 campanhas realizadas.

Figura 25 - Tendência do pH, acidez total, sulfatos, alumínio total, ferro total e manganês total no ponto PMC-08.



Fonte: Da Autora, 2013.

Com a visualização da tabela 14 e dos gráficos da figura 25 observou-se que o pH variou entre 3,3 e 4,9, com todos os resultados abaixo do valor mínimo desejável pela resolução, mas com uma tendência a aumentar. A acidez total obteve seus resultados entre 19,6 e 341,7 mgCaCO<sub>3</sub>/L, com tendência a diminuir. O valor máximo alcançando na campanha de novembro de 2009 se apresentou bem acima dos resultados das demais campanhas, o que ocorreu também com o sulfato, ferro total e manganês total. O sulfato variou entre 46,6 e 1033 mg/L e apresentou uma

tendência a aumentar. Alguns resultados ficaram abaixo do valor máximo permitido pela resolução.

O alumínio total atingiu um valor mínimo de 1,38 mg/L e um valor máximo de 20,54 mg/L, sendo este último bem acima dos demais e foi obtido na campanha de novembro de 2012. Entretanto, a última campanha (1,38 mg/L) apresentou um valor menor que a primeira (8,85 mg/L), tendendo a diminuir. O ferro total apresentou uma tendência a diminuir, com o último resultado (5,44 mg/L) menor que o primeiro (18,46 mg/L). Seus valores variaram entre 3,92 e 86,38 mg/L, com o valor máximo bem acima dos demais. O manganês total não foi detectado na penúltima campanha e atingiu um valor máximo de 6,27 mg/L, tendendo a melhorar, com uma diminuição da primeira (3,81 mg/L) para a última campanha (0,97 mg/L). A alcalinidade não foi detectada em doze campanhas e obteve resultado igual a zero em uma campanha. A condutividade variou entre 261 e 8245  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , com tendência a diminuir. Observou-se que houve uma variação muito significativa na campanha de janeiro de 2008, onde o resultado apresentou-se muito acima dos demais. O oxigênio dissolvido possui uma leve tendência a diminuir, com seus resultados variando entre 1,4 e 9,6 mg/L. Entretanto, apenas um resultado apresentou-se abaixo do valor mínimo desejável pela resolução e, em algumas campanhas pode ter ocorrido erro de coleta ou análise em razão dos valores de pH e metais terem se apresentado ruins. O mesmo pode ter ocorrido com a condutividade na campanha de janeiro de 2008.

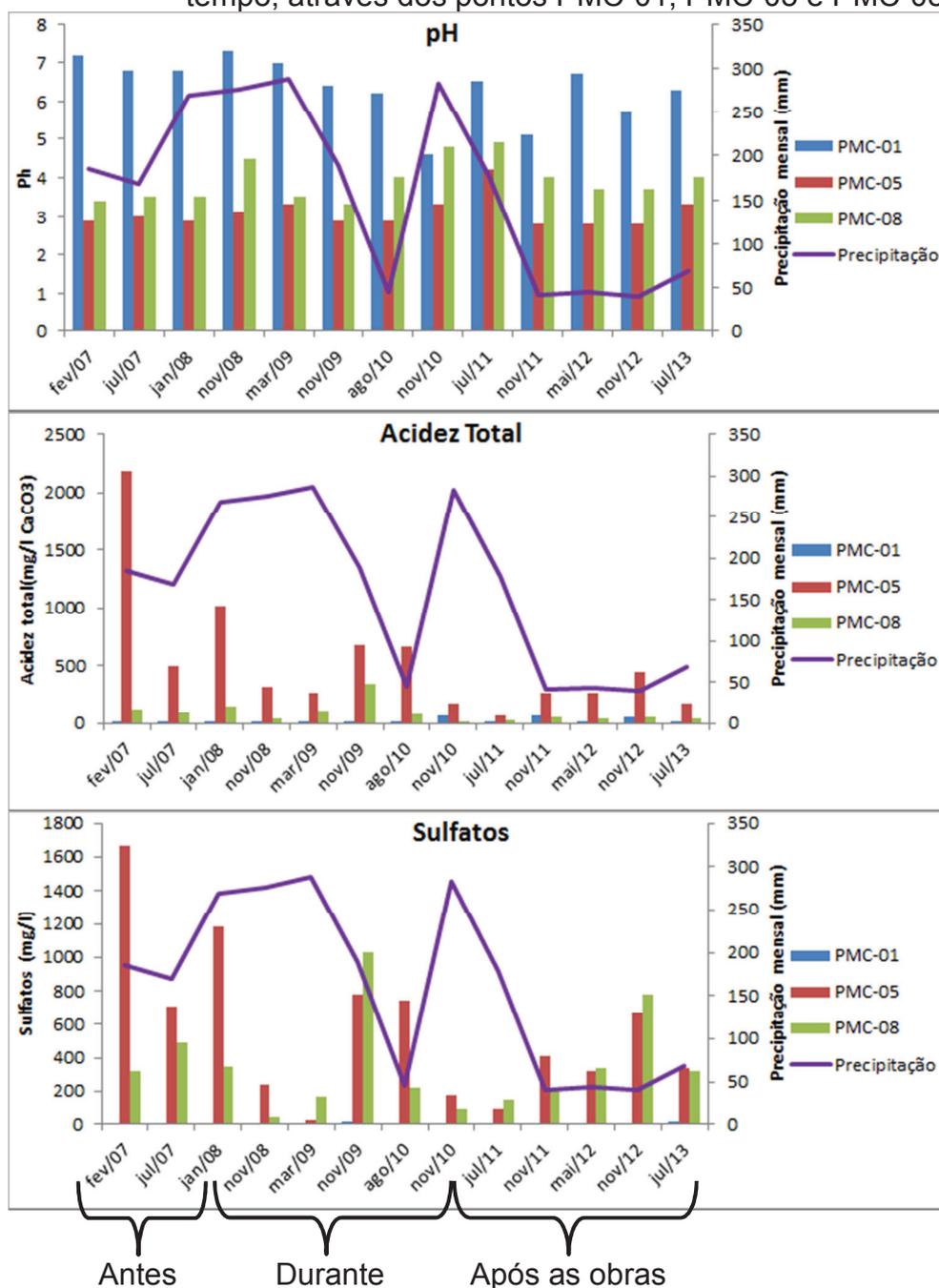
Neste ponto, apenas o pH, o alumínio total e o manganês total atingiram seus melhores resultados depois do término das obras de reabilitação ambiental. Durante as obras, a acidez total, a condutividade, o sulfato e o ferro total obtiveram seus melhores resultados. O oxigênio dissolvido atingiu seu melhor resultado antes das obras.

Apesar do exposto acima, observou-se que, com exceção do sulfato e oxigênio dissolvido, todos os resultados apresentaram uma tendência a melhorar, sendo que apenas o sulfato obteve um resultado maior na última campanha em relação à primeira. Comparando-se os resultados das campanhas com os valores mensais de precipitação, não se obteve uma relação muito direta da influência da precipitação com os resultados. Assim, notou-se que a qualidade do rio depende de outros fatores, como a interferência da área "C" sob o curso hídrico, além de outras áreas situadas a montante.

### 4.3.9 Análise Integrada

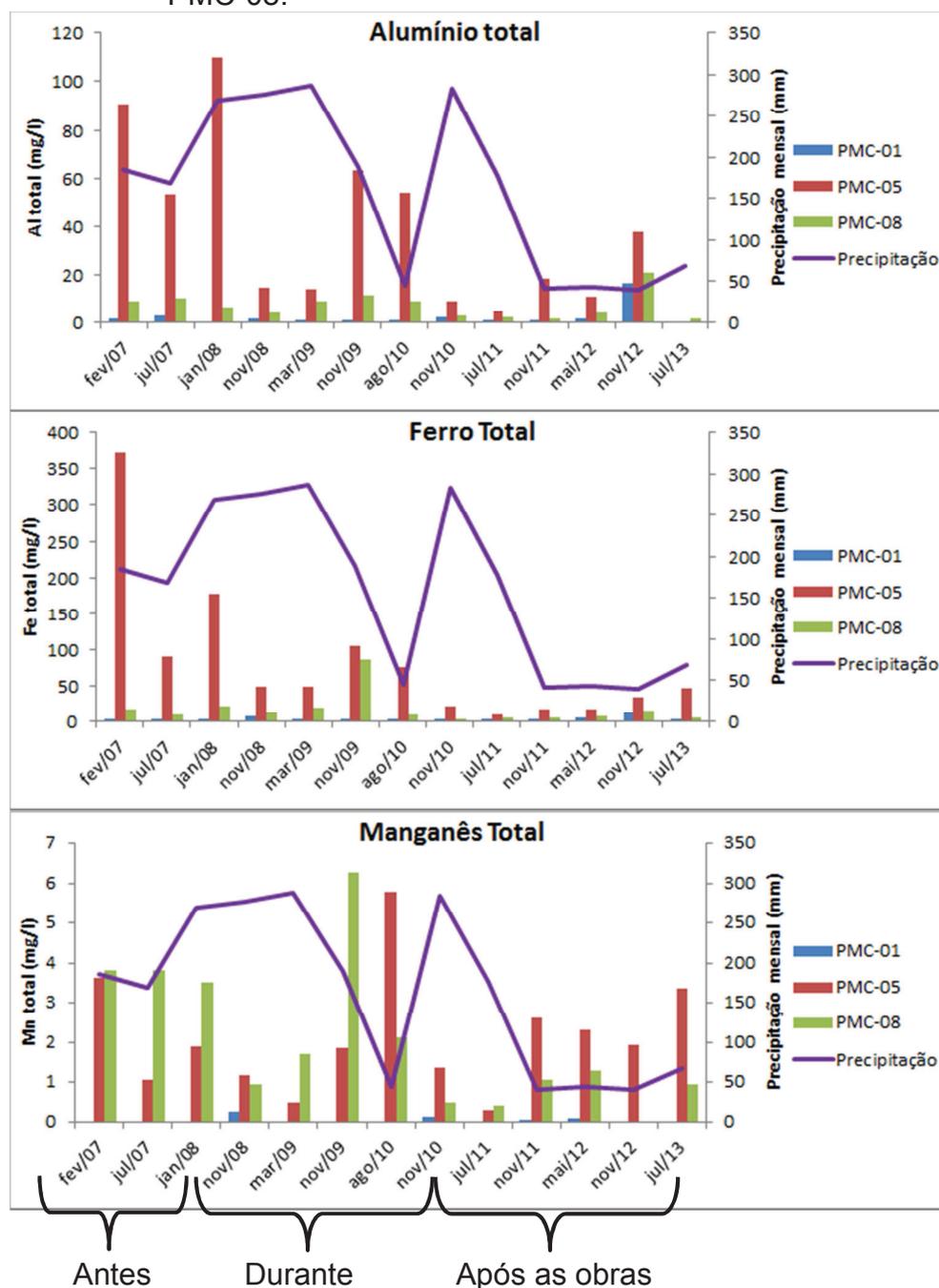
A Figura 26 apresenta o comportamento do pH, acidez total e sulfatos, com suas linhas de tendência e índice pluviométrico total mensal; enquanto que a figura 27 ilustra o comportamento do alumínio total, ferro total e manganês total com suas linhas de tendência e índice pluviométrico total mensal para a primeira situação.

Figura 26 - Comportamento do pH, acidez total e sulfatos, ao longo do tempo, através dos pontos PMC-01, PMC-05 e PMC-08.



Fonte: Da autora, 2013.

Figura 27 - Comportamento do alumínio total, ferro total e manganês total, ao longo do tempo, através dos pontos PMC-01, PMC-05 e PMC-08.



Fonte: Da autora, 2013.

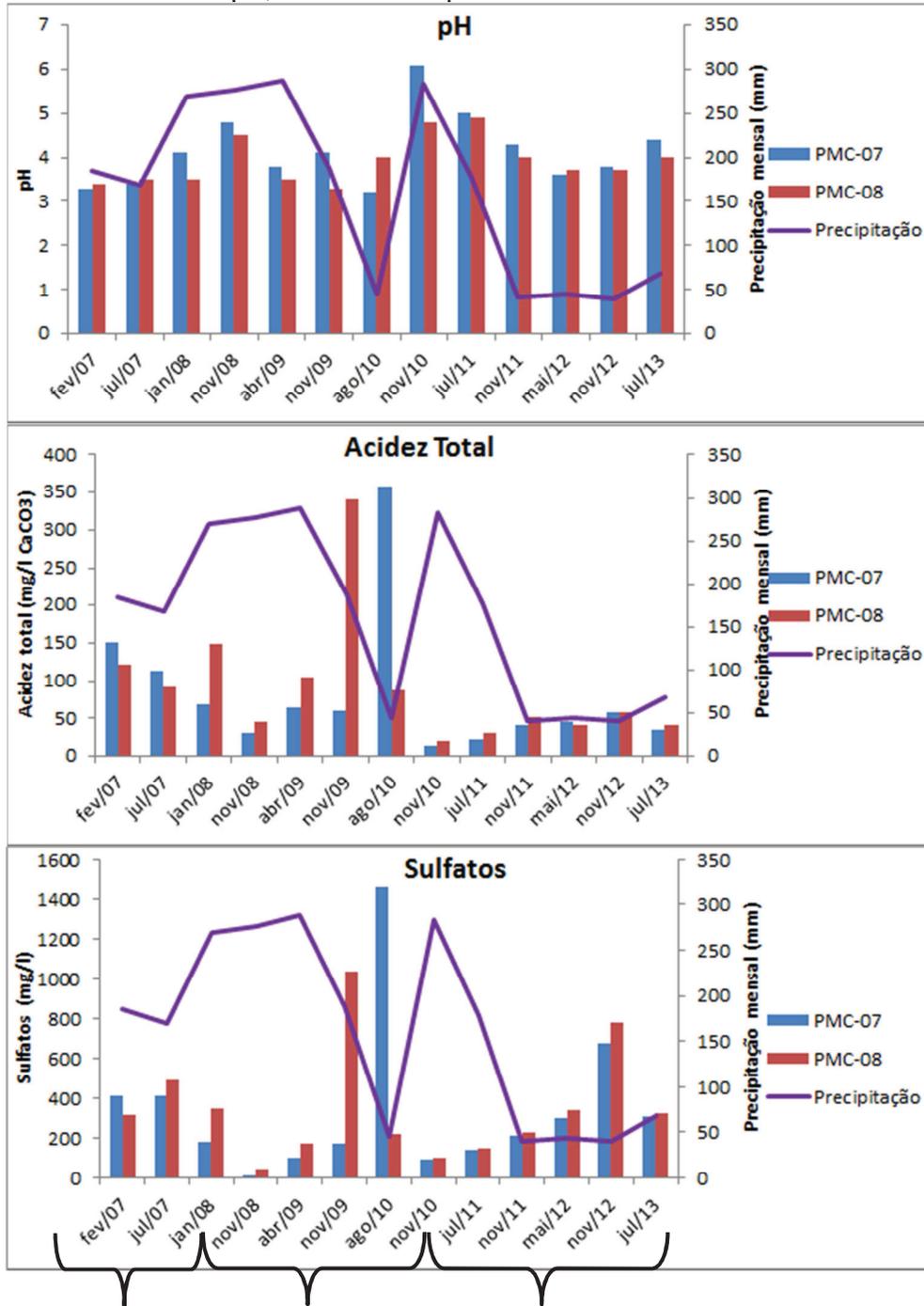
A partir da análise das figuras 26 e 27 foi possível verificar que o pH no corpo hídrico, o qual possuía valores considerados bons no ponto PMC-01, apresentou uma piora quando alcançou o ponto PMC-05 e então obteve uma pequena melhora ao chegar ao rio Mãe Luzia (PMC-08). Este comportamento pode ter acontecido em razão de que no ponto PMC-05 o curso d'água é de baixa drenagem e, ao encontrar o rio Mãe Luzia, sofre uma diluição. Além disso, o rio Mãe

Luzia já apresentava valores maiores de pH à montante do ponto PMC-08. Da mesma forma para a acidez total, que se apresentou maior em todas as campanhas no ponto PMC-05, mas que já está apresentando valores menores em relação às primeiras campanhas. O sulfato, que não foi detectado em oito campanhas no ponto PMC-01, foi detectado em todas as campanhas dos pontos PMC-05 e PMC-08, com resultados elevados, também tendendo a diminuir nas últimas campanhas. Desta vez, em algumas campanhas o ponto PMC-08 superou o ponto PMC-05.

Foi perceptível também o aumento na concentração do alumínio total, que no primeiro ponto não foi detectado em duas campanhas e apresentava valores baixos, aumentando principalmente no ponto PMC-05, e sofrendo uma diluição no último ponto (PMC-08). Na última campanha, apenas no último ponto foi detectado presença de alumínio. O que se destacou foi a diminuição que vem sofrendo a concentração no ponto PMC-05 para este elemento. O ferro total também apresentou o mesmo comportamento, com elevação do PMC-01 ao PMC-05, reduzindo as concentrações no PMC-08. O manganês total, que não foi detectado em nove campanhas no ponto PMC-01, apresentou resultados variados nos pontos seguintes, sendo que nas últimas quatro campanhas a concentração maior foi obtida no ponto PMC-05. Analisando-se os dados pluviométricos, percebeu-se que os resultados dos parâmetros não possuem uma relação direta com as chuvas, o que se verifica que as características do corpo hídrico dependem da influência da área e, por isso, não seguem a mesma variação do regime de chuvas.

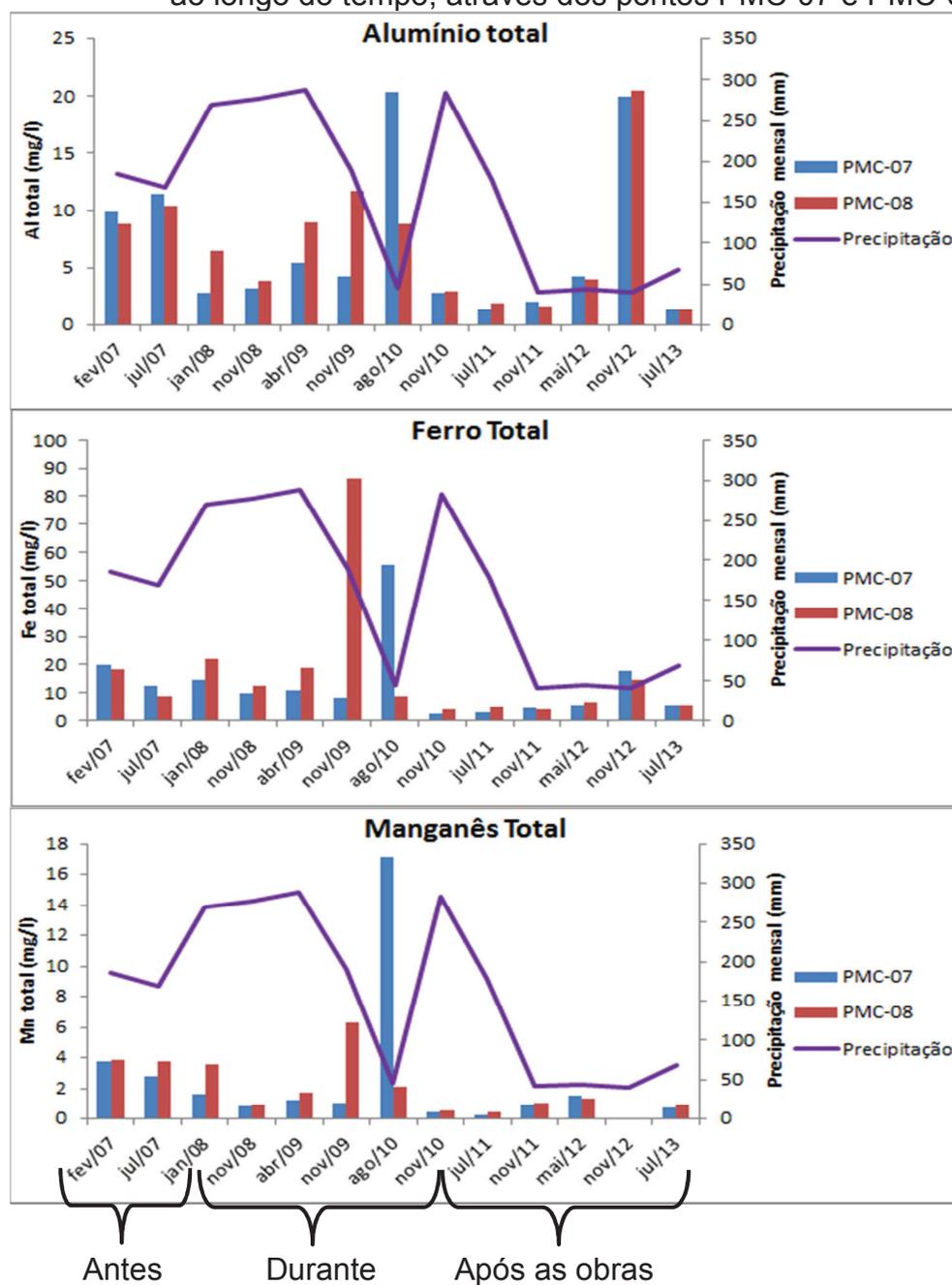
Na segunda situação, a Figura 28 mostra o comportamento do pH, acidez total e sulfatos, com suas linhas de tendência e pluviometria total mensal; enquanto que a Figura 29 apresenta as concentrações de alumínio, ferro e manganês total com suas linhas de tendência e pluviometria total mensal.

Figura 28 - Comportamento do pH, acidez total e sulfatos, ao longo do tempo, através dos pontos PMC-07 e PMC-08.



Antes Durante Após as obras  
 Fonte: Da autora, 2013.

Figura 29 - Comportamento do alumínio total, ferro total e manganês total, ao longo do tempo, através dos pontos PMC-07 e PMC-08.



Fonte: Da autora, 2013.

Analisando-se as figuras 28 e 29 observou-se que, para os parâmetros avaliados, os resultados se apresentam bem próximos entre os dois pontos amostrados. Em algumas campanhas o ponto a montante se apresentou com características piores e em outras, o ponto a jusante demonstrou esse comportamento. Com esta comparação foi possível visualizar que o rio Mãe Luzia já apresentava uma qualidade de água ruim antes de receber as águas de influência da Área "C" e, ao passar pela área, sofreu uma interferência, porém não muito

significativa. Apenas em algumas campanhas e alguns parâmetros foram atingidos valores mais altos que o habitual.

Foi possível observar também que nas últimas cinco campanhas, correspondentes ao período após as obras de reabilitação ambiental, as diferenças entre o ponto a montante e a jusante foram menores em relação às diferenças nas campanhas anteriores, o que pode ser um indicativo de que as obras já estão apresentando uma influência positiva na qualidade da água do rio Mãe Luzia.

## 5 CONCLUSÃO

As atividades de mineração de carvão no sul de Santa Catarina têm proporcionado severos impactos ambientais que vem se estendendo durante muitos anos, principalmente no que se refere à qualidade dos recursos hídricos superficiais. Estes são responsáveis pelo transporte da carga poluidora pelos cursos d'água, afetando áreas adjacentes.

Com este cenário, a Ação Civil Pública, instaurada em meados de 2000, vem se mostrando um importante instrumento de atuação do Ministério Público Federal para fiscalização do cumprimento do cronograma de reabilitação ambiental proposto nos projetos de recuperação ambiental, em atendimento aos critérios técnicos estabelecidos pelo GTA. O Plano de Monitoramento Ambiental apresentado nos PRADs é um dispositivo eficaz para avaliar a eficiência das ações de reabilitação ambiental, além de gerar um banco de dados que subsidiam a evolução da qualidade ambiental durante todo o processo.

Dessa maneira, esse estudo propôs avaliar a evolução da qualidade dos recursos hídricos superficiais em três áreas impactadas pela mineração de carvão no sul de Santa Catarina e a sua relação com as obras de reabilitação ambiental. O período amostral considerou campanhas semestrais de 2007 a 2013, analisando parâmetros físicos e químicos.

A Área "A" representa uma área de passivo ambiental a céu aberto, considerando a não intervenção de ações de reabilitação ambiental. Nesta área foram analisados os resultados em três pontos amostrais localizados no rio Palmeira, sendo um ponto branco, um ponto intermediário entre duas áreas de mineração e um ponto a jusante da referida área. De forma geral, os resultados analíticos avaliados no ponto branco (PMA-01) representaram a qualidade do curso d'água de classe 2 sem interferência da mineração de carvão, enquanto os outros dois pontos evidenciaram ao longo da análise temporal parâmetros indicadores da mineração, sendo que a maioria deles apontaram leve tendência a piorar. Evidentemente, foi possível perceber na análise integrada a piora na qualidade da água ao longo das campanhas nos pontos analisados à medida que o rio Palmeira recebe contribuição de áreas a montante da Área "A" e da própria Área "A".

Ademais, os resultados não apresentaram uma variação direta em relação ao índice pluviométrico.

Na Área “B” foi analisado um ponto amostral localizado em um corpo hídrico a jusante da área onde, das doze campanhas realizadas, nove representaram a qualidade da água antes das obras de intervenção, uma apresentou-se sem drenagem e as duas últimas corresponderam ao período de realização das obras de reabilitação ambiental que ainda estão sendo implantadas. Nas nove primeiras campanhas, antes do início das obras, observou-se que os resultados não se relacionaram diretamente com os índices pluviométricos, sugerindo que o comportamento da área impactada sem intervenções influenciou na qualidade da água do corpo hídrico. Quando se analisou as duas últimas campanhas, após o início das obras, foi possível perceber que a qualidade da água apresentou uma melhora em todos os parâmetros, especialmente na última campanha, o que pode ser um reflexo das obras que estão ocorrendo. O aumento do índice pluviométrico à época pode ter contribuído para esta evolução. Entretanto, ainda se faz essencial aguardar o término das obras e a continuidade do plano de monitoramento para avaliar de maneira mais abrangente se as obras de reabilitação ambiental contribuirão para a qualidade do corpo hídrico.

A Área “C” foi a que apresentou resultados antes (três campanhas), durante (cinco campanhas) e após (cinco campanhas) a implantação das obras de recuperação, com uma malha amostral composta por oito pontos, sendo dois deles localizados a montante da área (ponto branco e no rio Mãe Luzia), um em uma lagoa e os demais em corpos hídricos afluentes do rio Mãe Luzia que recebem drenagem ácida da área em estudo. O ponto localizado na lagoa (PMC-04) foi o único em que a maioria dos parâmetros (cinco) apresentou tendência a piorar, apesar de apenas quatro parâmetros melhorarem na última campanha em relação à primeira. Destacou-se também o ponto branco (PMC-01), onde o corpo hídrico se localiza a montante da área impactada e apresentou piora na maioria dos parâmetros (seis), embora seus parâmetros tenham apresentado resultados considerados bons; e o rio Mãe Luzia a montante que já apresenta uma qualidade de água ruim antes de alcançar a Área “C”. Os demais apresentaram tendência a melhorar na maioria dos parâmetros analisados, mesmo com os índices pluviométricos terem se apresentado baixos nas últimas quatro campanhas. Ademais, a maioria dos parâmetros nos pontos apresentou uma melhora na última campanha, quando comparada à

penúltima. Deste modo, é possível perceber que as ações de reabilitação que foram implantadas na área já estão demonstrando uma influência positiva sobre a mesma, porém ainda são muito recentes estas ações e, portanto, se faz necessário aguardar um período maior de monitoramento para se ter maior confiabilidade na avaliação da eficiência das obras.

Na análise integrada foi possível perceber que o curso d'água de baixa drenagem no PMC-05, o qual apresentou uma qualidade ruim em relação ao ponto branco, sofre uma diluição ao desaguar no rio Mãe Luzia (PMC-08). Na segunda análise integrada foi possível visualizar que o rio Mãe Luzia apresentou valores bem próximos a montante e a jusante da área, com uma qualidade de água ruim, mas com tendência de melhoria. Ao passar pela área, o rio sofreu interferência, porém não muito significativa. Em algumas campanhas o ponto a montante se apresentou com características piores e em outras, o ponto a jusante demonstrou esse comportamento.

Diante do exposto, foi possível perceber que, apesar de recente as obras de reabilitação ambiental, já é visível a melhora na qualidade da água na Área "B", onde as obras ainda estão sendo realizadas e na Área "C", onde as obras já foram implantadas. Entretanto, é necessário aguardar maior período de amostragem para se avaliar de fato se as obras de reabilitação foram eficientes ou não para a melhora do curso d'água.

Sugere-se a adição de pelo menos um ponto de monitoramento de água superficial a montante da Área "B" de modo a obter um resultado mais satisfatório, uma vez que será possível analisar o comportamento do corpo hídrico antes de atravessar a área, além da possibilidade de avaliar o quanto o corpo hídrico melhorou ou não.

Em razão da divergência de alguns parâmetros, por exemplo, o oxigênio dissolvido quando comparado a alguns metais em algumas campanhas, sugere-se a criação de um procedimento amostral para a realização da amostragem e análises laboratoriais, de modo obter uma maior confiabilidade nos resultados apresentados.

Sugere-se também uma revisão dos indicadores ambientais selecionados pelo GTA para a realização do monitoramento das águas superficiais. Essa revisão se faz essencial, pois alguns parâmetros, como o ferro e o alumínio total, não possuem um parâmetro de qualidade estabelecido pela resolução. É necessário que

os indicadores possuam parâmetros para comprovação, por meio de atendimento legal, da efetiva recuperação ambiental das áreas.

Ressalta-se que na região, nenhuma área foi atestada como recuperada, uma vez que é necessário aguardar os corpos hídricos apresentarem características químicas saudáveis, comprovadamente, para ser emitido o laudo atestando a reabilitação da área pelo órgão ambiental fiscalizador. Em casos de ineficiência das obras, serão solicitadas novas intervenções para que sejam alcançados resultados mais satisfatórios. Enquanto isso, as áreas encontram-se na categoria de áreas com medidas de recuperação implantadas.

## REFERÊNCIAS

ALBA, J.M.F. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Recuperação de áreas mineradas**. 2. ed. rev. Brasília, DF: EMBRAPA Informação Tecnológica, 2010. 326 p.

ALBA, J.M.F. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Recuperação de áreas mineradas: a visão dos especialistas brasileiros**. 2. ed. rev. Brasília, DF: EMBRAPA Informação Tecnológica, 2007. 326 p.

ALEXANDRE, N.Z. **Indicadores de qualidade das águas de abastecimento, residuais e receptoras: parâmetros físicos, químicos e bacteriológicos**. 8ª revisão. 2011.

ALEXANDRE, N.Z. Diagnóstico ambiental da Região Carbonífera de Santa Catarina: Degradação dos recursos hídricos naturais. **Revista de Tecnologia e Ambiente**. Universidade do Extremo Sul Catarinense, FUCRI/UNESC. Criciúma, v. 5, n. 2, p. 35-50, julho/dezembro, 1999.

ALEXANDRE, N.Z.; KREBS, A.S.J. **Qualidade das águas superficiais do município de Criciúma, SC**. Porto Alegre: CPRM, 1995. 73 p. (Recursos hídricos V. 6).

ASSOCIAÇÃO BENEFICENTE DA INDÚSTRIA CARBONÍFERA DE SANTA CATARINA - SATC. **Mapa de localização Unidade Mineira IV**. Treviso. 2013. 1 mapa. Escala 1:15.000.

BARBOSA, L.A.D.; ALCOVER NETO, A.; SOBRAL, L.G.S. Caracterização Tecnológica de rejeitos da indústria carbonífera visando seu aproveitamento sustentado. CT 2002-046-00. Contribuição Técnica ao XIX ENTMME. In: ENCONTRO NACIONAL DE TRATAMENTO DE MINÉRIOS E METALURGIA EXTRATIVA, 20., 2002, Recife. **Anais...** Recife, PE, 2002. 9 p. Disponível em: <<http://www.cetem.gov.br/publicacao/CTs/CT2002-046-00.pdf>>. Acesso em: 20 set. 2013.

BELOLLI, M.; QUADROS, J.; GUIDI, A. **História do carvão de Santa Catarina**. Criciúma: Imprensa Oficial do Estado de Santa Catarina, 2002. 300 p.

BORMA, L.S. et al. **Utilização de cinza no contexto da reabilitação de áreas de mineração de carvão**. Rio de Janeiro: CETEM, 2003. Disponível em: <<http://www.cetem.gov.br/publicacao/CTs/CT2003-025-00.pdf>>. Acesso em: 20 ago. 2013.

BORMA, L.S.; SOARES, P.S.M. Drenagem ácida e gestão de resíduos sólidos de mineração. In: TRINDADE, R.B.E.; BARBOSA FILHO, O. **Extração de ouro: princípios, tecnologia e meio ambiente**. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2002. 344 p. cap. 10.

BRAGA, B. et al. **Introdução à engenharia ambiental**. 8.ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2005. 318 p.

CENTRO DE TECNOLOGIA MINERAL. **Projeto conceitual para recuperação ambiental da Bacia Carbonífera Sul Catarinense**. v. 1, rev. 1. 2001. RT 33/2000. Relatório Técnico elaborado para o Siecesc. Disponível em: <[http://www.siecesc.com.br/meio\\_ambiente/volume\\_001.pdf](http://www.siecesc.com.br/meio_ambiente/volume_001.pdf)>. Acesso em: 22 jul. 2013.

CENTRO TECNOLÓGICO DE CARVÃO LIMPO. **12º Relatório de monitoramento ambiental da Carbonífera Criciúma S.A**: Unidade Mineira IV – Volta Redonda. Criciúma, SC, 2013a.

CENTRO TECNOLÓGICO DE CARVÃO LIMPO. **12º Relatório de monitoramento ambiental da Carbonífera Criciúma S.A**: Unidade Mineira VI – Santa Rosa. Criciúma, SC, 2013b.

CONSELHO ESTADUAL DE RECURSOS HÍDRICOS. Resolução nº 003, de 10 de agosto de 2007. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água de Santa Catarina e dá outras providências. **D.O.E.**, Florianópolis, SC, 10 ago. 2007. Disponível em: <[http://www.aguas.sc.gov.br/sirhsc/conteudo\\_visualizar\\_dinamico.jsp?idEmpresa=6&idMenu=636&idMenuPai=38](http://www.aguas.sc.gov.br/sirhsc/conteudo_visualizar_dinamico.jsp?idEmpresa=6&idMenu=636&idMenuPai=38)>. Acesso em: 27 nov. 2013.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Resolução nº 430, de 13 de maio de 2011. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução no 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA. **D.O.U.**, Brasília, DF, 16 maio. 2011. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=646>>. Acesso em: 14 ago. 2013.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Resolução nº 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. **D.O.U.**, Brasília, DF, 18 mar. 2005. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf>>. Acesso em: 04 ago. 2013.

FUNDAÇÃO DO MEIO AMBIENTE DE SANTA CATARINA. **Relevância de parâmetros de qualidade das águas aplicadas à águas correntes**. Companhia das Letras: FATMA, 1999. 103 p.

GALATTO, Sérgio Luciano. **Avaliação da eficiência de coberturas secas sobre rejeito de carvão visando a prevenção da drenagem ácida de mina**. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) - Universidade do Extremo Sul Catarinense, Santa Catarina, 2006. 126 p.

GEOLÓGICA ENGENHARIA E MEIO AMBIENTE LTDA. **Plano de Recuperação de áreas degradadas pela mineração Carbonífera Criciúma SA**: setor Volta Redonda - UM IV. Criciúma, SC, [2006]. 99 p.

GEOVITA ENGENHARIA E MEIO AMBIENTE LTDA. **Mapa ortofoto sub-bacias rio Salame / Palmeiras**. Lauro Müller. 2006. 1 mapa. Escala 1:7.500.

GEOVITA ENGENHARIA E MEIO AMBIENTE LTDA. **Plano de recuperação de área degradada: Área 15. Carbonífera Criciúma – DNPM 014.929/1936 - Mina Santa Rosa - Unidade Mineira VI**. Criciúma, SC, 2010. 90 p. 3 v.

GEOVITA ENGENHARIA E MEIO AMBIENTE LTDA. **Plano de recuperação de área degradada: Relatório preliminar. Carbonífera Criciúma - Mina Santa Rosa - Unidade Mineira VI**. v. 1. Criciúma, SC, [2007]. 177 p.

GOMES, J.B.G. et al. Projeto de recuperação ambiental da bacia carbonífera de Santa Catarina. In: SOARES, P.S.M.; SANTOS, M.D.C.; POSSA, M.V. **Carvão Brasileiro: tecnologia e meio ambiente**. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2008. 300 p.

JUSTIÇA FEDERAL DE SANTA CATARINA. **Acordos de Recuperação – Acordo Criciúma**. 2009. Não paginado. Disponível em: <[https://www.jfsc.jus.br/acpdocarvao/portal/conteudo\\_portal/conteudo.php?cat=39](https://www.jfsc.jus.br/acpdocarvao/portal/conteudo_portal/conteudo.php?cat=39)>. Acesso em: 03 ago. 2013.

\_\_\_\_\_. **Compreendendo a ACP do carvão**. S.d. Não paginada. Disponível em: <[https://www.jfsc.jus.br/acpdocarvao/portal/conteudo\\_portal/conteudo.php?cat=111](https://www.jfsc.jus.br/acpdocarvao/portal/conteudo_portal/conteudo.php?cat=111)>. Acesso em: 25 ago. 2013a.

\_\_\_\_\_. **Critérios técnicos de recuperação – Revisão 06**. 2013. Não paginado. Disponível em: <[https://www.jfsc.jus.br/acpdocarvao/portal/conteudo\\_portal/conteudo.php?cat=220](https://www.jfsc.jus.br/acpdocarvao/portal/conteudo_portal/conteudo.php?cat=220)>. Acesso em: 03 ago. 2013b.

\_\_\_\_\_. **Histórico da Ação Civil Pública**. 2012. Disponível em:  
<[https://www.jfsc.jus.br/acpdocarvao/portal/conteudo\\_portal/conteudo.php?cat=35](https://www.jfsc.jus.br/acpdocarvao/portal/conteudo_portal/conteudo.php?cat=35)>.  
Acesso em: 15 set. 2013.

\_\_\_\_\_. **Histórico da Mineração de Carvão na região**. S.d. Não paginado.  
Disponível em:  
<[https://www.jfsc.jus.br/acpdocarvao/portal/conteudo\\_portal/conteudo.php?cat=36](https://www.jfsc.jus.br/acpdocarvao/portal/conteudo_portal/conteudo.php?cat=36)>.  
Acesso em: 20 set. 2013c.

\_\_\_\_\_. **Terceiro relatório de monitoramento dos indicadores ambientais ACP nº 2000.72.04.002543-9/SC**: Plano de monitoramento dos indicadores ambientais. [2009]. Não paginado. Disponível em:  
<[https://www.jfsc.jus.br/acpdocarvao/Rel\\_3\\_2009\\_ind\\_amb\\_plano\\_monit.htm](https://www.jfsc.jus.br/acpdocarvao/Rel_3_2009_ind_amb_plano_monit.htm)>.  
Acesso em: 30 ago. 2013.

KREBS, A.S.J.; POSSA, M.V. O papel da hidrogeologia como instrumento de gestão ambiental na mineração de carvão. In: SOARES, P.S.M.; SANTOS, M.D.C.; POSSA, M.V. **Carvão Brasileiro: tecnologia e meio ambiente**. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2008. 300 p.

MACÊDO, J.A.B. de. **Águas & Águas**. 2. ed. atual. e rev. São Paulo: Varela, 2004. 977 p.

MACÊDO, J.A.B. de. **Introdução à química ambiental: química & meio ambiente & sociedade**. Juiz de Fora, MG: Jorge Macêdo, 2002. 487 p.

\_\_\_\_\_. **Introdução à química ambiental: química & meio ambiente & sociedade**. Juiz de Fora, MG: Jorge Macêdo, 2002. 487 p.

MACHADO, J.L.F.; PERUFFO, N.; LIMA, J.E.S. Programa Nacional de prospecção para carvão, linhito e turfa: Projeto estudo da vulnerabilidade à contaminação dos mananciais subterrâneos decorrente da extração do carvão mineral. Ministério das Minas e Energia - Departamento Nacional da Produção Mineral - Convênio DNPM/CPRM. 1984. **Relatório Final da Fase I**. Texto. v.1. cap. 8, p. 67-77.

MILIOLI, G.; SANTOS, R.; CITADINI-ZANETTE, V. **Mineração de carvão, meio ambiente e desenvolvimento sustentável no sul de Santa Catarina: Uma abordagem interdisciplinar**. Curitiba: Juruá, 2009. 315 p.

ORTIZ, L.; TEIXEIRA, E.C. Influência das atividades de processamento do carvão sobre a qualidade dos recursos hídricos superficiais. In: TEIXEIRA, E.C., PIRES,

M.J.R. **Meio ambiente e carvão: impactos da exploração e utilização**. Porto Alegre: FINEP/CAPES/PADCT/GTM/PUCRS/UFSC/FEPAM, 2002.498 p.

PRADO, F.P. et al. **Determinação da taxa de oxidação intrínseca da pirita em rejeitos de carvão**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CARVÃO MINERAL, 03, 2011. Gramado. **Anais...** Gramado, RS: [s.n.], 2011. Disponível em: <[http://www.ufrgs.br/rede\\_carvao/Sess%C3%B5es\\_B7\\_B8\\_B9/B7\\_ARTIGO\\_01.pdf](http://www.ufrgs.br/rede_carvao/Sess%C3%B5es_B7_B8_B9/B7_ARTIGO_01.pdf)> . Acesso em: 23 ago. 2013.

REBOUÇAS, A.C.; BRAGA, B.; TUNDISI, J.G. **Águas doces no Brasil**. 3. ed. rev. e ampl. São Paulo: Escrituras, 2006. 748 p.  
RELATÓRIO MPF - UM IV Volta Redonda. 2010. Disponível em: <[https://www.jfsc.jus.br/acpdocarvao/conteudo/criciuma/Relatorio%20MPF%20-%20UM%20IV%20VOLTA\\_REDONDA\\_ABR.2010\\_vf.pdf](https://www.jfsc.jus.br/acpdocarvao/conteudo/criciuma/Relatorio%20MPF%20-%20UM%20IV%20VOLTA_REDONDA_ABR.2010_vf.pdf)>. Acesso em: 10 set. 2013.

ROCHA, J.C.; ROSA, A.H.; CARDOSO, A.A. **Introdução à química ambiental**. Porto Alegre: Bookman, 2004. 154 p.

RUBIO, J.; OLIVEIRA, C.; SILVA, R. Aspectos ambientais nos setores mineiros e metalúrgico. In: LUZ, A.B.; SAMPAIO, J.A.; ALMEIDA, S.L.M. **Tratamento de Minérios**. 5 ed. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2010. 932 p.

SANTA CATARINA. Lei nº 14.675, de 13 de abril de 2009. **Institui o Código Estadual do Meio Ambiente e estabelece outras providências**. Disponível em: <[http://www.famcri.sc.gov.br/legislacao/leiestadual\\_14675.pdf](http://www.famcri.sc.gov.br/legislacao/leiestadual_14675.pdf)>. Acesso em: 12 mai. 2013.

SANTA CATARINA. Portaria nº 024, de 19 de setembro de 1979. Enquadra os cursos d'água do Estado de Santa Catarina. **D.O.E.**, Florianópolis, SC, 24 set. 1979. Disponível em: <<http://pnga.ana.gov.br/Publicacao/Santa%20Catarina.pdf>>. Acesso em: 12 ago. 2013.

SOUZA, V.P. de. et al. Interpretação dos parâmetros físico-químicos de efluentes gerados em sistemas do tipo rejeito-cobertura. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CARVÃO MINERAL, 03, 2011. Gramado. **Anais...** Gramado, RS: [s.n.], 2011. Disponível em: <[http://www.ufrgs.br/rede\\_carvao/Sesoes\\_C4\\_C5\\_C6/C4\\_ARTIGO\\_01.pdf](http://www.ufrgs.br/rede_carvao/Sesoes_C4_C5_C6/C4_ARTIGO_01.pdf)>. Acesso em: 23 ago. 2013.

TRINDADE, R.B.E.; SOARES, P.S.M. **Tecnologia de sistemas passivos para o tratamento de drenagem ácida de minas**. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2004. 52

p.

UBALDO, M.O.; BORMA, L.S.; BARBOSA, M.C. **Gestão de resíduos sólidos geradores de drenagem ácida de minas com uso de coberturas secas**. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2006. 51 p. Artigo Técnico nº 2. (Série gestão e planejamento ambiental). Disponível em: <[http://www.cetem.gov.br/publicacao/series\\_sgpa/sgpa-04.pdf](http://www.cetem.gov.br/publicacao/series_sgpa/sgpa-04.pdf)>. Acesso em: 20 ago. 2013.

UBALDO, M.O.; SOUZA, V.P. Controle e mitigação dos impactos ambientais da drenagem ácida em operações de mineração. In: SOARES, P.S.M.; SANTOS, M.D.C.; POSSA, M.V. **Carvão Brasileiro: tecnologia e meio ambiente**. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2008. 300 p.

## **APÊNDICE(S)**

APÊNDICE A – Tabela dos índices pluviométricos distribuídos por mês para as Áreas “A” e “B” e imediações.

(Continua)

Mês/Ano	Localização pluviômetros	2007	2008	2009	2010	2011	2012	Máximo (mensal)	Média (mensal)	Mínimo (mensal)	Desvio padrão
Janeiro	Orleans	133,00	sr (1)	247,00	427,30	386,80	171,50	427,30	273,12	133,00	129,75
	Local	99,20	173,70	332,10	423,80	412,20	194,30	423,80	272,55	99,20	135,55
	Serrinha	sr	sr	448,90	340,70	604,80	365,00	604,80	439,85	340,70	119,34
Fevereiro	Orleans	172,60	sr	203,30	174,90	211,20	207,80	211,20	193,96	172,60	18,68
	Local	161,10	145,00	179,00	150,50	314,30	154,60	314,30	184,08	145,00	64,86
	Serrinha	179,80	199,80	265,10	142,00	435,40	185,30	435,40	234,57	142,00	106,27
Março	Orleans	198,80	sr	160,80	130,70	203,60	44,60	203,60	147,70	44,60	64,86
	Local	213,40	245,00	180,10	204,60	172,80	22,50	245,00	173,07	22,50	78,12
	Serrinha	357,60	241,90	259,70	263,00	189,90	sr	357,60	262,42	189,90	60,72
Abril	Orleans	63,50	110,70	67,40	141,00	44,60	37,70	141,00	77,48	37,70	40,25
	Local	102,60	109,30	71,70	124,50	54,60	22,00	124,50	80,78	22,00	38,53
	Serrinha	sr	128,60	67,30	165,40	53,00	sr	165,40	103,58	53,00	52,67
Maio	Orleans	169,00	100,60	80,50	311,30	94,00	34,20	311,30	131,60	34,20	98,15
	Local	186,60	128,50	39,90	292,00	99,20	47,50	292,00	132,28	39,90	95,18
	Serrinha	197,90	196,20	28,90	347,20	123,40	40,80	347,20	155,73	28,90	118,67
Junho	Orleans	19,40	65,80	29,90	74,20	76,80	117,40	117,40	63,92	19,40	35,42
	Local	12,50	72,40	15,30	85,50	104,60	65,00	104,60	59,22	12,50	37,60
	Serrinha	24,20	84,80	29,00	73,50	162,40	102,40	162,40	79,38	24,20	51,13
Julho	Orleans	144,20	17,40	88,90	82,70	197,00	99,80	197,00	105,00	17,40	60,76
	Local	170,20	5,30	104,00	104,10	185,00	94,50	185,00	110,52	5,30	64,06
	Serrinha	141,00	18,40	54,70	122,30	281,70	137,60	281,70	125,95	18,40	90,86
Agosto	Orleans	84,70	41,30	159,30	64,60	261,70	20,80	261,70	105,40	20,80	90,22
	Local	79,50	27,10	147,50	69,60	343,95	14,40	343,95	113,68	14,40	122,17
	Serrinha	119,60	50,90	165,00	sr	310,50	132,20	310,50	155,64	50,90	96,03

(Conclusão)

Mês/Ano	Localização pluviômetros	2007	2008	2009	2010	2011	2012	Máximo (mensal)	Média (mensal)	Mínimo (mensal)	Desvio padrão
Setembro	Orleans	78,10	156,40	324,90	121,80	120,70	111,00	324,90	152,15	78,10	88,26
	Local	131,30	189,70	342,70	109,50	140,50	127,60	342,70	173,55	109,50	87,14
	Serrinha	180,10	177,00	428,80	117,10	125,50	128,30	428,80	192,80	117,10	118,77
Outubro	Orleans	93,30	242,50	82,50	76,10	61,60	126,80	242,50	113,80	61,60	66,75
	Local	83,70	239,70	83,50	74,50	84,25	131,00	239,70	116,11	74,50	63,81
	Serrinha	118,20	279,20	89,50	146,70	96,50	169,20	279,20	149,88	89,50	70,15
Novembro	Orleans sr	208,30	214,60	163,20	33,30	33,80	214,60	130,64	33,30	33,30	90,82
	Local	98,80	256,10	193,00	253,40	26,25	46,60	256,10	145,69	26,25	102,29
	Serrinha	167,30	335,20	179,60	307,00	54,80	67,90	335,20	185,30	54,80	117,00
Dezembro	Orleans sr	186,50	177,50	87,10	172,90	78,80	186,50	140,56	140,56	78,80	52,90
	Local	181,90	109,90	85,60	95,90	200,45	135,50	200,45	134,88	85,60	47,08
	Serrinha	184,40	173,20	246,40	116,50	192,80	143,80	246,40	176,18	116,50	44,48

Fonte: Da autora, 2013.

(1) Sem registro.

APÊNDICE B – Tabela dos índices pluviométricos distribuídos por mês para a Área “C” e imediações.

(Continua)

Mês\Ano	Localização pluviômetros	2007	2008	2009	2010	2011	2012	Máximo (mensal)	Média (mensal)	Mínimo (mensal)	Desvio padrão
Janeiro	Orleans	133,00	sr (1)	247,00	427,30	386,80	171,50	427,30	273,12	133,00	129,75
	Local	78,70	269,00	413,00	328,20	578,50	207,00	578,50	312,40	78,70	172,50
	Serrinha	sr	sr	448,90	340,70	604,80	365,00	604,80	439,85	340,70	119,34
Fevereiro	Orleans	172,60	sr	203,30	174,90	211,20	207,80	211,20	193,96	172,60	18,68
	Local	185,40	286,10	342,50	209,30	219,20	140,30	342,50	230,47	140,30	72,64
	Serrinha	179,80	199,80	265,10	142,00	435,40	185,30	435,40	234,57	142,00	106,27
Março	Orleans	198,80	sr	160,80	130,70	203,60	44,60	203,60	147,70	44,60	64,86
	Local	272,10	223,80	287,80	295,00	170,30	99,30	295,00	224,72	99,30	77,27
	Serrinha	357,60	241,90	259,70	263,00	189,90	sr	357,60	262,42	189,90	60,72
Abril	Orleans	63,50	110,70	67,40	141,00	44,60	37,70	141,00	77,48	37,70	40,25
	Local	36,20	14,00	86,30	145,90	83,00	38,30	145,90	67,28	14,00	47,82
	Serrinha	sr	128,60	67,30	165,40	53,00	sr	165,40	103,58	53,00	52,67
Maio	Orleans	169,00	100,60	80,50	311,30	94,00	34,20	311,30	131,60	34,20	98,15
	Local	200,20	182,00	59,30	428,80	130,60	44,30	428,80	174,20	44,30	139,67
	Serrinha	197,90	196,20	28,90	347,20	123,40	40,80	347,20	155,73	28,90	118,67
Junho	Orleans	19,40	65,80	29,90	74,20	76,80	117,40	117,40	63,92	19,40	35,42
	Local	15,11	91,80	47,00	71,00	110,20	98,30	110,20	72,24	15,11	35,79
	Serrinha	24,20	84,80	29,00	73,50	162,40	102,40	162,40	79,38	24,20	51,13
Julho	Orleans	144,20	17,40	88,90	82,70	197,00	99,80	197,00	105,00	17,40	60,76
	Local	168,80	9,80	84,30	85,50	177,60	102,50	177,60	104,75	9,80	62,00
	Serrinha	141,00	18,40	54,70	122,30	281,70	137,60	281,70	125,95	18,40	90,86
Agosto	Orleans	84,70	41,30	159,30	64,60	261,70	20,80	261,70	105,40	20,80	90,22
	Local	40,90	42,80	199,80	45,00	342,90	22,00	342,90	115,57	22,00	129,14
	Serrinha	119,60	50,90	165,00	SR	310,50	132,20	310,50	155,64	50,90	96,03

(Conclusão)

Mês\Ano	Localização pluviômetros	2007	2008	2009	2010	2011	2012	Máximo (mensal)	Média (mensal)	Mínimo (mensal)	Desvio padrão
Setembro	Orleans	78,10	156,40	324,90	121,80	120,70	111,00	324,90	152,15	78,10	88,26
	Local	148,60	165,50	395,00	91,00	103,00	150,50	395,00	175,60	91,00	111,38
	Serrinha	180,10	177,00	428,80	117,10	125,50	128,30	428,80	192,80	117,10	118,77
Outubro	Orleans	93,30	242,50	82,50	76,10	61,60	126,80	242,50	113,80	61,60	66,75
	Local	115,30	285,30	122,80	95,00	86,50	69,80	285,30	129,12	69,80	78,90
	Serrinha	118,20	279,20	89,50	146,70	96,50	169,20	279,20	149,88	89,50	70,15
Novembro	Orleans sr	208,30	214,60	163,20	33,30	33,80	214,60	214,60	130,64	33,30	90,82
	Local	175,00	276,30	189,10	283,30	41,10	40,30	283,30	167,52	40,30	107,64
	Serrinha	167,30	335,20	179,60	307,00	54,80	67,90	335,20	185,30	54,80	117,00
Dezembro	Orleans sr	186,50	177,50	87,10	172,90	78,80	186,50	186,50	140,56	78,80	52,90
	Local	205,20	331,90	142,30	46,00	184,50	152,90	331,90	177,13	46,00	93,59
	Serrinha	184,40	173,20	246,40	116,50	192,80	143,80	246,40	176,18	116,50	44,48

Fonte: Da autora, 2013.

(1) Sem registro.