

UNIVERSIDADE DO EXTREMO SUL CATARINENSE - UNESC

CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL

EUDES RODRIGO VELHO

**AVALIAÇÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS SUPERFICIAIS SUBTERRÂNEOS E
EFLUENTES DE UM EMPREENDIMENTO MINEIRO**

CRICIÚMA

2013

EUDES RODRIGO VELHO

**AVALIAÇÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS SUPERFICIAIS SUBTERRÂNEOS E
EFLUENTES DE UM EMPREENDIMENTO MINEIRO**

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

Orientador (a): Prof. Me. Rosimeri Venâncio Redivo

CRICIÚMA

2013

EUDES RODRIGO VELHO

**AVALIAÇÃO DOS PIEZÔMETROS NA ÁREA DE INFLUÊNCIA DE UM
EMPREENHIMENTO MINEIRO**

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

Criciúma, 29 de Novembro de 2013.

BANCA EXAMINADORA

Prof^a. Rosimeri Venâncio Redivo - Mestre - (UNESC) - Orientadora

Prof. Álvaro José Back - Doutor - (UNESC)

Evelyn kleuser - Geóloga - (UFPR)

Que os vossos esforços desafiem as
impossibilidades, lembrai-vos de que
as grandes coisas do homem foram
conquistadas do que parecia impossível.

Charles Chaplin

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, meus votos de agradecimento pela conquista dessa importante etapa de minha vida vão a Deus, por sempre estar do meu lado dando força e saúde.

Ao meu grande pai José Valdecir Velho meu herói meu ídolo, e minha mãe Maria Teresinha Zatta Velho sempre correta, honesta e dedicada, obrigado pela dedicação infinita que depositaram na minha criação, e especialmente, pelo seu amor incondicional. Aos meus irmãos Daniela A. Velho, Daiane Velho e José Marciel Velho que estiverem sempre ao meu lado.

Aos meus familiares, que sempre acreditaram e incentivaram os meus estudos, proporcionando motivação e coragem.

Ao meu Supervisor de campo Luiz Henrique Rosa da Silva, obrigado pela sua paciência, apoio e ensinamentos.

A todos da divisão de Laboratório das Empresas Rio Deserto, e da Unidade de Extração da Mina Novo Horizonte pela paciência e torcida. Obrigada por proporcionar essa experiência de estágio tão incrível. Estarão sempre nas minhas melhores lembranças.

A Professora Rosimeri Venâncio Redivo, pela orientação, dedicação, e ajuda para a conclusão deste trabalho. Muito obrigado pelos livros, pelas conversas e por todo incentivo prestado nesta etapa da minha vida. Como profissional, será sempre o meu melhor exemplo de competência e inteligência.

Aos meus amigos que estiveram presentes nesta etapa tão esperada, pela presença em todos os momentos, e pela compreensão em momentos que estive ausente. Gostaria de citar em especial, meu amigo Wagner Velho e Luiz Fernando Zatta dos Santos que estiveram presente nos momentos mais difíceis da minha vida pessoal e profissional, e sempre foram muito prestativos.

E a todos que de alguma forma contribuíram e fizeram parte da conquista deste meu objetivo de vida.

RESUMO

A exploração intensiva do carvão na região sul catarinense resultou em inúmeras áreas degradadas com presença de rejeitos, bem como, a formação de drenagens ácidas de mina que se arrastou por décadas sem o tratamento adequado. Com o passar do tempo os órgãos ambientais juntamente com o Ministério Público Federal, acabaram por sua vez fazendo exigências em relação ao controle ambiental, por meio de Ações Cíveis Públicas impostas as empresas mineradoras. Devido a isso, criaram-se procedimentos e sistemas de monitoramentos ambientais. Um dos sistemas seria o acompanhamento dos resultados do sistema de tratamento de efluentes, desde a parte à montante e a jusante do empreendimento. Outro ponto importante é o monitoramento das águas subterrâneas correlacionada com a precipitação e o bombeamento de água do subsolo. Com a instalação da rede piezométrica, é possível acompanhar através do medidor elétrico de nível as variações entre a precipitação e o bombeamento da mina. Através do presente trabalho foi possível avaliar todos os monitoramentos do nível estático dos piezômetros de um empreendimento mineiro, e constatou-se a relação direta do comportamento do nível estático dos piezômetros rasos com a precipitação pluviométrica, e nenhuma relação do bombeamento da mina com os níveis dos piezômetros profundos.

Palavras-chave: Drenagem ácida de mina. Tratamento de efluentes. Rede piezométrica.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Área do empreendimento.....	15
Figura 2 - Etapas de formação do carvão	20
Figura 3 – Minerador Contínuo.....	27
Figura 4 - Perfuratriz de teto.....	27
Figura 5 - Carros transportadores (<i>shuttle car</i>).	27
Figura 6 - Paineis de produção.	30
Figura 7 - Piezômetro tipo Casagrande.....	44
Figura 8 - Piezômetro tipo tudo aberto.	45
Figura 9 - Piezômetro tipo perfuração.	46
Figura 10 - Ciclo hidrológico.....	49
Figura 11 - Medidor elétrico de nível d'água	52
Figura 12 - Pluviômetro instalado na unidade	53
Figura 13 – Comparativo dos totais de chuvas mensais de Criciúma e da empresa (mm).....	56
Figura 14 – Localização dos piezômetros	59
Figura 15 - Localização do piezômetro PZ 03.	60
Figura 16 - Comparativo nível estático (vermelho), com a precipitação (verde).....	61
Figura 17 - Comparativo nível estático (vermelho), com o bombeamento (verde). ...	62
Figura 18- Localização do piezômetro PZ 09.....	63
Figura 19 - Comparativo nível estático (vermelho), com a precipitação (verde).....	64
Figura 20 - Comparativo nível estático (vermelho), com o bombeamento (verde). ...	65
Figura 21 - Localização do piezômetro PZ12.....	66
Figura 22 - Comparativo nível estático (vermelho), com a precipitação (verde).....	67
Figura 23 - Comparativo nível estático (vermelho), com o bombeamento (verde). ...	68
Figura 24 - Localização do piezômetro PZ 13.	69
Figura 25 - Comparativo nível estático (vermelho), com a precipitação (verde).....	69
Figura 26 - Comparativo nível estático (vermelho), com o bombeamento (verde). ...	70
Figura 27 - Localização do piezômetro PZ 25.	71
Figura 28 - Comparativo nível estático (vermelho), com a precipitação (verde).....	72
Figura 29 - Comparativo nível estático (vermelho), com o bombeamento (verde). ...	72
Figura 30 - Localização do piezômetro PZ 26.	73
Figura 31 - Comparativo nível estático (vermelho), com a precipitação (verde).....	74

Figura 32 - Comparativo nível estático (vermelho), com o Bombeamento (verde)....	74
Figura 33 - Localização do piezômetro PZ 63.	75
Figura 34 - Comparativo nível estático (vermelho), com a precipitação (verde).....	76
Figura 35 - Comparativo nível estático (vermelho), com o bombeamento (verde). ...	76
Figura 36 - Localização do piezômetro PZ 63.	77
Figura 37 - Comparativo nível estático (vermelho), com a precipitação (verde).....	78
Figura 38 - Comparativo nível estático (vermelho), com o bombeamento (verde). ...	78
Figura 39 - Localização do piezômetro ICB 70.....	79
Figura 40 - Comparativo nível estático (vermelho), com a precipitação (verde).....	80
Figura 41 - Comparativo nível estático (vermelho), com o bombeamento (verde). ...	81
Figura 42 - Localização do piezômetro ICB 87.....	82
Figura 43 - Comparativo nível estático (vermelho), com a precipitação (verde).....	83
Figura 44 - Comparativo nível estático (vermelho), com o bombeamento (verde). ...	83
Figura 45 - Mapa potenciométrico do ano de 2010.	84
Figura 46 - Mapa potenciométrico do ano de 2011.	85
Figura 47 - Mapa potenciométrico do ano de 2012.	86
Figura 48 - Mapa potenciométrico do ano de 2013.	87
Figura 49 - Fluxograma representativo da ETE.....	89
Figura 50 - Comparativo volume tratado mês (azul), com a precipitação (roxo).	90
Figura 51 - Bacia de sedimentação de efluente tratado.	91
 Quadro 1 - Tipos de tratamento de efluente líquido e os processos unitários.....	41
Quadro 2 – Valores Totais /mês precipitação pluviométrica	51
Quadro 3 - Localização e profundidade de cada piezômetro	58
Quadro 4 - Vazões dos efluentes para tratamento na mina Novo Horizonte.	88
Quadro 5 - Padrões de qualidade para classificação de efluentes.....	92
Quadro 6 - Resultado de análise de efluente bruto, 2012.	92
Quadro 7 - Resultado de análise de efluente bruto, 2013.	93
Quadro 8 - Resultado de análise de efluente tratado, 2012.	93
Quadro 9 - Resultado de análise de efluente tratado, 2013.	94
Quadro 10 - Média dos resultados de análises de águas.	95

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

DAM	Sistema de Tratamento de Drenagem Ácida de Mina
ANA	Agência Nacional de Águas
CIRAM	Centro de Informações de Recursos Ambientais e de Hidrometeorologia de Santa Catarina
CNPJ	Cadastro Nacional de Pessoa Jurídica
DNPM	Departamento Nacional de Produção Mineral
EPAGRI	Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina
ETE	Estação de Tratamento de Efluentes
ha	Hectares
LAO	Licença Ambiental de Operação
PTM	Projeto Técnico de Mineração
ROM	Carvão Bruto

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
1.1 OBJETIVOS	12
1.1.1 Objetivo Geral	12
1.1.2 Objetivos Específicos	12
2 HISTÓRICO DA EMPRESA.....	13
2.1 UNIDADE DE EXTRAÇÃO.....	13
2.2 CARACTERIZAÇÃO DO EMPREENDIMENTO.....	14
3 REFERENCIAL TEÓRICO.....	16
3.1 MINERAÇÃO DE CARVÃO NO BRASIL.....	16
3.2 MINERAÇÃO DE CARVÃO EM SANTA CATARINA	17
3.3 FORMAÇÃO DO CARVÃO MINERAL	18
3.4 GEOLOGIA	21
3.5 CARACTERIZAÇÃO HIDROGEOLÓGICA	23
3.6 FALHAMENTOS	24
3.7 EXTRAÇÃO DE CARVÃO.....	25
3.8 PROCESSOS DE EXTRAÇÃO	28
3.8.1 Extração de Lavra Subterrânea.....	28
3.9 IMPACTOS AMBIENTAIS NA MINERAÇÃO	31
3.10 DISPOSIÇÃO DOS REJEITOS.....	33
3.11 DRENAGEM ÁCIDA DE MINA (DAM).....	35
3.11.1 Tratamento e controle da DAM	37
3.12 TRATAMENTO DE EFLUENTES.....	39
3.13 TIPOS DE TRATAMENTO DE EFLUENTE LÍQUIDO.....	40
3.13.1 Legislações Associadas aos Efluentes Líquidos	42
3.14 MONITORAMENTO AMBIENTAL.....	42
3.15 INSTALAÇÃO DE PIEZÔMETROS.....	43
3.15.1 Tipos de piezômetros.....	44
3.15.2 Frequência de leituras	46
3.16 HIDROLOGIA.....	47
3.17 CICLO HIDROLÓGICO	48
3.18 CLIMA NA REGIÃO SUL CATARINENSE	49

3.19 PRECIPITAÇÃO.....	50
4 METODOLOGIA	52
4.1 AVALIAÇÃO DO PROCESSO DE TRATAMENTO DE EFLUENTES	54
5 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS DADOS.....	56
5.1 INTERPRETAÇÃO DOS DADOS DE MONITORAMENTO DO AQUÍFERO PROFUNDO	57
5.1.1 Piezômetro PZ 03	59
5.1.2 Piezômetro PZ 09	62
5.1.3 Piezômetro PZ 12	65
5.1.4 Piezômetro PZ 13	68
5.1.5 Piezômetro PZ 25	70
5.1.6 Piezômetro PZ 26	73
5.1.7 Piezômetro PZ 63	75
5.1.8 Piezômetro PZB 02	77
5.1.9 Piezômetro ICB 70	79
5.1.10 Piezômetro ICB 87	81
5.2 ANÁLISE DO AQUÍFERO PROFUNDO.....	84
5.3 ANÁLISE DOS MAPAS	87
5.4 PROPOSTAS DE MELHORIA	87
5.5 SISTEMA DE TRATAMENTO DE DRENAGEM ÁCIDA DE MINA (DAM)	88
5.6 EFLUENTES LÍQUIDOS	89
5.7 PONTOS DE MONITORAMENTO	91
5.8 PADRÕES DE LEGISLAÇÃO	91
5.9 RESULTADOS	92
5.9.1 Avaliação dos resultados	94
5.9.2 Avaliação dos resultados dos pontos de montante e jusante	95
5.10 MELHORIAS NO PROCESSO DE TRATAMENTO DE EFLUENTES	95
6 CONCLUSÃO	97
REFERENCIAS.....	99

1 INTRODUÇÃO

O processo produtivo de empresas do ramo de mineração possui dentro do seu quadro de aspectos ambientais o monitoramento ambiental e a geração de efluentes líquidos, este último especificamente mais significativo. O efluente gerado dentro do processo é proveniente do subsolo.

Baseando-se na legislação ambiental, é fundamental que a empresa possua dentro de seu sistema de gestão o monitoramento e a medição dos seus aspectos ambientais, além de procedimentos que ajudem a realizar as atividades de forma eficiente evitando assim, possíveis desvios operacionais.

O monitoramento ambiental é um dos requisitos a nível de licenciamento, tanto do Órgão Ambiental e do Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM), o qual aprova o Projeto Técnico de Mineração (PTM). O trabalho proposto é agrupar os dados existentes na empresa, de forma a integrar os dados dos recursos superficiais e subterrâneos, para atendimento de exigência do DNPM, que requer avaliações constantes das condições hidrológicas.

Em toda obra de engenharia é de vital importância a localização do nível do lençol freático e o conhecimento da sua variação devido às precipitações e outros agentes naturais, seja para a execução da obra, quanto para a utilização da mesma, ou para fins de monitoramentos ambientais.

O conhecimento da posição da linha freática é fundamental no estudo de comportamento geotécnico de barragens. O sistema de medição das ocorrências hidráulicas é, tipicamente, um dispositivo para registro contínuo dos níveis de água que constituem o limite para desencadeamento de um nível de alerta e ações de medidas corretivas quando necessário. O instrumento de piezometria tem sido amplamente utilizado no monitoramento e previsão de comportamento das águas subterrâneas.

O objetivo deste trabalho é analisar os resultados do programa de monitoramento da rede piezométrica, desenvolvido pela empresa. Para facilitar a interpretação dos dados, criaram-se então, elementos gráficos como mapas e diagramas, os quais constam neste trabalho.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

Avaliar os monitoramentos dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos do empreendimento.

1.1.2 Objetivos Específicos

- a) Realizar os monitoramentos superficiais e subterrâneos;
- b) Avaliar os monitoramentos realizados nos últimos 44 meses e correlacionar com a precipitação pluviométrica e bombeamento da mina;
- c) Avaliar os pontos e frequência e propor melhorias; e
- d) Operar a Estação de Tratamento de Efluentes (ETE) e propor melhorias.

2 HISTÓRICO DA EMPRESA

A empresa foi constituída em 16 de novembro de 1976, atuando desde então na área de exploração de carvão mineral. Atualmente, a empresa também faz parte do cenário Regional Sul do Estado de Santa Catarina, buscando adequar seu perfil e conduta às preocupações relativas às questões ambientais e à legislação vigente. Sua sede localiza-se na Avenida Getúlio Vargas, 515, Centro, Criciúma/SC, inscrita no Cadastro Nacional de Pessoas Jurídicas (CNPJ) sob nº 83.286.500/0001-69 e Inscrição Estadual nº 253.152.500, telefone (48) 3431-9444, sendo representada legalmente pelos administradores.

2.1 UNIDADE DE EXTRAÇÃO

A localização do pátio operacional do empreendimento foi selecionada em base nos seguintes fatores:

- a) Facilidade de acesso rodoviário fora dos bairros residenciais;
- b) Proximidade com a rede ferroviária, que em silo fechado receberá os rejeitos do carvão e os transportará para o depósito de rejeitos em Siderópolis;
- c) Estar enquadrada como área industrial segundo o plano diretor municipal;
- d) Não conter canais de drenagem, ser topograficamente alta e seca;
- e) Constituir fração de área poluída com rejeitos de carvão mineral da antiga Mina 04 da ex-Carbonífera Próspera S.A.; e
- f) Estar fora da antiga área minerada facilitando a implantação das obras civis de acesso ao subsolo, mais especificamente o poço de ventilação e plano inclinado.

A área da mina, conforme Licença Ambiental de Operação (LAO) nº. 427/2009 é de 690 hectares (ha), em subsolo, contemplando os Blocos B2, B2A, B2B. A área potencial e economicamente viável é de 581,25 ha.

A área da jazida situa-se e abrange as localidades de Renascer, Mina 4, Ana Maria, Cristo Redentor, São João e Jardim Maristela, englobando 680 hectares no Município de Criciúma e 10 hectares na localidade Cristo Redentor, no Município de Içara. A área da jazida é integrante da portaria de Lavra nº 365/94, referente ao

processo DNPM nº 4270/38, titulado a empresa Indústria Carbonífera Rio Deserto Ltda.

A tecnologia a ser aplicável no método de lavra é o uso de minerador contínuo. O método de transferência do ROM (carvão bruto) do subsolo para a superfície é através de correia transportadora pelo plano inclinado.

2.2 CARACTERIZAÇÃO DO EMPREENDIMENTO

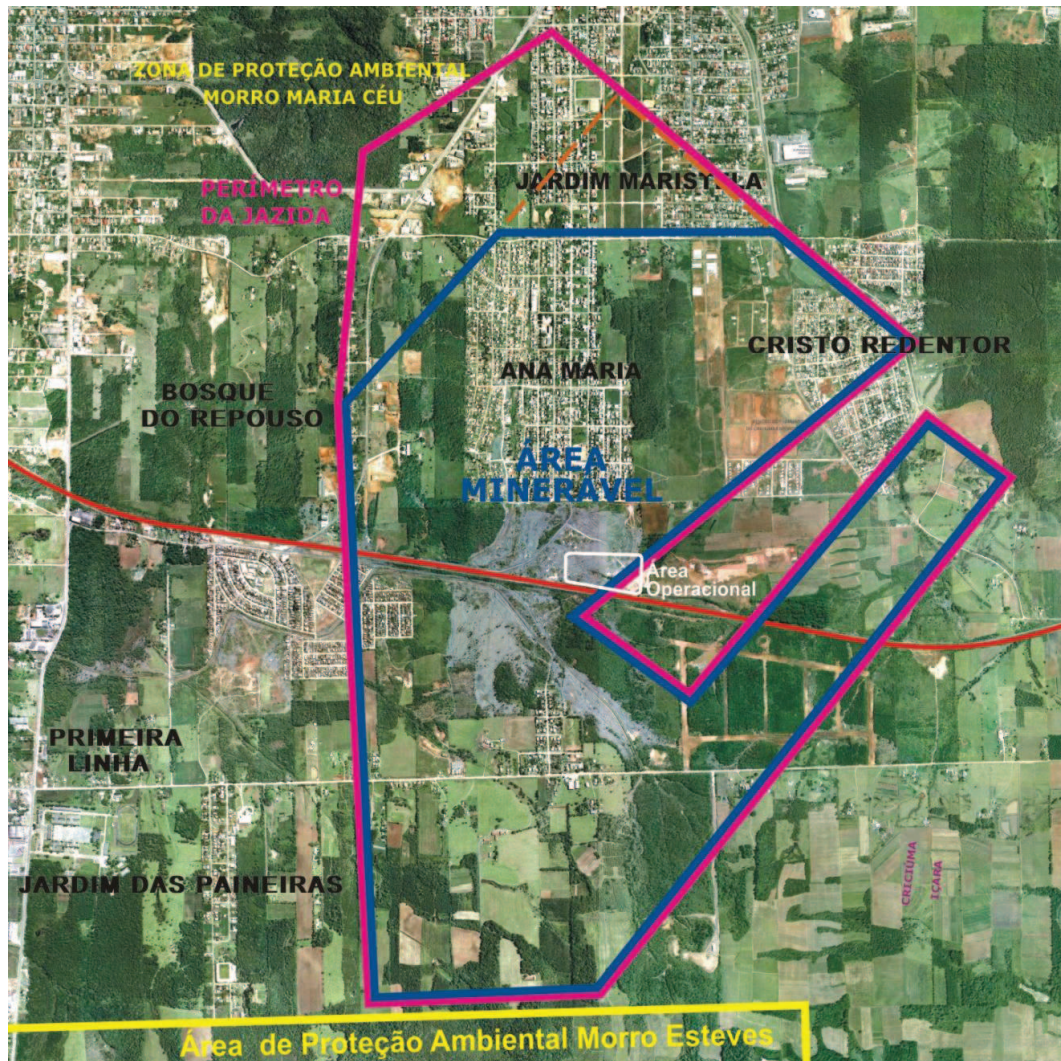
O empreendimento se constitui de extração, sistema de peneira aero separadora por lamelas excitadas, depósito de rejeitos e terminal de transferência.

Especificamente a área operacional da mina está situada em área industrial, nas proximidades da rede ferroviária e porto seco, destinada ao tráfego pesado, nos fundos do loteamento Ana Maria.

O carvão bruto produzido, da ordem de 60.000 toneladas mensais, será transportado úmido e pré-britado do subsolo até o sistema de peneira aero separadora por lamelas excitadas. Esse transporte será efetuado por correias transportadoras com largura de 36 a 42 polegadas, enclausuradas para evitar a emissão de poeiras.

Com relação às vias de acesso, a área é servida por estradas municipais e intermunicipais em boas condições de tráfego, devendo o acesso por ônibus e caminhões, até a área operacional da mina, ser efetuado pela estrada Avenida Aristides Amboni, Rua Antonio Lim e dali por estrada lateral a ferrovia até o pátio operacional, partindo da Rodovia Luiz Rosso. A seguir, a figura 1 mostra a área do empreendimento.

Figura 1 - Área do empreendimento.



Fonte: Acervo da empresa, (2006).

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 MINERAÇÃO DE CARVÃO NO BRASIL

Na última década do século XX, há uma elevação do grau de integração da economia brasileira à economia mundial. Houve um esforço muito grande de liberação setorial e desestatização da mineração brasileira, enseja um ambiente receptivo e favorável à retomada e incremento dos investimentos em prospecção e produção mineral. O êxodo dessa atividade dependerá crescentemente do aprofundamento do conhecimento geológico do território, da comprovação do potencial metalogenético do país por meio da descoberta de novas jazidas minerais em termos econômicos e ambientais (FIGUEIREDO, 2000).

O consumo do carvão mineral teve um grande impulso com a crise do petróleo na década 70, que através de sua queima nas usinas termelétricas passou a ser utilizado como fonte de energia, substituindo o óleo combustível. Por consequência, surgiram minas de maior porte que atenderam esta maior demanda, e por outro lado ampliaram os problemas ambientais advindos da atividade (Relatório De Monitoramento dos Indicadores Ambientais, 2009).

A extração de carvão mineral no Brasil é uma atividade econômica de importância apenas regional, seja pela baixa qualidade do carvão brasileiro, seja por sua ocorrência restrita, estando os maiores depósitos localizados nos três estados da região sul do país. Nesse contexto, o Rio Grande do Sul possui as maiores reservas, enquanto Santa Catarina lidera em termos de produção e o Paraná possui jazidas de menor expressão. O reflexo dessas condições, no cômputo mundial o Brasil possui tímida participação, respondendo por apenas 0,1% das reservas de carvão mineral atualmente conhecidas no planeta, e pela produção de 0,1% do total global (GALATTO; LOPES; SANTO, 2009).

O estágio atual do conhecimento dos recursos minerais no Brasil pode ser definido como satisfatório apenas parcialmente, embora mereçam destaque os investimentos e os êxodos logrados por instituições governamentais e empresas estatais nas décadas de 1970 e 1980. Porém, ainda é grande a defasagem tecnológico que separa o Brasil de outros países produtores minerais, em termos de levantamentos geológicos, levantamentos geoquímicos e geofísicos, uso de

sensoriamento remoto em prospecção e uso de outras ferramentas modernas, como a geologia isotópica e biogeoquímica ambiental, no estudo dos distritos minerais mais promissores (FIGUEIREDO, 2000, p. 362).

3.2 MINERAÇÃO DE CARVÃO EM SANTA CATARINA

Em Santa Catarina, a extração de carvão remonta a meados do século XIX, tendo tido grande impulso a partir de meados da década de 1940, quando começou a ser implantado o parque siderúrgico nacional. Desde então, vários municípios da região sul do estado foram criados e se desenvolveram em função dessa atividade, tendo ainda hoje suas economias fundamentalmente dependentes dela (GALATTO; LOPES; SANTO, 2009).

A mineração de carvão da Região Sul Catarinense, envolveu os municípios de Orleans, Lauro Muller, Urussanga, Siderópolis, Criciúma, Içara, Maracajá, Forquilha e Treviso. O início da Primeira Guerra Mundial proporcionou nos primeiros períodos, um crescimento da produção de carvão na região, entre elas a Companhia Carbonífera Urussanga (1918) e a Companhia Siderúrgica Nacional – CSN (1946). Decorrente da crise mundial do Petróleo em 1973 contribuiu o desenvolvimento da exploração do carvão, que passa a ter subsídio do governo. Neste período ocorreu a mecanização e abertura de novas minas, especialmente a céu aberto, com o incentivo do Programa de Mobilização Energética – PME, financiado pelo Governo Federal (GOMES; CRUZ; BORGES, 2003).

Trata-se de um carvão coqueificável pobre e energético pobre a médio, admitindo algum beneficiamento e transporte a curta distância. As partes a céu aberto e de subsolo rasas já foram quase todas mineradas, de modo que há uma crescente dificuldade dessa jazida em manter um ritmo intenso de lavra, com minas profundas e estruturalmente difíceis (BORBA, 2001).

Com a isso, a atividade de extração e beneficiamento do carvão foi realizada de maneira predatória, o que acarretou os principais problemas ambientais que afetam a chamada Bacia Carbonífera Catarinense. Mesmo com o atual esforço concentrado das mineradoras locais em aperfeiçoar métodos de extração e beneficiamento mineral, de tratamento e de deposição de resíduos da mineração, com o claro objetivo de reduzir os impactos ambientais negativos da atividade

(GALATTO; LOPES; SANTO, 2009).

De acordo com o SIECESC (2013), a produção de carvão mineral em Santa Catarina cresceu 58% em 2000, em relação a 1999. Em 99, a produção foi de 2 milhões e 298 mil ton/ano e, em 2000, de 3 milhões e 643 mil ton/ano. Esta produção representa 50% da produção nacional do carvão mineral e o faturamento do setor carbonífero de Santa Catarina cresceu 55% em 2000, em relação a 1999.

3.3 FORMAÇÃO DO CARVÃO MINERAL

O carvão mineral nada mais é do que resto de vegetação pré-histórica que originalmente se desenvolveu em áreas pantanosas. Em função de movimentos tectônicos essas áreas alagadas foram sofrendo subsidência e lentamente foram sendo soterradas por argilas e areias. Desse modo, o material vegetal foi sofrendo mudanças físicas e químicas em função do aumento da temperatura e da pressão, transformando-se gradativamente em turfa e em seguida em carvão (GALATTO; LOPES; SANTO, 2009).

Segundo Popp (2002, p. 327), os processos de transformação dos vegetais na natureza seguem caminhos diversos, de acordo com as condições imperantes no local, os processos mais conhecidos são:

- Desintegração total: ocorrem condições subaéreas, onde a ação do oxigênio é muito grande. Isto acontece quando o vegetal apodrece sobre o solo;
- Humificação: ocorre pouco abaixo da superfície do solo, onde a taxa de oxigênio é menor e o húmus, presente na composição do solo;
- Formação de turfas: A influência do oxigênio é muito pequena, uma vez que os detritos permanecem encobertos por água, sedimentos e mesmos outros vegetais. Essa transformação geralmente se processa em pântanos rasos, onde os resíduos de decomposição permanecem soterrados, os gases gerados são CO₂, H₂O, CH₄, e NH₃.
- Putrefação: Atua na ausência do oxigênio, ocorre em águas, calmas, relativamente profundas, onde o ambiente é extremamente redutor. O quimismo neste ambiente não permite a presença de oxigênio livre. Este

processo produz o sapropel, cujos produtores gasosos de transformação são: NH_3 , CH_4 , H_2S e H_2 .

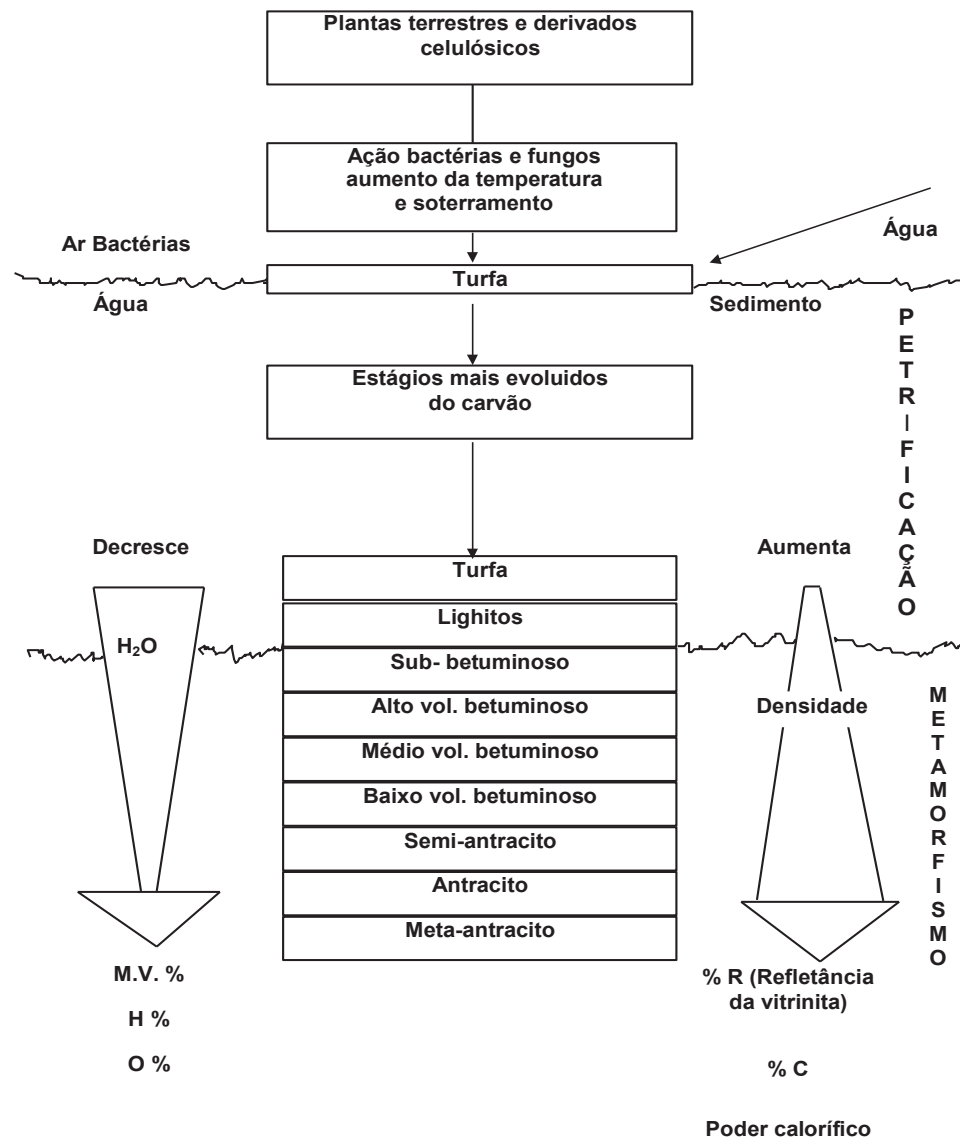
De acordo com Borba (2002, p. 4), em decorrência de soterramento, os restos vegetais ao longo do tempo geológico se solidificam, perdem oxigênio e hidrogênio e se enriquecem em carbono, em um processo denominado carbonificação.

Segundo Popp (2002, p. 328), sob estas condições, a turfa diminui de volume, aumenta seu teor de carbono, perda d'água e gases e transforma-se em linhito, que passa a apresentar-nos características, tais como:

- Maior teor de carbono;
- Menor porosidade;
- Maior densidade;
- Maior homogeneidade.

A carbonização compreende todos os processos de conversão dos combustíveis, a partir da turfa, passando pelo linhito e demais tipos de carvão, até o antracito. Na turfa, o parâmetro usado para medida do grau de carbonização é o seu conteúdo em água. A partir do linhito, os parâmetros utilizados são o conteúdo de carbono fixo, conteúdo de voláteis e o poder refletor. De acordo com esses parâmetros, o carvão é classificado em turfa, linhito, hulha (ou carvão betuminoso), antracito e mentracito (POPP 2002, p. 328). A figura 2, representa a formação do carvão.

Figura 2 - Etapas de formação do carvão



Fonte: Paul et al., (1990).

Borba (2002), afirma que quanto mais intensas a pressão e a temperatura a que a camada de matéria vegetal for submetida, e quanto mais tempo durar o processo, mais alto será o grau de carbonificação atingido, e maior a qualidade do carvão.

3.4 GEOLOGIA

Em Santa Catarina, o carvão ocorre na bacia Sul-Catarinense, indo de sul para norte do município de Araranguá ao de Lauro Müller, com cerca de 21% das reservas medidas oficiais brasileiras (1.525.021.083 ton) e 22% das provadas e prováveis (201.921.000 ton) (BORBA, 2002, p. 4).

Segundo Gomes, Cruz e Borges (2003), o depósito de carvão Sul Catarinense tem sido intensamente explorado, devido às propriedades coqueificantes do carvão da camada Barro Branco (fração para indústria de coque) e o consumo nas plantas termoeletricas de Tubarão, SC.

As jazidas catarinenses ocorrem nos municípios de Grão Pará, Orleans, Lauro Muller, Urussanga. Siderópolis, Criciúma, Içara, Nova Veneza , Maracajá, Araranguá, Forquilha e Treviso. As camadas estão sempre associadas às arenitos e siltitos da formação Rio Bonito, que engloba os membros Triunfo, Paraguaçu e Siderópolis (GALATTO; LOPES; SANTO, 2009).

A formação Rio Bonito é formada por arenitos médios, siltitos cinza-esverdeados, cinza-escuros e carbonosos com leitos e camadas de carvão, na porção basal. Ocorre, ainda, um pacote predominante político, constituído por siltitos cinza a cinza-claros, cinza-escuros pretos, carbonosos, por vezes argilosos, maciços, com intercalações de arenitos e camadas de carvão. A espessura total desta unidade é de aproximadamente, 90 a 120 metros (GUERRA, 2000).

De acordo com Dias (1995), o termo Rio Bonito foi inicialmente utilizado para definir uma associação de arenitos, folhetos e leitos de carvão na Região Sul Catarinense.

Segundo Guerra (2000), a formação Palermo é composta por siltitos arenosos cinza-esverdeados e amarelos internamente biotubados intercalados com arenitos finos e médios apresentando laminação plano-ondulada.

Dias (1995), afirma que a formação Palermo distribui-se uniformemente onde constitui uma cobertura com espessura média de 92 metros, cobrindo grandes minas subterrâneas de carvão.

A formação Rio do Rastro é uma unidade caracterizada por sedimentação predominante flúvio-lacustre , sendo composta, litologicamente, por arenitos finos a médios, siltitos e argilosos estratificados, com tonalidade esverdeados, bordôs ou

avermelhadas. A espessura desta unidade é da ordem de 70 a 90 metros (GUERRA, 2000).

De ocorrência restrita, a formação Irati tem suas principais exposições condicionadas aos principais altos topográficos. Sotoposta, via de regra, a corpo básico intrusivo de expressão regional relacionada à formação Serra Geral, a unidade mostra-se muito afetada (DIAS, 1995, p.8).

Segundo Guerra (2000), a formação Irati se caracteriza pela presença de folhetos carbonosos, micáceos, pretos, intercalados com margas na base ocasionalmente brechados, sendo sua espessura variável de 15 a 20 metros.

A formação Serra Geral Tem espessura entre 10 a 57 metros, sustentando a topografia por efeito da resistência diferencial aos processos de intemperismo e erosão, desenhando uma forma de relevo do tipo massa. O lítipo preferencial é equigranular fino a afanítico, de coloração cinza-escuro a preta, eventualmente com passagens para fácies porfíricas. Notáveis feições de disjunção colunar estão presentes (DIAS, 1995).

De acordo com Guerra (2000), a formação Botucatu é constituída por arenito avermelhado, fino a médio, róseo-avermelhados, com grãos foscos e bem arredondados.

Com espessura média de 35 metros, o pacote é constituído predominantemente por arenitos médios a grosseiros, cinza-esbranquiçados, arcóseos, por vezes conglomerados de grânulos com galhas de argila e carvão, manchas de óleo, estícolitos e pirita (DIAS, 1995).

A camada de carvão Barro Branco é a mais importante das camadas de carvão da bacia carbonífera, em razão de sua ampla e persistente distribuição geográfica e da qualidade de seu carvão, o único atualmente explorado no Brasil com propriedades coqueificantes, permitindo seu uso na indústria siderúrgica nacional. (SECRETARIA DE ESTADO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA, DAS MINAS E ENERGIA, 1990).

O carvão da Camada Barro Branco é classificado pelo como “Betuminoso de Alto Volátil A”. Na região da Jazida Sul-Catarinense existem muitas intrusões de diabásio, diques esoleiras, que afetam as camadas de carvão, estas podendo chegar ao grau de antracito. Numa área conhecida como “Montanhão”, o carvão é minerado para produção de antracito ,com valores de venda mais elevados que os

produtos usuais da Jazida. A Camada Barro Branco contém teores expressivos de macerais do grupo da exinita, podendo-se considerar que seu carvão é transicional ao fácies sapropélico. Este fato, além de sua posição no seus altos índices de capacidade de coqueificação. Os teores de enxofre não são altos 1a 3% (GOMES; CRUZ; BORGES, 2003).

3.5 CARACTERIZAÇÃO HIDROGEOLÓGICA

Na região carbonífera ocorrem rochas com diferentes características granulométricas, texturais e estruturais. Ao longo das três bacias hidrográficas (Araranguá, Tubarão e Urussanga) existem porções mineradas a céu aberto ou em subsolo bem como locais cobertos por rejeito, o que reforça a necessidade de se avaliar, através de uma caracterização hidrogeológica, a possibilidade de intercomunicação entre os diferentes intervalos aquíferos e as fontes de poluição ali presentes (KREBS; POSSA, 2008).

Aquífero é um estrato ou formação geológica que permite a circulação de água por seus poros ou fraturas, e de onde a água subterrânea pode ser extraída em quantidades economicamente viáveis, por meio de poços. Pode ser considerado um reservatório de água subterrânea. (BOSCOV, 2008).

Conhecer o condicionamento geológico-estrutural de uma determinada região é fundamental para a determinação de estruturas aquíferas. Sabe-se que a maior ou menor capacidade de armazenamento e de transmissão de água está diretamente relacionada à existência de sistemas de juntas, fraturas ou falhas na rocha. A caracterização e a perfeita identificação desses parâmetros são atividades importantes para que os problemas de infiltração e, por consequência, de geração de drenagem ácida no interior da mina sejam minimizados (KREBS; POSSA, 2008).

Segundo Boscov (2008), os aquíferos podem ser constituídos de camadas de solo ou rocha. A água subterrânea se move por poros dos solos e fraturas das rochas, como em uma esponja.

O aquífero fraturado ou fissurado está geralmente associado a rochas ígneas e metamórficas, nesse tipo de aquíferos, a água se encontra nas fissuras ou fraturas, juntas ou ainda em falhas e, em casos particulares, em vesículas, abertas de dissolução, zonas de decomposição (BOSCOV, 2008).

Estudos realizados demonstraram que, na região carbonífera, ocorrem aquíferos relacionados aos diferentes tipos de rochas e de sedimentos ali presentes. As rochas ígneas constituem os aquíferos do tipo fraturado, e as rochas sedimentares gonduânicas, os sedimentos terciários e/ou quaternários constituem os aquíferos do tipo poroso (KREBS; POSSA, 2008).

A caracterização hidrogeológica e hidroquímica permitirá o conhecimento do comportamento das águas subterrâneas do ponto de vista quantitativo e qualitativo. Estas informações são essenciais à definição das ações que visam à preservação ambiental da região (KREBS; POSSA, 2008).

3.6 FALHAMENTOS

Falhamentos ou falhas são rupturas e deslocamento que ocorre numa rocha ao longo de um plano, e papel qual as paredes opostas se movem em relação a outra. A característica essencial é o movimento diferencial de dois blocos ou camadas, ao longo de uma superfície de fratura ou fraqueza (CHIOSSI, 1975).

Segundo Popp (2002), a contínua busca de equilíbrio na crosta terrestre, em virtude dos contínuos movimentos das placas que se processam desde a sua consolidação, implica na deformação e ruptura das rochas.

As falhas podem produzir escarpas na topografia, entretanto, vale lembrar que nem toda escarpa se originou por falhamento. Há também escarpas produzidas por erosão diferencial. Escarpas de Falhamentos são raras no local onde se deu a falha, pois em breve a erosão vai agir recuando o escarpamento, formando então escarpas ao longo de linhas de falhas paralelas à direção de falhamento, mas não coincidentes nestas. Com o tempo, a erosão destrói toda a evidencia de falha e esta só pode ser então ser reconhecida por meios indiretos: faltas ou nascentes alinhadas (acompanhamento à direção de falhamento). É muito útil também a observação de espelhos de falhas, brechas e milonitos. Em fotografias aéreas, a mudança brusca de cor de terreno, o desvio do curso de um rio, linha de vegetação, são indícios de falhas. (CHIOSSI, 1975).

Quando as fraturas ou falhas não são de origem por esforços tectônicos, podem ter origem em escorregamentos de sedimentos argilosos ou plásticos ou por quedas de teto de cavernas ou minas formadas em regiões calcárias que sofreram

dissolução, ou ainda por vulcanismo. As regiões brasileiras que apresentam maior intensidade de falhamento são aquelas onde predominam rochas metamórficas antigas do embasamento ou rochas pré-cambrianas. Ocorrem também, embora em menor escala falhas nas rochas sedimentares e vulcânicas das bacias sedimentares (POPP, 2002).

De acordo com Chiossi (1975, p. 125), os elementos de uma falha é definido como:

- Plano de falha: é a superfície ao longo da qual se deu o deslocamento;
- Linha de falha: é a intersecção do plano de falha com a superfície topográfica;
- Espelhos de falhas: origina-se em consequência do deslocamento;
- Brechas de falhas: quando o movimento é forte, as rochas no plano de falha podem se fraturar e ser, posteriormente, cimentadas.

Segundo POPP (2002, p. 200), as falhas podem ser definidas da seguinte forma:

- Falha normal ou de gravidade: é aquela em que o teto baixou em relação ao muro. Tais falhas resultam de um esforço de tensão. O mergulho do plano de falha pode variar de quase horizontal pra vertical;
- Falha inversa ou de empurrão: é aquela em que o teto sobe em relação ao muro. São produzidas por esforço de compressão;
- Falha de acavamento: é uma falha de empurrão em que o plano de falha tem em geral um ângulo inferior de 10° e o teto tende a deslocar-se por longas distâncias.

3.7 EXTRAÇÃO DE CARVÃO

Minerar é uma das atividades mais primitivas exercidas pelo homem, com fonte de sobrevivência e produção de bens sociais e industriais. A forma de extrair os bens minerais que a natureza nos oferece tem sido aprimorada nos últimos 50 anos (KOPEZINSKI, 2000).

Os primeiros trabalhos de exploração de carvão no estado catarinense ocorreram na região de Lauro Muller, no ano de 1861 quando o Visconde de Barbacena recebeu do imperador D. Pedro II a concessão de lavra para explorar

carvão mineral. Até 1884 predominavam as pequenas produções, com extração totalmente manual (CETEM, 2001 apud GALATTO; LOPES; SANTO, 2009).

Na lavra manual, o carvão bruto é retirado pelos mineiros através de pá e carregado em carrinhos que se deslocam sobre trilhos. As operações, geralmente efetuadas neste tipo de lavra são: escoramento do teto, furação, detonação e limpeza das frentes, utilizando-se máquinas pouco possantes que requerem muito esforço físico (SECRETARIA DE ESTADO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA, DAS MINAS E ENERGIA, 1990).

A mecanização da lavra de carvão mineral na década de 70, em Santa Catarina, acelerou o desenvolvimento das frentes de extração no subsolo, o que demandou estudos geológicos e controles estruturais das rochas cada vez mais sofisticados (levantamento das falhas, dureza das encaixantes, sustentação do teto, água e nível freático, atitudes das camadas, qualidade do carvão) para o planejamento das atividades mineiras (GOMES; CRUZ; BORGES, 2003).

De acordo com a Secretaria de Estado da Ciência e Tecnologia, das Minas e Energia (1990, p. 24), na lavra mecanizada empregam-se conjuntos de equipamento mecanizados tais como:

- Cortadeira universal (*coal cutter*);
- Perfuratriz rotativa (*face drill*);
- Perfuratriz de teto (*roff bolter*)
- Carregador (*loader*);
- Carros transportadores (*shuttle car*);
- Alimentador cortador (*feeder breaker*);
- Centro móvel de força (*power center*).
- Minerador contínuo.

A seguir a figura 3, 4 e 5 representam as formas de extração mecanizada da mina.

Figura 3 – Minerador Contínuo.



Fonte: Acervo da empresa, (2013).

Figura 4 - Perfuratriz de teto.



Fonte: Acervo da empresa, (2013).

Figura 5 - Carros transportadores (*shuttle car*).



Fonte: Acervo da empresa, (2013).

3.8 PROCESSOS DE EXTRAÇÃO

As formas de extração de minerais podem ser mais variadas possíveis e ocorrem em dois ambientes: em superfície, a céu aberto e/ou subterrâneo, assim como, as demais atividades modificadores do meio ambiente, a mineração poder ser analisada segundo três fases de seu desenvolvimento: implantação, funcionamento e desativação (KOPEZINSKI, 2000).

De acordo com Muller et al. (2002), a atividade de lavra consiste no conjunto de operações cujo o objetivo é o desmonte e extração das camadas de carvão para posterior processamento na usina de beneficiamento.

3.8.1 Extração de Lavra Subterrânea

A seleção do método de lavra a ser adotado depende das condições geológicas do jazimento, da profundidade da camada, da espessura da camada e sua inclinação, número e posição das camadas, presença de gás, estruturas geológicas existentes (MULLER et al, 2002).

Segundo a Secretaria de Estado da Ciência e Tecnologia, das Minas e Energia (1990), o acesso à camada de carvão é feito através de poço e plano inclinado. Além disso, é normal a abertura de um segundo poço, para facilitar o

sistema de ventilação da mina.

Muller et al. (2002), destaca que atividade de mineração subterrânea implica, entre outros aspectos, na abertura de poços, planos inclinados, ou galerias de encostas, para extração do minério, transporte de materiais e de pessoal, para ventilação.

De acordo com a Secretaria de Estado da Ciência e Tecnologia das Minas e Energia (1990), em Santa Catarina o método utilizado é o de câmeras de pilares e o de frente larga (*longwall*). O método de câmeras de pilares consiste basicamente na abertura de um eixo principal de transporte, que pode ser constituído de duas ou mais galerias paralelas e perpendicularmente a este são traçados os painéis de produção, onde são abertas galerias de produção (ou câmeras), da fase de desenvolvimento e entre estas são deixados pilares os quais são retirados total ou parcialmente, na fase de recuo. O método frente larga é normalmente empregado em minas de grande profundidade, onde a perda em pilares seria muito elevada utilizando-se outro método: onde o teto é friável (dificuldades para o seu escoramento); onde existem camadas com forte mergulho; a existência de duas ou mais camadas de pequena espessura (MULLER et al., 2002, p. 60). A Figura 6 representa a área minerada e suas estruturas geológicas bem como os painéis de proteção da mina.

3.9 IMPACTOS AMBIENTAIS NA MINERAÇÃO

A mineração representa uma atividade industrial que será sempre necessária para o bem-estar das sociedades, embora produza impactos ambientais significativos em todas as suas fases: prospecção e pesquisa, extração, beneficiamento, refino e fechamento de mina (FIGUEIREDO, 2000).

O impacto ambiental, positivo ou negativo causado pela atividade extrativa dependerá exclusivamente da ação antrópica. A atividade humana é que determinará o tipo, a magnitude e as consequências da alteração ambiental no meio a ser minerado. Embora se utilizem técnicas avançadas e modernas para amenizar os aspectos degradacionais produzidos, muitos procedimentos necessários para a implantação dos empreendimentos mineiros não podem ser evitados, ocasionando muitas vezes impactos inevitáveis nos meios físico, biótico e antrópico (KOPEZINSKI, 2000).

Os efeitos na fase de pesquisa podem ser significativos, pois ocorrem a aberturas de trincheiras, poços e caminhos para movimentação dos equipamentos de geofísica e perfuração, podendo afetar a vegetação, a fauna, alterações de paisagens e acelerarem processos de erosões. Nesta fase de planejamento ambiental do futuro empreendimento é importante um conjunto de ações preventivas, tais como monitoramento da qualidade das águas, superficial e subterrânea, dos solos avaliação dos *backgrounds* regionais e locais, da diversidade da fauna e da flora (FIGUEIREDO, 2000).

Segundo Figueiredo (2000), na fase de extração de minério podem produzir danos à vegetação e à paisagem, especialmente nas lavras a céu aberto e a onde se requeira o uso de madeira para a produção de energia.

Kopezinski (2000) destaca que, além disso, existem problemas decorrentes dos diferentes processos de desmonte como, por exemplo, quando o uso de explosivos que pode resultar em vibrações, ultra lançamento de fragmentos, ruídos e gases.

O lençol freático local na fase de operação é rebaixado por meio de bombeamento da água, onde na fase de desativação é reestabelecido e um grande volume de rochas fica exposto aos processos de oxidações, o mesmo ocorrendo com as pilhas de minérios expostos. Pode ocorrer a formação de drenagem ácida de

mina (DAM), com efeitos adversos para a qualidade das águas superficiais e subterrâneas. Os níveis de oxidação natural das águas subterrâneas e de gases, oriundos de várias fontes, deve-se ser controlado por meio de sistemas de ventilação adequados. Produção de pó e ruídos constituem também aspectos negativos da lavra de minérios (FIGUEIREDO, 2000).

Já na etapa de beneficiamento, para qual existe uma grande variedade de métodos e técnicas associadas ao tipo de minério, quase sempre são envolvidos aditivos químicos, tratamentos mecânicos ou queima de combustível, cujos efeitos intervêm direta ou indiretamente no meio ambiente (KOPEZINSKI, 2000).

Impactos ambientais significativos podem ser causados na fase de beneficiamento como: a disposição de pilhas de rejeitos ocupam grandes áreas que devem estar sujeitas a monitoramento permanente para atenuar os efeitos de substâncias indesejáveis nas águas superficiais e subterrâneas, solos e sedimentos. Emissão na atmosfera de SO₂, hidrocarbonetos, flúor e outras substâncias tóxicas, podem ocorrer durante a fase de beneficiamento do minérios e refino dos metais. Efeitos adversos que afetam diretamente a saúde do trabalhador das minas e plantas industriais não devem ser subestimados (silícios, contato com substâncias tóxicas, ruído e calor) (FIGUEIREDO, 2000).

Kopezinski (2000), salienta que nas etapas subsequentes, verificam-se os problemas acarretados com transporte dos materiais extraídos, como por exemplo, poeira e vibrações provocadas por veículos.

Com o esgotamento inevitável do depósito, o fechamento da mina precisa ser planejado. O lençol freático tenderá a elevar-se após cessar o bombeamento, e grandes quantidades de materiais ficarão expostos à oxidação, além das ferragens e madeiras, ficarão debaixo d'água, e cavas se transformarão em grandes lagoas. Todo um conjunto de efeitos no ambiente precisa ser previsto e simulado em experimentos, para garantir a estabilidade dos ecossistemas alterados por um longo tempo futuro (FIGUEIREDO, 2000).

Segundo dados de Gomes (2004 apud GALATTO; LOPES; SANTO, 2009), na Bacia Carbonífera Catarinense havia cerca de 5.500 hectares de áreas degradadas pela mineração de carvão, dos quais: 2.770 hectares eram de áreas mineradas a céu aberto, 2.730 hectares de depósitos de rejeito e 58 hectares de áreas formadas por lagoas ácidas. Ressalta-se que, deste total 9% foram mapeados

como áreas urbanas e 30% como áreas revegetadas.

Segundo dados do 6º Relatório de Monitoramento dos Indicadores Ambientais (2011), de modo geral, é possível concluir que os 6.607,44 ha de áreas impactadas são compostos aproximadamente por:

- 4.561,30 ha de áreas já incluídas nos cronogramas dos projetos de recuperação;
- 848,62 ha de áreas ocupadas por pátios em operação;
- 915,69 ha de áreas ocupadas pela urbanização.

Esses resultados das áreas identificadas na 3ª campanha de monitoramento da cobertura do solo foram baseados em imagens de satélite de 2011, complementadas com os trabalhos de validação de campo realizados em 2011 e 2012.

De acordo com a Secretaria de Estado da Ciência e Tecnologia das Minas e Energia (1990, p. 56), os principais impactos ambientais negativos decorrentes da mineração são:

- Escassez de reservas de águas superficiais;
- Alto índice de incidência pneumopatias;
- Desvalorização e limitação do uso solo das áreas urbanas;
- Ocupação do solo de forma desordenada;
- O impacto da lavra de carvão sobre a agricultura;
- Impacto sobre a pesca artesanal e comercial;
- Degradação eco paisagística;
- Desvalorização de terras rurais;
- Assoreamentos de rios; e
- Limitação de uso de terras rurais para pecuária.

3.10 DISPOSIÇÃO DOS REJEITOS

Devido à carência de planejamento, tecnologia e políticas ambientais, as carboníferas, durante anos, não adotaram técnicas adequadas para a disposição de rejeitos. À medida que as reservas eram exauridas as mineradoras se deslocavam para novos sítios de extração, deixando para trás expostas ao ambiente, pilhas de rejeitos e estéreis parcialmente ou não recuperadas. Atualmente, as minas em

operação adotam práticas de projetos de depósitos licenciados e impermeabilizados de acordo com normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) (GALATTO; LOPES; SANTO, 2009).

De acordo com Kopezinski (2000), a estocagem de rejeitos de mineração de carvão ainda é um grande problema ambiental para a Região Sul do Brasil, já que a mesma é responsável pela produção nacional de carvão.

Nas minas de Santa Catarina, a maior parcela do minério ROM (*run-of-mine*) extraído é constituída de materiais carbonosos ou piritosos que não são aproveitados para fins de combustão direta. Esses materiais são rejeitos ao longo do processo de beneficiamento e representam em média 73% do minério retirado das minas (ROM). Os 27% restantes compõem o produto da mineração, ou seja, o carvão energético e outros derivados. (MACHADO; PERUFFO; LIMA, 2004 apud GALATTO; LOPES; SANTO, 2009).

Com base nessas informações Muller et al. (2002), destaca a criação de medidas e programas com base na engenharia consultiva, para a elaboração de projetos executivos dos depósitos de rejeitos sólidos.

De acordo com Bates (2002), embora seja possível se projetar obras estáveis, existe a necessidade de se manter um controle rígido durante sua construção, a fim de evitar a formação dos planos de fraqueza que podem permitir a infiltração e uma eventual falha.

O reservatório é projetado com tratamento da fundação, revestimento impermeável de fundo, sistema de coleta e tratamento e/ou reutilização de percolados, disposição controlada dos rejeitos, proteção contra escape de material particulado, entre outros (BOSCOV, 2008).

Segundo a Secretaria de Estado da Ciência e Tecnologia das Minas e Energia (1990, p. 56), descreve alguns métodos para controle dos depósitos de rejeitos conforme a seguir:

- Lagoas de sedimentação;
- Nivelamento e compactação da superfície;
- Isolamento das águas superficiais de montante através de drenagens;
- Disposição seletiva dos rejeitos envolvendo o rejeito piritoso com outros menos ricos em enxofre;
- Reflorestamentos para fins ambientais; e

- Cobertura com gramíneas.

Segundo Boscov (2008), a vida útil da barragem de rejeitos, assim como o planejamento dos alteamentos, baseiam-se no plano de lavra e no sistema de beneficiamento, bem como o comportamento geomecânico dos resíduos.

3.11 DRENAGEM ÁCIDA DE MINA (DAM)

As áreas mineradas foram, em grande parte, utilizadas como depósitos de rejeitos e estéreis da mineração do carvão por várias mineradoras da região. A exposição desses materiais às condições atmosféricas e, conseqüentemente, dos seus minerais sulfetados, possibilitou a formação de drenagem ácida, provocando a alteração da qualidade das águas pela diminuição do pH, afetando as águas subterrâneas e superficiais (POSSA; SOARES; SANTOS, 2008).

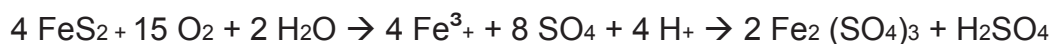
Um dos mais graves impactos ambientais associados à atividade de mineração é a DAM, nome no qual é dado à solução aquosa ácida resultante da percolação de água (geralmente de chuva) por depósitos de rejeitos ou estéreis quem contem minerais sulfetados. Na presença de água e oxigênio e água, os minerais sulfetados oxidam. A oxidação dos minerais sulfetados é responsável pela diminuição do pH do meio aquoso. A solução ácida tem maior potencial de dissolver metais eventualmente contidos nos matérias pelos quais percolam, agindo como agente lixiviante dos resíduos e produzindo um percolado rico em ácido sulfúrico e metais dissolvidos. Caso o percolado atinja corpos hídricos próximos, pode contamina-los, tornando-os impróprios para o uso por um longo tempo mesmo depois de cessadas as atividades de mineração (BOSCOV, 2008).

Segundo Skousen (1996 apud PEREIRA, 2010), a DAM pode ser caracterizada em alguns tipos básicos:

- Tipo 1: pouca ou ausência de alcalinidade ($\text{pH} < 4,5$), com altas concentrações de Fe, Al, Mn e outros metais pesados, acidez e oxigênio.
- Tipo 2: possui alta taxa de sólidos totais dissolvidos (STD), alta concentração de íon de ferroso e de Mn, baixo teor de oxigênio e pH maior que 6,0. Sob oxidação o pH dessa água aumenta dramaticamente e torna-se na água tipo 1.

- Tipo 3: a quantidade de STD é moderada alta, o teor de íon ferroso e Mn baixo moderado, baixo teor de oxigênio, pH maior que 6,0 e maior potencial de alcalinidade que acidez. Sob oxidação o ácido gerado de hidrólise do metal e reação de precipitação é neutralizado pela alcalinidade ainda presente na água.
- Tipo 4: DAM neutralizada com pH maior que 6,0 e alta taxa de partículas em suspensão. A estabilização dos hidróxidos de metais na água ainda não ocorreu. Com o tempo de residência em reservatório, os particulados assentarão e formarão água tipo 5.
- Tipo 5: DAM neutralizada com pH maior que 6,0 e STD alto. Depois de muitos hidróxidos de metais terem precipitados, os cátions principais na água são Ca^{+2} em cima e Mg^{+2} em cima. Ânions solúveis com bicarbonato e sulfato também permanecem na solução. Não aconteceu caso haja escassez de alcalinidade e teor de oxigênio.

De acordo com Figueiredo (2000, p. 328), em contato com o oxigênio, a pirita participa da seguinte reação:



Os produtos dessa reação, que é catalisada por bactérias, são Fe^{3+} solúvel na forma de sulfato e ácido sulfúrico concentrado. Quando essa solução sofre diluição, com o aumento do pH, parte do ferro precipita com $\text{Fe}(\text{OH})_3$, dando à drenagem a sua cor ferruginosa característica. Essa solução ácida é agressiva em relação aos demais minerais de minério, liberando metais pesados tóxicos para o ambiente (FIGUEIREDO, 2000).

Galatto, Lopes e Santo (2009, p. 56), apontam que os fatores que influenciam diretamente na geração da DAM são:

- A mineralogia do substrato: quantidade, tipo e reatividade dos sulfetos, carbonatos ou minerais presentes, e quantidade e tipo de argilo-minerais presentes;
- As condições ambientais: temperatura, concentração de oxigênio, presença de bactérias, pH do meio e regime de chuvas;

- As características de lavra, condicionamento e granulometria dos substratos.

Essas condições são específicas para cada sítio de mineração e possibilita a aceleração, o retardamento ou até mesmo impedem o processo de geração de DAM. Assim, uma análise criteriosa dessas variáveis é fundamental para se conhecer e combater as causas e os efeitos da DAM no meio ambiente (GALATTO; LOPES; SANTO, 2009).

3.11.1 Tratamento e controle da DAM

O tratamento e o controle da DAM podem ser realizados por vários métodos, de acordo com as características intrínsecas de cada ambiente, isto é, composição do minério e das rochas encaixantes, volume de água, método de lavra e processo de beneficiamento (IPAT, 2001apud GALATTO; LOPES; SANTO, 2009).

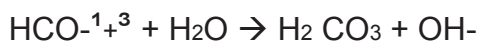
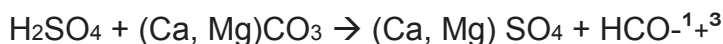
Os métodos de tratamentos convencionais são tecnologias bem conhecidas para reduzir a acidez ou criar condições de oxidação/redução, os quais podem minimizar a geração da DAM. Com por exemplo: estações de tratamento, recolocação de resíduos, cobertura de pilhas de rejeitos, estratégias de desvios de cursos d'água e revegetação. Os “tratamentos ativos” consistem na retirada das águas dos seus cursos, para serem tratadas, e em seguida descarregadas novamente, este método por sua vez, é o mais usado pelas empresas de mineração de carvão. (PEREIRA, 2010, p. 177).

De acordo com Galatto, Lopes e Santo (2009, p. 56), dentre os tratamentos consagrados de DAM, aplicados pode-se citar os seguintes:

- Adsorção de metais em leito de carvão ativado;
- Adsorção de cátions em áreas alagadas (wetlands);
- Adsorção de metais em leito de turfa;
- Controle de pH e precipitação de metais pela adição de substâncias alcalinas como cal, hidróxido de sódio e calcário, entre outras;
- Flotação de íons;
- Troca catiônica; e
- Uso de bactérias degradantes de celulose.

Segundo Figueiredo (2000, p. 328), as DAMs podem ser neutralizadas

com contato com rochas carbonáticas por meio das reações:



Devido a esse fato, certos depósitos de sulfeto hospedados em rochas carbonáticas ou portadoras de importantes zonas de alteração hidrotermal carbonática não apresentam drenagem ácidas na mina. A adição de calcário é um dos métodos recomendados para remediar os problemas causados pela DAM (FIGUEIREDO, 2000, p. 329). Por esse motivo normalmente, comumente é utilizado na correção de pH de águas ácidas (GALATTO; LOPES; SANTO, 2009).

O controle da ocorrência de DAM, segundo Rtcey (1989 apud GALATTO; LOPES; SANTO, 2009, p. 59), somente pode ser alcançada pela adoção de uma ou mais das seguintes medidas:

- Minimizar a quantidade de oxigênio em contato com superfície dos sulfetos;
- Restringir a penetração de água nas pilhas de rejeito e estéreis que estão sujeitas ao intemperismo;
- Recuperar os minerais sulfetados (por flotação) antes de serem depositados como rejeito;
- Controlar o pH dos efluentes pela adição de materiais alcalinos como cal, calcário, fosfato, entre outros; e
- Usar bactericidas para evitar que bactérias ferro-oxidantes ataquem os minerais sulfetados, provocando sua oxidação.

Pereira (2010, p.176), destaca que as ações para diagnosticar e mitigar os impactos gerados pela DAM envolve:

- O conhecimento do histórico das minas;
- Identificação e avaliação preliminar das áreas com contaminação potencial e risco a saúde humana, solo e água;
- Estudos para melhores alternativas de mitigação;
- Diagnostico preliminar (avaliação geológica), investigação complementares;

- Diagnostico final e estudo hidrogeológicos; e
- Elaboração da solução conceitual.

3.12 TRATAMENTO DE EFLUENTES

Despejos industriais, também denominados águas residuais ou efluentes industriais, são correntes líquidas ou suspensões originárias de processos, operação e ou utilidades, podendo vir acompanhados também de águas pluviais contaminadas e esgotos sanitários. Suas características originais impedem o aproveitamento em termos técnicos e/ou econômicos na própria fonte geradora destinando-se, portanto, direta ou indiretamente, a um corpo receptor (CAVALCANTI, 2009).

De acordo com Nunes (2004), o conhecimento das águas residuárias industriais constitui o primeiro passo para o estudo preliminar de projetos, e em que possíveis tipos de tratamento podem ser selecionados.

Segundo Cavalcanti (2009), os efluentes quando lançados em um corpo hídrico ou no sistema de esgoto sanitário sem prévio tratamento pode ocasionar impactos ao ambiente que em alguns casos se tornam irreversível.

Contudo, antes das descargas em corpo receptor, os constituintes dos despejos necessitam de ser tratados aos níveis definidos em conformidade com padrões sanitários, ambientais e legais de lançamento e de qualidade. Tal procedimento visa à preservação de um meio ambiente sustentado e, em particular, a manutenção de integridade das águas receptoras que se destinam aos diversos usos pretendidos, notadamente abastecimento de água (CAVALCANTI, 2009).

Segundo Lemos (1992 apud FRIZZO et al., 1996), o efluente despejado no corpo hídrico deve ser monitorado e analisado, devido suas cargas poluidoras poderem afetar a sobrevivência a composição genética e a biodiversidade dos organismos aquáticos, além de afetar diretamente e indiretamente na saúde humana.

De acordo com Cavalcanti (2009), em algumas situações o objetivo primordial do tratamento de efluentes é a preservação do meio ambiente, principalmente dos recursos hídricos.

3.13 TIPOS DE TRATAMENTO DE EFLUENTE LÍQUIDO

Conforme Cavalcanti (2009), modernamente introduziu-se as práticas de reuso como objetivo adicional do tratamento de despejos industriais, de modo a permitir a reciclagem interna não potável e a consequente economia de água e custos.

Em função do volume de águas residuais gerado diariamente, o tratamento adotado poderá ser contínuo ou periódico. No tratamento contínuo, as águas residuárias estão sempre entrando e saindo do reator, com fluxo contínuo ou intermitente (batelada). No processo de fluxo intermitente, é estabelecidos ciclos de operação com duração definidas, onde ocorrem todas as etapas do tratamento. O tratamento contínuo, geralmente é aplicado em indústrias que possuem altas vazões e utilizam processos biológicos ou físico-químicos. No tratamento periódico, as águas residuárias são armazenadas durante certo período, e o processo de clarificação é efetuado posteriormente. Geralmente é aplicado em indústrias que possuem baixas vazões e utilizam processo físico-químico (NUNES, 2009, p. 83).

Segundo Cavalcanti (2009), tratamentos físicos são operações unitárias em que atuam forças promovendo a separação de fases, de modo a que cada uma destas fases segregadas sofra tratamentos específicos ou complementares.

De acordo com Cavalcanti (2009), o tratamento químico remove sólidos em suspensão e coloidais, nutrientes e metais pesados além de modificar, por reação, a estrutura de compostos orgânicos persistentes.

Os tratamentos biológicos são utilizados para a redução do conteúdo orgânico biodegradável de um despejo (DBO). Este tratamento propicia também, sob determinadas condições, nitrificação e denitrificação do despejo. É capaz de reduzir compostos orgânicos de estrutura molecular complexa, desde que pré-tratados quimicamente e sob a ação de uma biomassa climatizada. Os tipos de tratamentos englobam diferentes processos unitários (quadro 1) (CAVALCANTI, 2009, p. 39).

Quadro 1 - Tipos de tratamento de efluente líquido e os processos unitários.

TIPO DE TRATAMENTO	PROCESSOS UNITÁRIOS
Tratamentos Físicos	Gradeamento / peneiramento
	Sedimentação
	Separação por gravidade diferencial
	Flotação
	Aeração
	<i>“Stripping”</i>
	Adsorção
	Eletrodiálise
Tratamentos Químicos	Correção de pH
	Precipitação química
	Oxi-redução
	Troca-iônica
Tratamentos Biológicos	Lodos ativados
	Lagoas aeradas
	Lagoas de estabilização
	Filtros biológicos
	Contactores biológicos rotativos.

Fonte: Cavalcanti (2009), adaptado pelo autor.

3.13.1 Legislações Associadas aos Efluentes Líquidos

- Resolução CONAMA N° 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.
- Resolução n° 430, de 13 de maio de 2011, dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, completa e altera a Resolução n° 357, de 17 de março de 2005, do CONAMA.
- Lei n° 14.675, de 13 de abril 2009, institui o Código Estadual do Meio Ambiente e estabelece outras providências.
- Portaria FATMA n° 17, de 18/04/2002, estabelece os limites máximos de toxicidade aguda para efluentes de diferentes origens e dá outras providências.

3.14 MONITORAMENTO AMBIENTAL

Segundo Cajazeira (1998), os monitoramentos dos efluentes líquidos em seus aspectos físicos, químicos e biológicos, garantem a avaliação da eficiência do sistema de tratamento, além de permitir o controle verídico da qualidade do efluente.

O monitoramento ambiental é um processo de coleta de dados, estudo e acompanhamento contínuo e sistemático das variáveis ambientais, com o objetivo de identificar e avaliar qualitativamente e quantitativamente as condições dos recursos naturais em um determinado momento, assim como as tendências ao longo do tempo (EMBRAPA, 2011).

De acordo com Boscov (2008), o monitoramento ambiental consiste geralmente no controle da qualidade da água subterrânea, da qualidade de águas superficiais, da poluição do ar e da pluviometria.

O sistema de monitoramento ambiental tem a função de permitir a detecção, em estágio inicial, dos impactos ambientais negativos causados pelo empreendimento, permitindo a implantação de medidas mitigadoras antes que estes assumam grandes proporções e dessa forma, torna-se mais difícil sua correção (BATES, 2002).

Partindo deste principio Vilhena (2010, p. 280), um sistema de

monitoramento ambiental consiste em:

- Controle da qualidade das águas subterrâneas;
- Controle da qualidade das águas superficiais;
- Controle da qualidade do ar;
- Controle da poluição do solo;
- Controle de ruído e vibrações;
- Controle de poeira e material esvoaçante; e
- Controle de impactos visuais negativos.

Para o controle de águas subterrâneas, são coletadas amostras de poços de monitoramento, mensalmente ou a cada dois ou três meses. Geralmente com a mesma frequência, são coletadas amostras de corpos d'água a montante e a jusante do aterro. A pluviometria, também é importante para o monitoramento em geral a medida é feita diariamente (BOSCOV, 2008).

3.15 INSTALAÇÃO DE PIEZÔMETROS

O piezômetro é um aparelho com o qual a compressibilidade da água pode ser medida. A formação de pressão intersticial é a causa mais comum de falhas ocorridas em pilhas de rejeitos ou de barragens para escorar rejeitos. Todas as barragens cuja altura ultrapassa 9,0 metros deverão obter piezômetros instalados em locais adequados (BATES, 2002).

Segundo Victorino, Gehling e Ramires (2003), a determinação do nível do lençol freático, por meio desse instrumento, tem como principal vantagem o fato de ser de fácil montagem e de rápida execução, necessitando de materiais simples e de baixo custo.

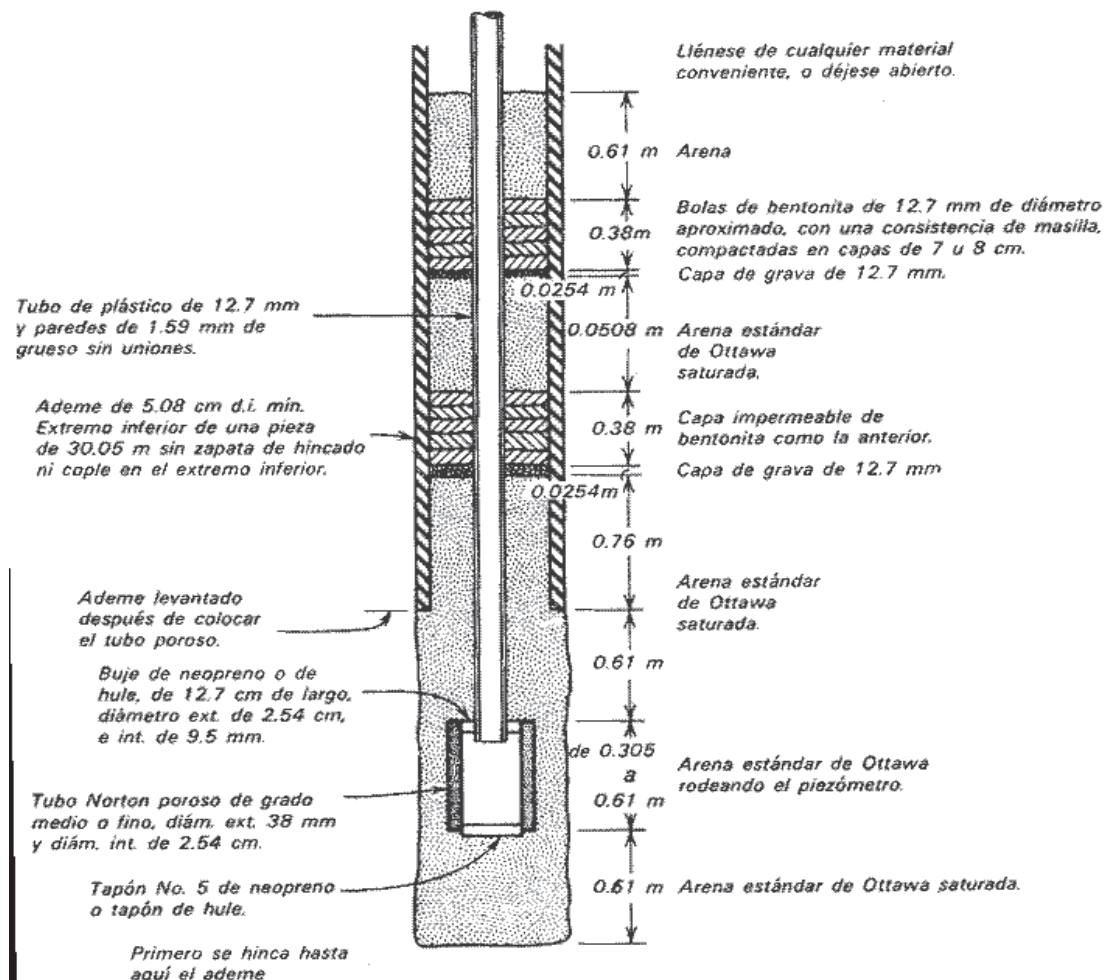
Assim locais típicos que precisam da instalação de um piezômetro são aqueles situados adjacentes a terrenos ocupados, estradas municipais, as extremidades à jusante de barragens, e nos intervalos adjacentes a qualquer sistema de drenagem instalado em terra firme, ou onde a areia contém uma grande proporção de material fino (isto é, tem característica de drenagem fraca) e também em qualquer ponto onde é provável que apareçam pressões intersticiais perigosamente altas (BATES, 2002).

3.15.1 Tipos de piezômetros

De acordo com Bates (2002), existem diversos tipos de piezômetros para se medir o nível d'água.

O piezômetro tipo Casagrande (figura 7), é constituído de um tubo colocado em um furo no solo até a profundidade onde se deseja medir. A extremidade inferior do tubo a onde é feita a medição, pode ser perfurada ou constituída por uma pedra porosa cerâmica e envolvida por material drenante. No restante do comprimento do tubo, o espaço entre o tubo e o furo é preenchido com material impermeável. A leitura do nível d'água dentro do tubo é feita com o medidor do nível d'água, e é feita pela extremidade superior do tubo (BOSCOV, 2008 p. 223).

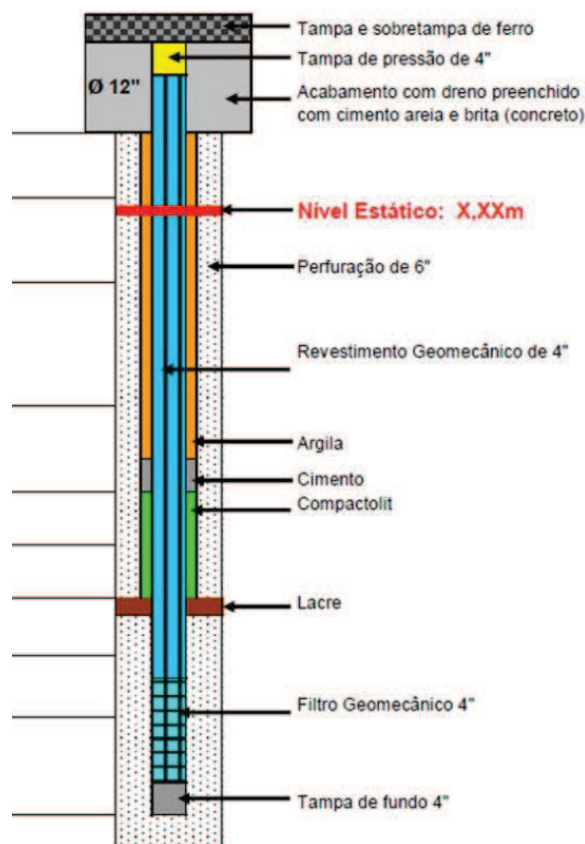
Figura 7 - Piezômetro tipo Casagrande.



Fonte: Ensaios de engenharia, (2013).

O piezômetro de tudo aberto (figura 8), poderá ser feito de tubo plástico ou de aço perfurado na extremidade inferior, e com diâmetro interno de pelo menos 3/4". Instalado no furo de sondagem, a parte perfurada é envolvida com um material filtrante, que é vedado acima e abaixo com bujões de bentonita. As leituras poderão ser feitas imediatamente, com o uso de um medidor elétrico de nível d'água (BATES, 2002, p. 104).

Figura 8 - Piezômetro tipo tudo aberto.



Fonte: Relatório de acompanhamento ambiental, (2010).

O piezômetro instalado por perfuração (figura 9), é utilizado em terreno macio, relativamente com pouca profundidade (9,0 metros ou menos), este piezômetro é essencialmente semelhante ao tipo Casagrande, sendo envolto num tudo perfurado em aço, e tendo uma ponta de perfuração que pode ser atarraxada num reservatório, as leituras são feitas com um medidor elétrico de nível (BATES, 2002, p. 104).

Figura 9 - Piezômetro tipo perfuração.



Fonte: Ambher monitoramento estrutural geotécnico, (2013).

Segundo Boscov (2008), o topo do piezômetro ou do medidor de nível d'água de ser protegido, com tampa, contra intempéries, vandalismo e acesso não permitido.

3.15.2 Frequência de leituras

De acordo com Bates (2002), a frequência depende da finalidade e do tempo de resposta do instrumento utilizado, o intervalo máximo entre as leituras não devem ultrapassar 1 mês, o intervalo mínimo poderá ser dias ou horas.

Para a realização da leitura o indicador de nível d'água é introduzido no piezômetro, e a mangueira vai sendo desenrolada até que seja emitido um sinal sonoro, o que ocorre quando a ponteira atinge a superfície da água. O comprimento da mangueira necessária para a obtenção do sinal indica a profundidade do nível d'água dentro do piezômetro (BOSCOV, 2008).

Segundo Boscov (2008), a interpretação das leituras dos piezômetros é bastante complexa, não raramente, bolsões de gás aprisionado nas células drena para atmosfera, fazendo o percolado jorrar e inutilizando a leitura.

3.16 HIDROLOGIA

Segundo Pinto et al. (1976), hidrologia é a ciência que trata do estudo da água na natureza. É parte da geografia física e abrange, em especial, propriedades, fenômenos e distribuição de água na atmosfera, na superfície da Terra e no subsolo.

De acordo com Garcez e Alvarez (1988), hidrologia é a ciência natural que trata dos fenômenos relativos à água em todos os seus estados, de sua distribuição e ocorrência e da relação desses fenômenos com a vida e com as atividades do homem.

Sua importância é facilmente compreensível quando se considera o papel da água na vida humana. Ainda que os fenômenos hidrológicos mais comuns, como as chuvas e o escoamento dos rios, possam parecer suficientemente conhecidos, devido à regularidade com que se verificam, basta lembrar os efeitos catastróficos das grandes cheias e estiagens para constatar o inadequado domínio do homem sobre as leis naturais, que reagem aqueles fenômenos e a necessidade de se aprofundar o seu conhecimento. A correlação entre o progresso e o grau de utilização dos recursos hidráulicos, evidencia também o importante papel da hidrologia na complementação dos conhecimentos necessários ao seu melhor aproveitamento (PINTO et al., 1976).

A distribuição da água sobre e sob a superfície depende das áreas terrestres depende fundamentalmente das características da crosta: tipos de rocha, peculiaridades e extensão de depósitos geológicos condicionam a ocorrência dos lençóis freáticos (GARCEZ; ALVAREZ, 1988).

Segundo Garcez e Alvarez (1988, p. 3), para fins didáticos e tendo em vista as aplicações o ciclo hidrológico apresenta quatro etapas principais tais como:

- Precipitações atmosféricas (chuva, granizo, neve, orvalho);
- Escoamento subterrâneo (infiltração, águas subterrâneas);
- Escoamentos superficiais (torrentes, rios e lagos); e
- Evaporação (na superfície das águas e no solo), e transpiração dos vegetais e animais.

Deve-se salientar a importância da fase correspondente à coleta de dados. A hidrologia baseia-se, essencialmente, em elementos observados e medidos no campo. O estabelecimento de postos pluviométricos ou fluviométricos e

a sua ininterrupta medição ao longo do tempo, são condições absolutas necessárias ao estudo hidrológico (PINTO et al., 1976).

3.17 CICLO HIDROLÓGICO

Segundo Silveira (1997), o ciclo hidrológico é o fenômeno global de circulação fechada de água entre a superfície terrestre e a atmosfera, impulsionando fundamentalmente pela energia solar associada à gravidade e à rotação terrestres.

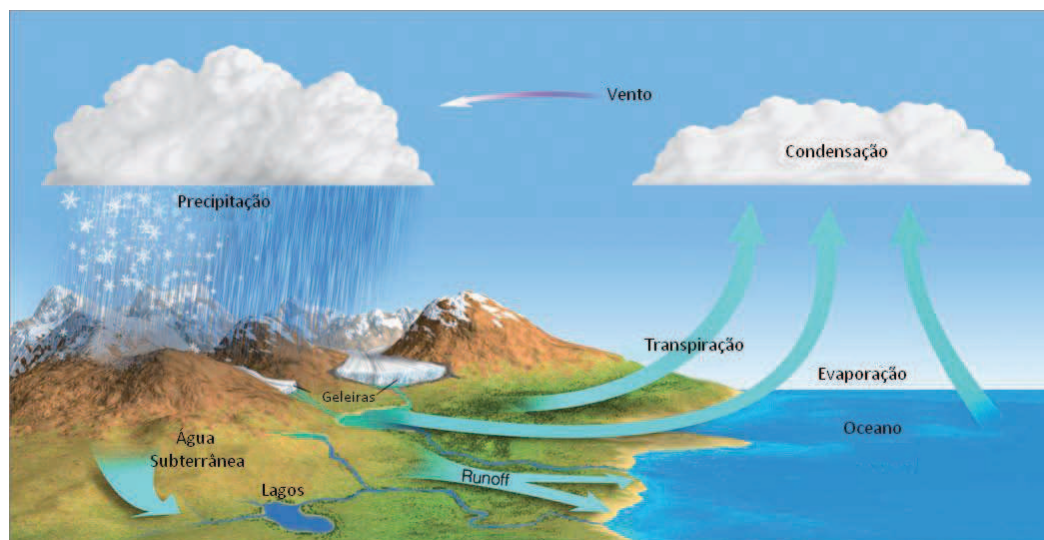
O ciclo hidrológico consiste no movimento contínuo e fechado da água presente nos oceanos, na superfície terrestre e na atmosfera. Tal movimento é impulsionado essencialmente pela força da gravidade e pela energia solar, que promove a evaporação das águas dos mares e da superfície. Assim, na atmosfera, o agrupamento de microgotículas formam as nuvens que, quando saturadas, provocam precipitações, na forma de chuva, granizo, orvalho e neve (MMA, 2013).

De acordo com o Ministério do Meio Ambiente (2013), a água precipitada na superfície terrestre pode seguir os diferentes caminhos, como:

- Infiltrar e percolar no solo, ou nas rochas, podendo formar aquíferos ou não, e reaparecer na superfície na forma de nascentes, fontes, pântanos, ou alimentar rios e lagos;
- Escorrer vagarosamente entre as partículas e espaços vazios dos solos e das rochas, podendo ficar contida por um período muito variável, formando os aquíferos;
- Escoar sobre a superfície, especificamente, em situações que a precipitação é maior do que a capacidade de absorção do solo;
- Evaporar tornando à atmosfera. Em adição a essa evaporação da água dos solos, rios e lagos, uma parte da água é absorvida pelas plantas. Essas, por sua vez, liberam a água para a atmosfera por meio da transpiração. A esse conjunto, evaporação mais transpiração, dá-se o nome de evapotranspiração; e
- Congelar desenvolvendo as camadas de gelo nos picos de montanha e geleira.

A seguir a figura 10 apresenta as etapas do ciclo hidrológico.

Figura 10 - Ciclo hidrológico.



Fonte: Meteorópolis, (2013).

3.18 CLIMA NA REGIÃO SUL CATARINENSE

O clima na região sul do Brasil é classificado como subtropical, sendo apontado por fatores referentes às frentes meteorológicas (dinâmica da atmosfera) e fatores como a geografia, a continentalidade e a maritimidade. As massas de ar que influenciam no clima da região sul do Brasil são: Massa Tropical Marítima; Massa Polar Marítima; Massa Tropical Continental e Massa Equatorial Continental (BACK, 2009).

A região sul catarinense está em uma condição temporal tropical no verão e temperada no inverno. Conforme Sônego (2002, p. 102), no sul catarinense predomina clima de latitudes subtropicais:

[...] O sul de Santa Catarina apresenta clima quente no verão e ameno no inverno, com chuvas bem distribuídas durante o ano. O clima é Subtropical Úmido com Verão Quente, pelo sistema de Köppen, recebendo a simbologia Cfa. A temperatura média anual varia de 17 a 20°C, com a temperatura média das máximas variando de 23 a 27°C, e a média das mínimas variando de 13 a 17°C. A altitude e a sua distância com o Oceano Atlântico são os fatores que determinam essas variações espaciais de temperatura, já que existe pouca variação de latitude dentro da região.

A maior parte do tempo, a região é dominada pelo anticiclone subtropical do Atlântico Sul e, desta forma, submetida a grandes movimentos descendentes. Os ventos predominam na baixa atmosfera são do quadrante S-SE. Durante o ano, a região é invadida por sistemas extratropicais associados a massas de ar frio vindas

do sul, levando a baixas temperaturas no inverno, chuvas nos meses de primavera e verão e ventos predominantes dos quadrantes S-SE e N-NE. (BACK, 2009).

3.19 PRECIPITAÇÃO

O regime de precipitação em Santa Catarina caracteriza-se por ser distribuído ao longo do ano. No geral a precipitação está bem distribuída durante o ano devido às características do relevo e à atuação de Massa de Ar Polar Atlântica e da Massa Tropical Atlântica, que por sua constância fazem com que não ocorra uma estação seca (ORSELLI, 1986 apud BACK, 2009).

Segundo Nimer (1989 apud BACK, 2009), na estreita área do litoral catarinense o máximo pluviométrico ocorre no verão (janeiro, fevereiro e março), enquanto o índice mínimo, na maioria das vezes, é registrado no inverno e no outono.

A precipitação total anual no estado de Santa Catarina varia de 1.220 a 2.200 mm, sendo os valores mais altos observados no litoral norte do Estado e no extremo oeste. A região do litoral sul do Estado é caracterizado pelos menores valores de precipitação total anual, variando de 1.220 a 1.660 mm, com o total anual de dias de chuva entre 98 e 150 dias (EPAGRI, 2009).

Contudo, sabe-se que ocorrem anualmente sucessivas variações na quantidade e distribuição das chuvas na região, dos quais o mais conhecido é a maior precipitação nos municípios sul catarinenses situados nas proximidades da escarpa da Serra Geral. Conforme Sônego (2002, p. 102):

[...] os maiores valores são observados nas encostas da Serra Geral, diferença esta causada pelas chuvas de verão que são mais frequentes e intensas nas encostas da Serra Geral do que na orla. Isto se deve ao fato de que, ao encontrar a Serra Geral, o ar úmido é forçado a se elevar causando a formação de nuvens geradoras de temporais de final de tarde de verão.

Sendo assim, observa-se uma acentuada variação na precipitação pluviométrica dentro da região sul catarinense, em geral a pluviosidade é menor na planície litorânea e os maiores valores de pluviosidade são observados próximos à encosta. Essa variação se explica em parte pelo efeito da orografia na origem das chuvas (SANTA CATATINA, 1997 apud BACK, 2009).

De acordo com o CIRAM (2013), o quadro 2 apresenta os valores total mês da precipitação pluviométrica do ano de 2010 à agosto de 2013, do município de Criciúma.

Quadro 2 – Valores Totais /mês precipitação pluviométrica.

Data	Valores estação met. Criciúma (mm)	Valores estação met. da empresa (mm)
jan/10	299,8	241,0
fev/10	133,2	102,0
mar/10	196,6	160,0
abr/10	158,6	116,0
mai/10	359,0	238,0
jun/10	71,6	54,0
jul/10	133,2	90,0
ago/10	47,6	14,0
set/10	95,2	50,0
out/10	86,2	45,0
nov/10	208,8	90,0
dez/10	82,0	33,0
jan/11	422,2	394,0
fev/11	89,0	310
mar/11	152,0	130,0
abr/11	50,0	69,0
mai/11	100,2	86,0
jun/11	103,4	116,0
jul/11	98,0	253,0
ago/11	254,4	278,0
set/11	127,8	109,0
out/11	75,2	74,0
nov/11	35,6	28,0
dez/11	209,6	162,0
jan/12	228,6	188,3
fev/12	177,4	94,8
mar/12	74,8	83,5
abr/12	30,4	33,7
mai/12	45,2	39,4
jun/12	106,8	94,4
jul/12	109,8	101,9
ago/12	32,8	46,4
set/12	169,0	129,5
out/12	167,4	127,5
nov/12	60,4	55,8
dez/12	97,2	76,0
jan/13	124,4	44,7
fev/13	353,0	204,5
mar/13	154,2	115,9
abr/13	46,4	38,0
mai/13	36,2	15,6
jun/13	100,4	67,5
jul/13	68,0	58,4
ago/13	372,4	313,9

Fonte: CIRAM, (2013) adaptado pelo autor.

4 METODOLOGIA

Dentro da metodologia, inicialmente foi realizado os monitoramentos dos recursos hídricos subterrâneos, de acordo com o procedimento interno utilizado na empresa, tendo em vista a frequência e os pontos de localização.

Posteriormente foram avaliados os monitoramentos dos últimos 44 meses, por meio do banco de dados da empresa, e correlacionando com a precipitação pluviométrica da região de Criciúma, juntamente com o bombeamento da mina. Nesta etapa, avaliaram-se os dados quanto à sua consistência, identificando-se sua natureza, a forma como foram obtidos e a compatibilidade destes entre si. Esta etapa foi fundamental para que os produtos gerados a partir destes dados proporcionassem informações precisas e verdadeiras. Como todo e qualquer modelo, a fidelidade à realidade depende da consistência dos dados de entrada.

Desta forma, as medições do nível estático dos piezômetros ocorreram semanalmente e mensalmente, *in loco*, com leitura direta, feito em trinta e nove pontos, utilizando o medidor elétrico de nível d'água, conforme a figura 11.

Figura 11 - Medidor elétrico de nível d'água.



Fonte: Hidrosuprimentos, (2013).

Para que se pudesse proceder à análise integrada dos dados de nível estático dos piezômetros e dos dados de pluviometria e bombeamento, optou-se por desenvolver gráficos individuais para cada piezômetro, utilizando o *software Excel*.

Com a obtenção desses dados foi possível avaliar o nível estático dos piezômetros e a precipitação pluviométrica do empreendimento; identificar e classificar os piezômetros em rasos, intermediários e profundos, e posteriormente propor melhorias a respeito dos pontos e frequência de coleta.

A Mina Novo Horizonte possui estação meteorológica a qual realiza o monitoramento dos seguintes parâmetros: umidade relativa do ar, pressão atmosférica, precipitação pluviométrica, temperatura e velocidade e direção do vento. Para os resultados da precipitação pluviométrica do ano de 2010 até 2013, foi coletado no banco de dados da empresa, pois na unidade existe um pluviômetro instalado, conforme figura 12.

Figura 12 - Pluviômetro instalado na unidade.



Fonte: Do autor, (2013).

4.1 AVALIAÇÃO DO PROCESSO DE TRATAMENTO DE EFLUENTES

Descrever o processo da Estação de Tratamento de Efluentes (ETE), por meio da operacionalização da mesma, e avaliar o procedimento interno da empresa de forma a verificar se o que é realizado é de acordo com o planejado. Avaliou-se os planos de monitoramentos e foi proposto melhorias de forma a facilitar o custo e acompanhamento do efluente tratado, criando gráficos no *software Excel* do volume total do mês, com relação à precipitação total do mês, dos últimos 20 meses.

Analizou-se a saída do efluente da estação dos últimos 20 meses comparando com a legislação pertinente, bem como, se avaliou o ponto de monitoramento a montante (A 14) e a jusante (A 15) do lançamento de efluente no corpo receptor.

A seguir as etapas correspondentes à metodologia descrita acima.

ETAPAS

Etapas 1

Nessa etapa foram buscadas todas as informações dos monitoramentos no banco de dados da empresa.

Etapas 2

Nesta etapa foram verificadas todas as cotas de base e de fundo de todos os piezômetros, conferindo com a equipe topográfica da empresa, para proporcionar informações precisas e verdadeiras.

Etapas 3

Foi realizado o monitoramento de nível estático, através de equipamento de medidor de nível *in loco* com leitura direta.

Etapas 4

Foi locada em mapa a rede piezométrica através da amarração dos pontos, para verificar se o monitoramento é abrangente e contempla toda a área de influência direta.

Etapas 5

Correlacionou-se o regime de chuvas e o comportamento potenciométrico dos poços. Para o levantamento do regime de chuvas foi utilizado o pluviômetro instalado na unidade, e também consultaram-se os dados de climatologia mensal, pertencentes ao Centro de Informações de Recursos Ambientais e de

Hidrometeorologia de Santa Catarina (CIRAM). A série de dados vai de 2010 a agosto de 2013.

Complementarmente utilizaram-se dados de chuvas da Estação Meteorológica de Criciúma, obtidos junto a Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina (EPAGRI) do município.

Etapas 6

Construção de gráficos de linhas em planilhas de *Excel*, e elaboração do relatório hidrológico do empreendimento, conforme a seguir:

- a) Aquisição e validação de dados;
- b) Elaboração do banco de dados georreferenciados;
- c) Clima na região Sul Catarinense;
- d) Resultados dos dados de chuvas; e
- e) Interpretação do monitoramento do aquífero profundo.

Etapas 7 - Estação de Tratamento de Efluente (ETE)

Por fim, foi realizada concomitantemente a operação da estação de tratamento de efluentes da unidade. Este sistema está baseado em processos físico-químicos de neutralização com leite de cal hidratada das drenagens ácidas. O sistema de tratamento constitui-se nas seguintes etapas:

- a) Acumulação dos efluentes líquidos;
- b) Bombeamento/elevatória;
- c) Preparo e dosagem de leite de cal;
- d) Aeração/Neutralização;
- e) Recalque do efluente neutralizado; e
- f) Sedimentação em bacia.

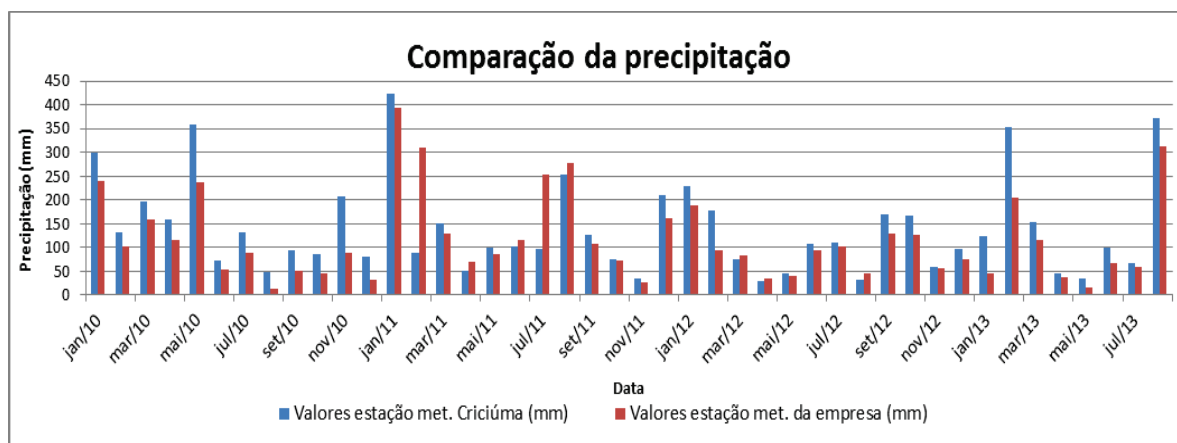
A ETE tem capacidade para tratamento de vazão 50 m³/h.

5 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS DADOS

Buscando-se a possível ligação entre o regime de chuvas e o comportamento potenciométrico dos piezômetros analisados, e com o objetivo de obter uma visão integrada da distribuição das chuvas no estado de Santa Catarina, consultaram-se dados de climatologia mensal, pertencentes ao Centro de Informações de Recursos Ambientais e de Hidrometeorologia de Santa Catarina (CIRAM). A série de dados vai de 2010 a agosto de 2013, disponibilizada especialmente através do Centro de Informações de Recursos Ambientais e de Hidrometeorologia de Santa Catarina (CIRAM, 2013).

Complementarmente, utilizaram-se dados de chuvas da Estação Meteorológica de Criciúma obtidos junto à EPAGRI do município e da empresa, e são dados específicos que podem ser utilizados para retratar a realidade pluviométrica do sul catarinense dentro do intervalo temporal de investigação, conforme figura 13.

Figura 13 – Comparativo dos totais de chuvas mensais de Criciúma e da empresa (mm).



Fonte: Do autor, (2013).

A interpretação dos dados da Figura 13 permite visualizar um total de 6144 mm de chuva em Criciúma, sendo em 2010 um total de 1871,8 mm, em 2011 um total de 1717,4 mm, em 2012 um total de 1299,8 mm e em 2013 um total de 1255,00 mm até a data do estudo, e no local do empreendimento um total de 5171,77 mm, ambos com o período dos últimos 44 meses. Isto quer dizer que teve

uma grande variação de 972,23 mm de chuva, mas que não mudaria os valores correlacionados com a precipitação e o bombeamento da mina em relação à leitura do nível dos piezômetros, pois ambos são dependentes um do outro.

5.1 INTERPRETAÇÃO DOS DADOS DE MONITORAMENTO DO AQUÍFERO PROFUNDO

Os dados do programa de monitoramento desenvolvido pela empresa são armazenados em planilhas de dados no *software Excel*. As informações referentes à posição geográfica dos piezômetros e pontos de coleta de águas superficiais foram fornecidas pela empresa, no sistema de coordenadas UTM SAD-69, zona 22 sul, com meridiano de origem -51° .

Para que se pudesse proceder à análise integrada dos dados de nível estático do aquífero e dos dados de pluviometria e bombeamento, optou-se por desenvolver gráficos individuais para cada piezômetro, os quais são apresentados e discutidos a seguir.

Como existe série cumulativa quantificando o nível estático de cada piezômetro, relacionaram-se estas informações pontuais com os resultados de bombeamento de água da Mina, bem como, com a série temporal de chuvas ocorridas simultaneamente nas datas dos ensaios. O quadro 3 mostra a profundidade de nível potenciométrico dos 39 piezômetros. Avaliando-se a profundidade dos mesmos, observa-se que 4 podem ser considerados profundos (ICB 70, ICB83, ICB87 e 23A), sendo que os demais são todos piezômetros rasos.

Quadro 3 - Localização e profundidade de cada piezômetro.

Código do Ponto	Coordenadas		Profundidade em (m)
	UTM E	UTM N	
PZ 01	661485	6823190	78,30
PZ 02	661338	6823229	6,28
PZ 1.1	661488	6823188	11,00
PZ 03	661347	6823431	6,35
PZ 04	661839	6823299	2,30
PZ 09	661491	6824552	6,80
PZ10	661835	6824402	6,00
PZ 11	661989	6824405	4,70
PZ 12	662046	6823312	6,10
PZ 13	662124	6823315	3,78
PZ 15	662335	6824403	2,86
PZ 19	660642	6823124	3,58
PZ 22	660366	6822115	2,22
PZ 25	661481	6822703	5,10
PZ 26	661032	6822510	3,94
PZ 28	661729	6821740	4,10
PZ 29	661600	6821586	3,90
PZ 31	661796	6822143	10,50
PZ 35	661787	6821548	1,22
PZ 40	660669	6822086	4,48
PZ 42	660667	6821776	1,60
PZ 44	662662	6821256	2,05
PZ 47	660773	6821644	1,00
PZ 50	661017	6821129	2,03
PZ 52	661109	6821528	1,70
PZ 62	662999	6823754	3,35
PZ 63	661364	6823051	10,93
PZ 64	661498	6822994	10,64
PZ 65	661349	6822936	6,10
PZ 71	661286	6823779	2,35
PZB 01	661365	6823057	4,82
PZB 02	661348	6823037	5,10
Poço 1	661955	6823231	6,30
Poço 2	663114	6823107	3,66
Poço 3	661527	6823595	4,33
ICB 70	661000	6822384	76,90
ICB 83	661493	6821904	80,40
ICB 87	662248	6822056	98,75
ICB 23A	660748	6823899	91,75

Fonte: Elaborado pelo autor, (2013).

Figura 15 - Localização do piezômetro PZ 03.



Fonte: Do autor, (2013).

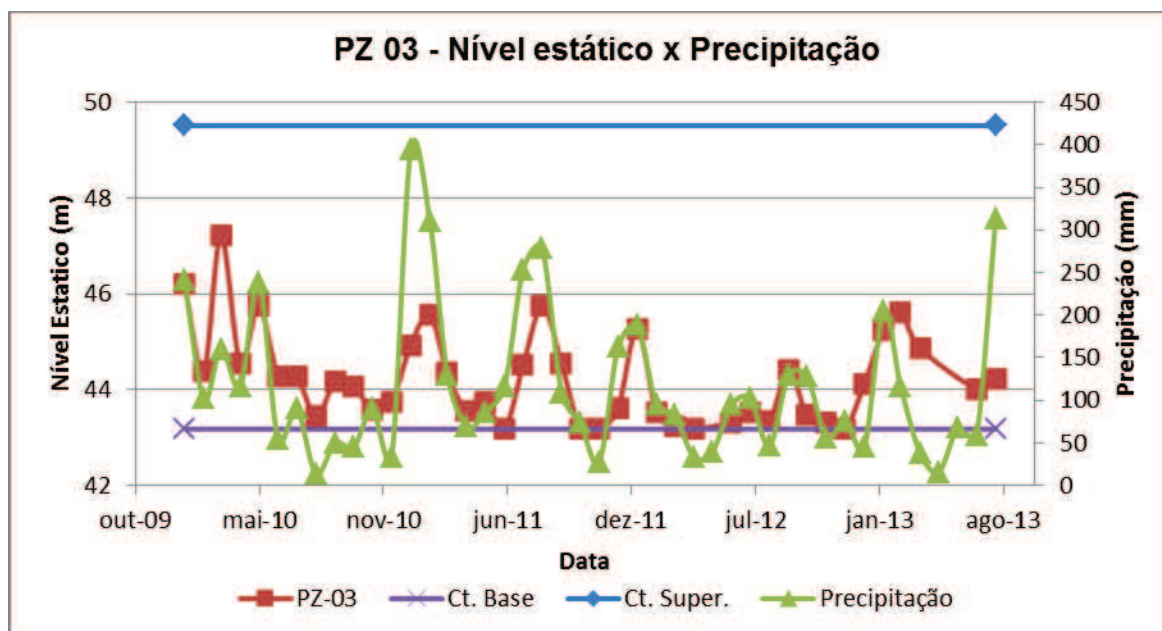
Este piezômetro teve a profundidade total de 6,35 metros sendo totalmente revestido com tubo geomecânico de 4 polegadas.

Quanto ao comparativo dos resultados levantados para este poço, na Figura 16 pode ser visualizado o nível estático da água do aquífero profundo, entre janeiro de 2010 a agosto de 2013, em comparação com a precipitação pluviométrica.

Cabe ressaltar, que os eixos das ordenadas e abcissas representados no referido gráfico não possuem exageros verticais ou distorções. As distâncias gráficas representam fielmente a distância quantitativa entre as variáveis.

Analisando-se a Figura 16, observam-se picos da precipitação pluviométrica e do nível estático, tendo a mesma variação de picos elevados e quedas na mesma proporção.

Figura 16 - Comparativo nível estático (vermelho), com a precipitação (verde).

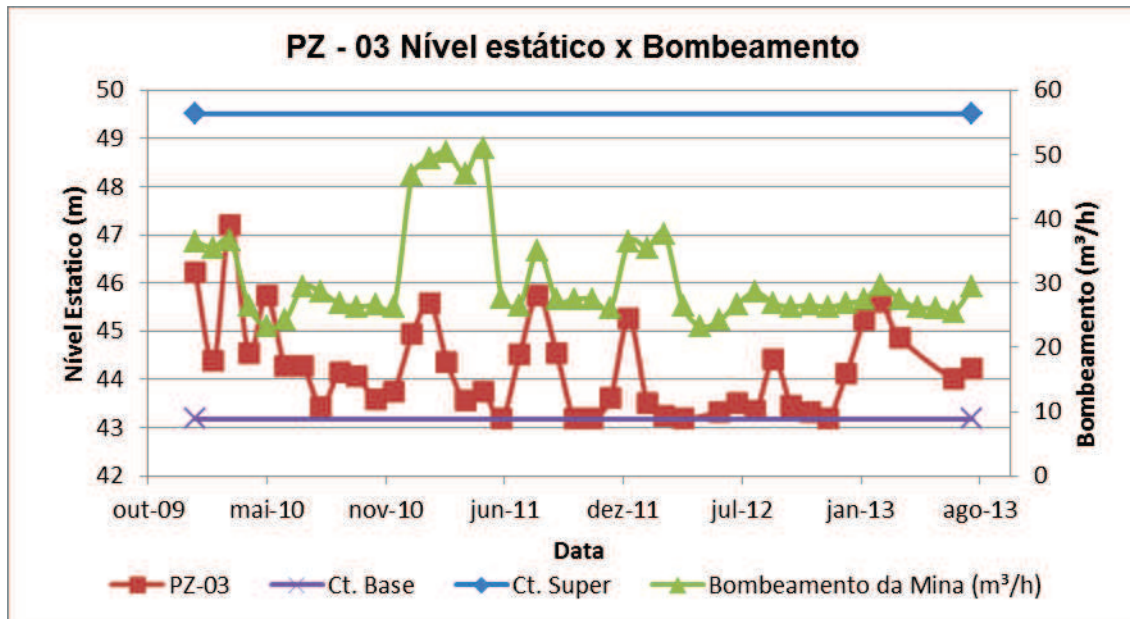


Fonte: Do autor, (2013).

Quanto ao comparativo dos resultados levantados para este poço, na Figura 17, pode ser visualizado o nível estático da água do aquífero profundo, entre os anos de 2012 a agosto de 2013, em comparação com o bombeamento de água do subsolo, feito pela Mina.

Esta análise indica que o bombeamento da mina não está interferindo no rebaixamento no nível potenciométrico do referido aquífero.

Figura 17 - Comparativo nível estático (vermelho), com o bombeamento (verde).



Fonte: Do autor, (2013).

Analisando-se a Figura 8, observam-se picos de bombeamento e do nível estático, tendo a mesma variação de picos elevados e quedas na mesma proporção.

5.1.2 Piezômetro PZ 09

O piezômetro PZ-09 se localiza a 1420 metros ao norte da boca da mina, onde se pratica o bombeamento do subsolo. Este piezômetro possui cota topográfica de 63,64 metros e sua coordenada UTM é 661491E e 6824552N. A Figura 18 mostra sua posição no terreno.

Figura 18- Localização do piezômetro PZ 09



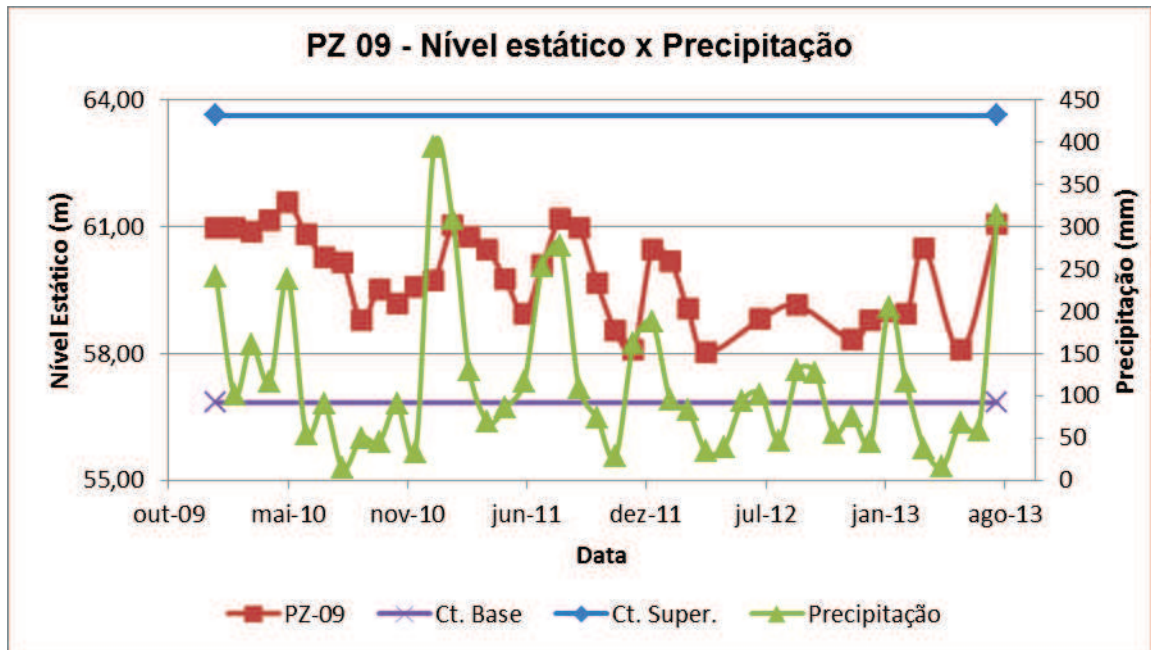
Fonte: Do autor, (2013).

Este piezômetro teve a profundidade total de 6,80 metros sendo totalmente revestido com tubo geomecânico de 4 polegadas.

Analisando-se a Figura 19, observam-se picos na precipitação pluviométrica e do nível estático, tendo a mesma variação de picos elevados e quedas na mesma proporção.

Quanto ao comparativo dos resultados levantados para este poço, na Figura 19, pode ser visualizado o nível estático da água do aquífero profundo, entre janeiro de 2010 a agosto de 2013, em comparação com a precipitação pluviométrica.

Figura 19 - Comparativo nível estático (vermelho), com a precipitação (verde).

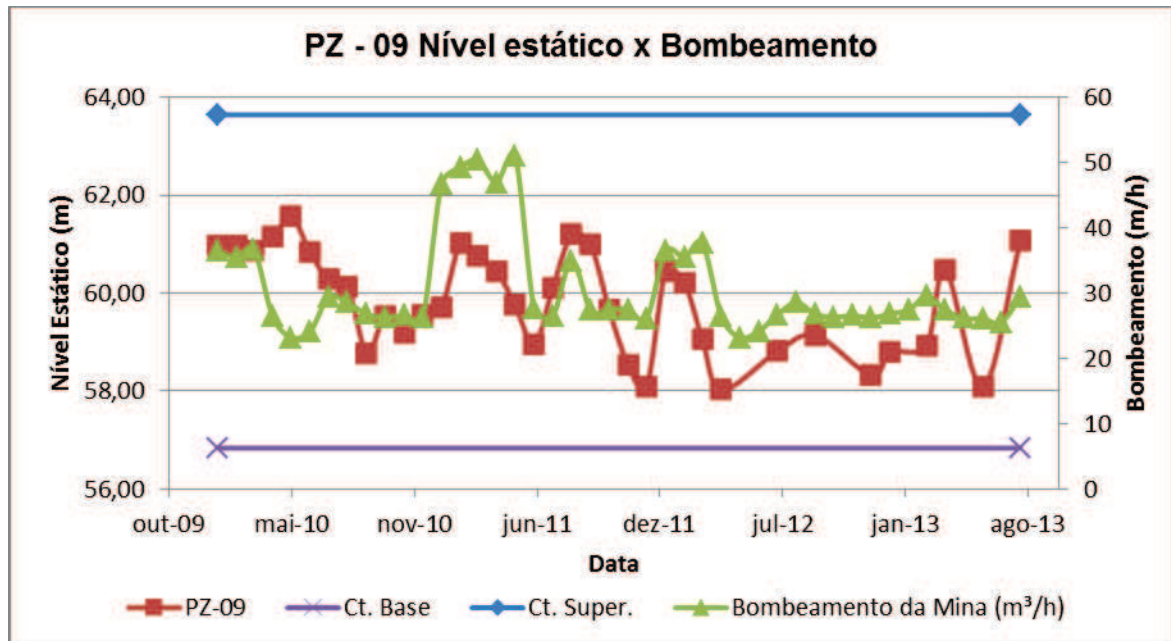


Fonte: Do autor, (2013).

Analisando-se a Figura 20, observam-se picos de bombeamento e do nível estático nesse período. Ambos apresentaram a mesma variação de picos elevados e quedas na mesma proporção.

Quanto ao comparativo dos resultados levantados para este poço, na Figura 20, pode ser visualizado o nível estático da água do aquífero profundo, entre os anos de 2012 a agosto de 2013, em comparação com o bombeamento de água do subsolo, feito pela Mina.

Figura 20 - Comparativo nível estático (vermelho), com o bombeamento (verde).



Fonte: Do autor, (2013).

Analisando-se a Figura 20, observam-se picos de bombeamento e do nível estático nesse período e ambos apresentaram a mesma variação de picos elevados e quedas na mesma proporção.

5.1.3 Piezômetro PZ 12

O piezômetro PZ-12 se localiza a 489 metros a noroeste da boca da mina, onde se pratica o bombeamento do subsolo. Este piezômetro possui cota topográfica de 53,78 metros e sua coordenada UTM é 662046 E e 6823312 N. A Figura 21 mostra sua posição no terreno.

Figura 21 - Localização do piezômetro PZ12.



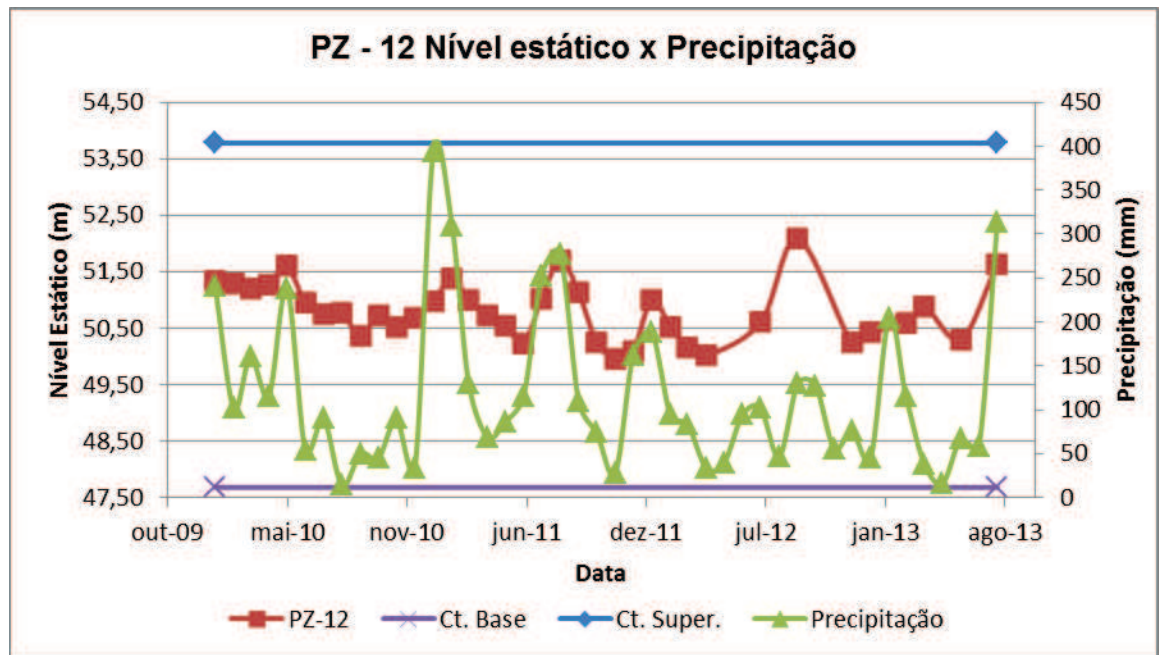
Fonte: Do autor, (2013).

Este piezômetro teve a profundidade total de 6,10 metros sendo totalmente revestido com tubo geomecânico de 4 polegadas.

Analisando-se a Figura 22, observam-se os picos da precipitação pluviométrica e do nível estático, tendo a mesma variação de picos elevados e quedas na mesma proporção.

Quanto ao comparativo dos resultados levantados para este poço, na Figura 22 pode ser visualizado o nível estático da água do aquífero profundo, entre janeiro de 2010 a agosto de 2013, em comparação com a precipitação pluviométrica.

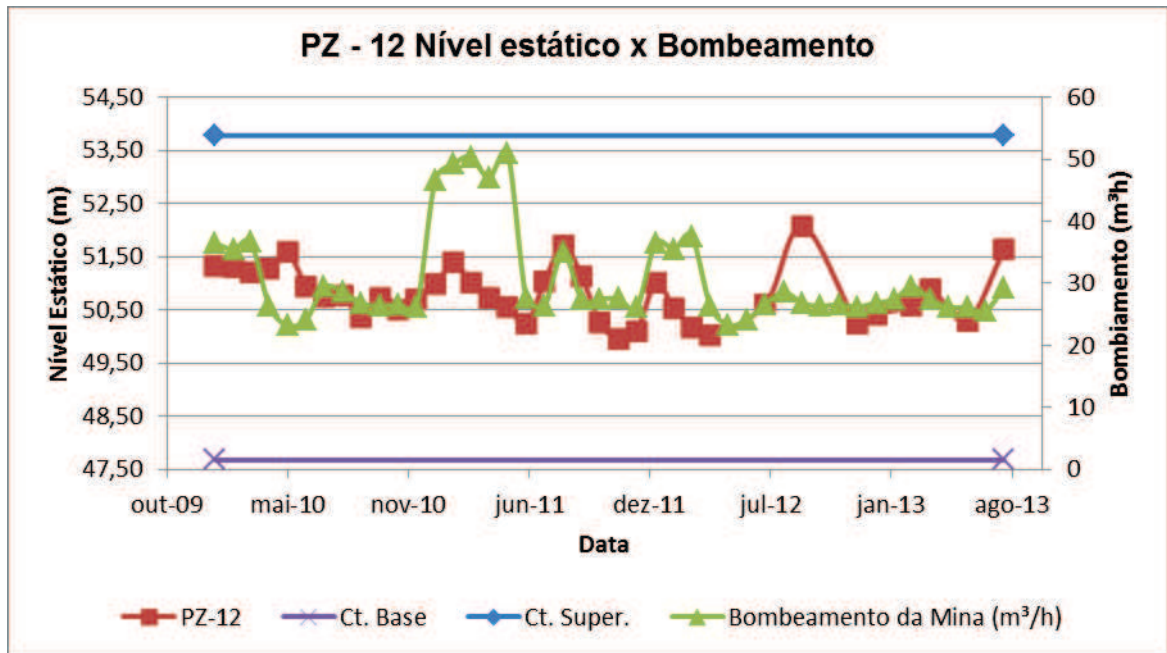
Figura 22 - Comparativo nível estático (vermelho), com a precipitação (verde).



Fonte: Do autor, (2013).

Quanto ao comparativo dos resultados levantados para este poço, na Figura 23, pode ser visualizado o nível estático da água do aquífero profundo, entre os anos de 2010 a agosto de 2013, em comparação com o bombeamento de água do subsolo, feito pela Mina.

Figura 23 - Comparativo nível estático (vermelho), com o bombeamento (verde).



Fonte: Do autor, (2013).

Analisando-se a Figura 23, observam-se picos de bombeamento e do nível estático nesse período. Ambos apresentaram a mesma variação de picos elevados e quedas na mesma proporção.

5.1.4 Piezômetro PZ 13

O piezômetro PZ-13 se localiza a 562 metros a noroeste da boca da mina, onde se pratica o bombeamento do subsolo. Este piezômetro possui cota topográfica de 50,41 metros e sua coordenada UTM é 662124E e 6823315N. A Figura 24 mostra sua posição no terreno.

Figura 24 - Localização do piezômetro PZ 13.



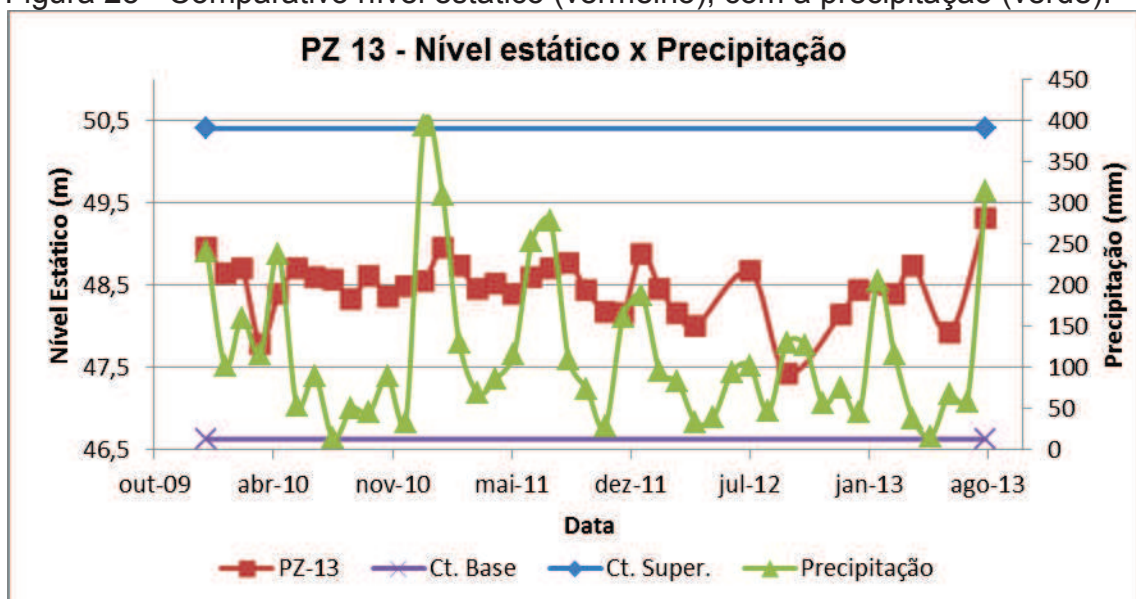
Fonte: Do autor, (2013).

Este piezômetro teve a profundidade total de 3,78 metros sendo totalmente revestido com tubo geomecânico de 4 polegadas.

Analisando-se a Figura 25, observam-se picos da precipitação pluviométrica e do nível estático, tendo a mesma variação de picos elevados e quedas na mesma proporção.

Quanto ao comparativo dos resultados levantados para este poço, na Figura 25 pode ser visualizado o nível estático da água do aquífero profundo, entre janeiro de 2010 a agosto de 2013, em comparação com a precipitação pluviométrica.

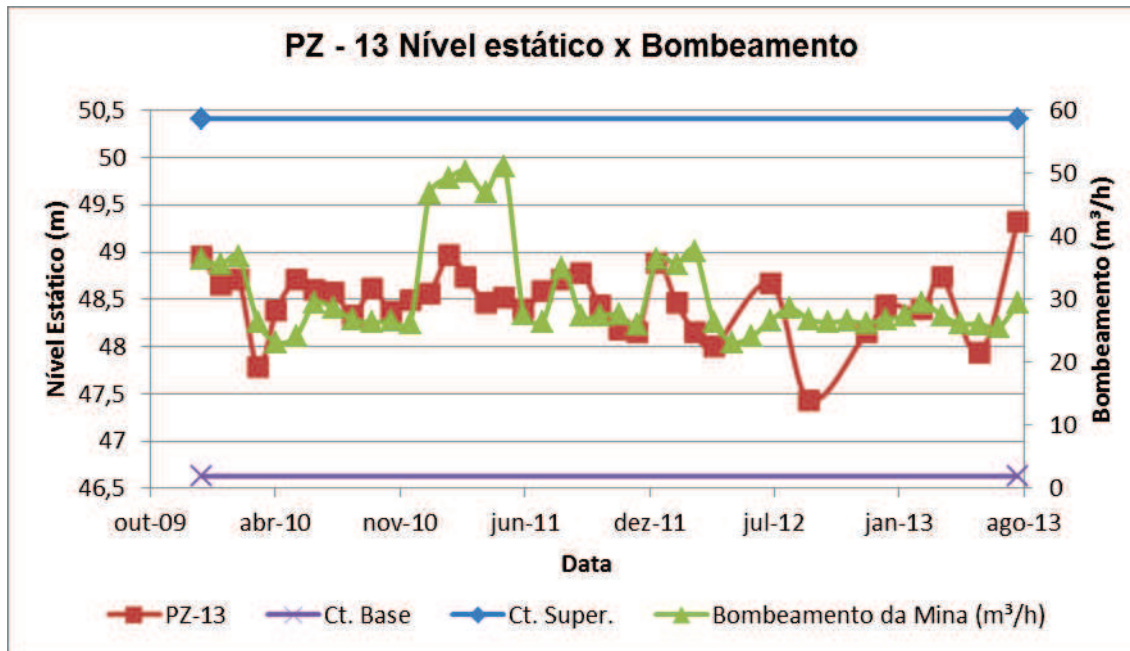
Figura 25 - Comparativo nível estático (vermelho), com a precipitação (verde).



Fonte: Do autor, (2013).

Quanto ao comparativo dos resultados levantados para este poço, na Figura 26 pode ser visualizado o nível estático da água do aquífero profundo, entre os anos de 2012 a agosto de 2013, em comparação com o bombeamento de água do subsolo, feito pela Mina.

Figura 26 - Comparativo nível estático (vermelho), com o bombeamento (verde).



Fonte: Do autor, (2013).

Analisando-se a Figura 26, observam-se picos de bombeamento e do nível estático nesse período. Ambos apresentaram a mesma variação de picos elevados e quedas na mesma proporção.

5.1.5 Piezômetro PZ 25

O piezômetro PZ-25 se localiza a 426 metros ao sul da boca da mina, onde se pratica o bombeamento do subsolo. Este piezômetro possui cota topográfica de 38,87 metros e sua coordenada UTM é 661481E e 6822703N. A Figura 27 mostra sua posição no terreno.

Figura 27 - Localização do piezômetro PZ 25.



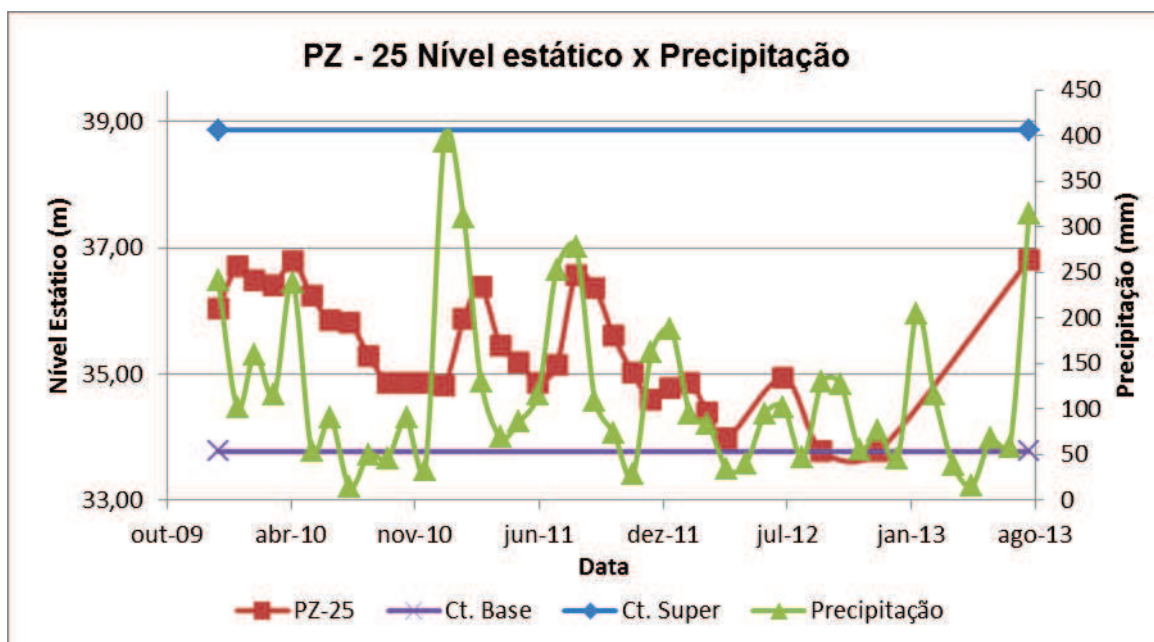
Fonte: Do autor, (2013).

Este piezômetro teve a profundidade total de 5,10 metros sendo totalmente revestido com tubo geomecânico de 4 polegadas.

Analisando-se a Figura 28, observam-se picos da precipitação pluviométrica e do nível estático, tendo a mesma variação de picos elevados e quedas na mesma proporção.

Quanto ao comparativo dos resultados levantados para este poço, na Figura 28 pode ser visualizado o nível estático da água do aquífero profundo, entre janeiro de 2010 a agosto de 2013, em comparação com a precipitação pluviométrica.

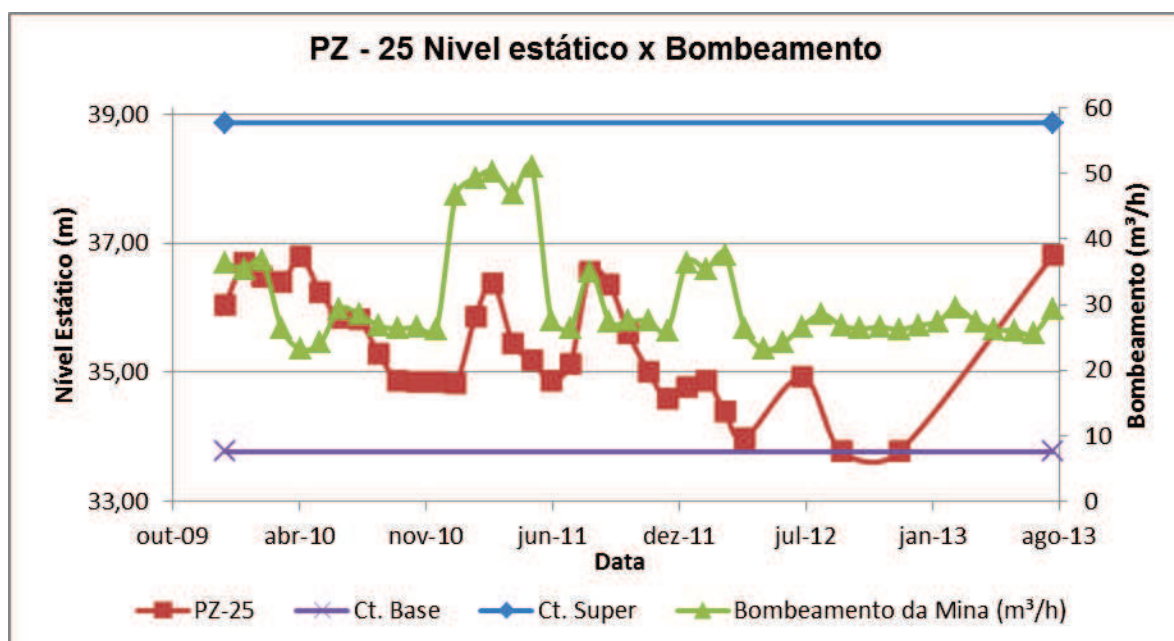
Figura 28 - Comparativo nível estático (vermelho), com a precipitação (verde).



Fonte: Do autor, (2013).

Quanto ao comparativo dos resultados levantados para este poço, na Figura 29 pode ser visualizado o nível estático da água do aquífero profundo, entre os anos de 2012 a agosto de 2013, em comparação com o bombeamento de água do subsolo, feito pela Mina.

Figura 29 - Comparativo nível estático (vermelho), com o bombeamento (verde).



Fonte: Do autor, (2013).

Analisando-se a Figura 29, observam-se picos de bombeamento e do nível estático nesse período e ambos apresentaram a mesma variação de picos elevados e quedas na mesma proporção.

5.1.6 Piezômetro PZ 26

O piezômetro PZ-26 se localiza a 827 metros a leste da boca da mina, onde se pratica o bombeamento do subsolo. Este piezômetro possui cota topográfica de 39,06 metros e sua coordenada UTM é 661032E e 6822510N. A Figura 30 mostra sua posição no terreno.

Figura 30 - Localização do piezômetro PZ 26.



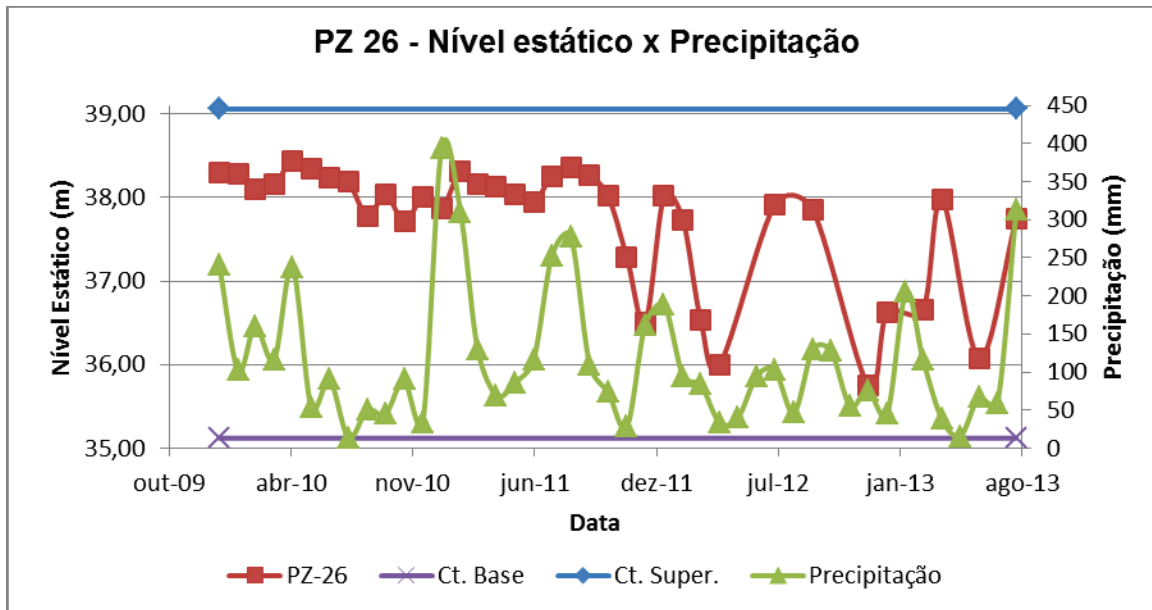
Fonte: Do autor, (2013).

Este piezômetro teve a profundidade total de 3,94 metros sendo totalmente revestido com tubo geomecânico de 4 polegadas.

Analisando-se a Figura 22, observam-se os picos da precipitação pluviométrica e do nível estático, tendo a mesma variação de picos elevados e quedas na mesma proporção.

Quanto ao comparativo dos resultados levantados para este poço, na Figura 31 pode ser visualizado o nível estático da água do aquífero profundo, entre janeiro de 2010 a agosto de 2013, em comparação com a precipitação pluviométrica.

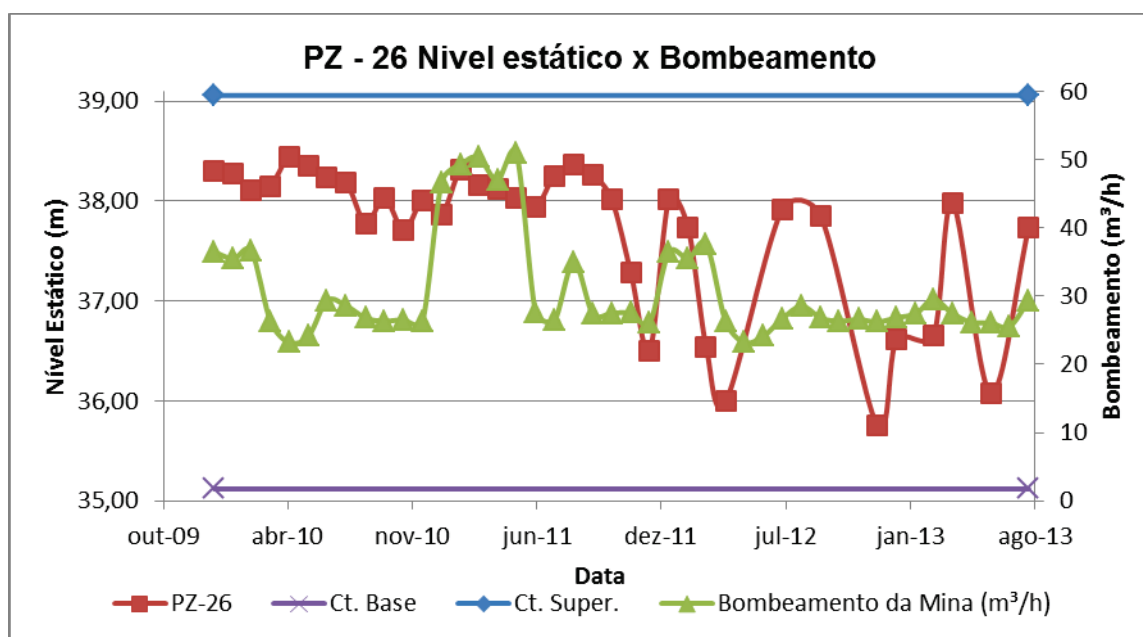
Figura 31 - Comparativo nível estático (vermelho), com a precipitação (verde).



Fonte: Do autor, (2013).

Quanto ao comparativo dos resultados levantados para este poço, na Figura 32, pode ser visualizado o nível estático da água do aquífero profundo, entre os anos de 2012 a agosto de 2013, em comparação com o bombeamento de água do subsolo, feito pela Mina.

Figura 32 - Comparativo nível estático (vermelho), com o Bombeamento (verde).



Fonte: Do autor, (2013).

Analisando-se a Figura 32, observam-se picos de bombeamento e do nível estático nesse período e ambos apresentaram a mesma variação de picos elevados e quedas na mesma proporção.

5.1.7 Piezômetro PZ 63

O piezômetro PZ-26 se localiza a 242 metros a leste da boca da mina, onde se pratica o bombeamento do subsolo. Este piezômetro possui cota topográfica de 36,61 metros e sua coordenada UTM é 661364E e 682305N. A Figura 33 mostra sua posição no terreno.

Figura 33 - Localização do piezômetro PZ 63.



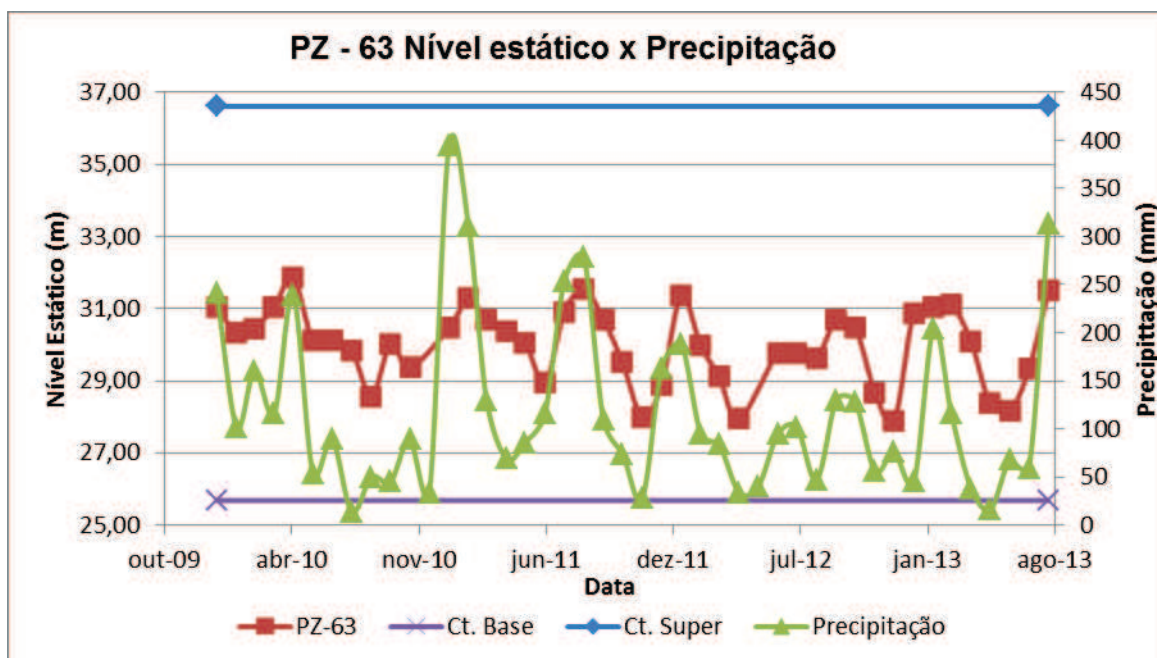
Fonte: Do autor, (2013).

Este piezômetro teve a profundidade total de 10,93 metros sendo totalmente revestido com tubo geomecânico de 4 polegadas.

Analisando-se a Figura 34, observam-se picos da precipitação pluviométrica e do nível estático, tendo a mesma variação de picos elevados e quedas na mesma proporção.

Quanto ao comparativo dos resultados levantados para este poço, na Figura 34 pode ser visualizado o nível estático da água do aquífero profundo, entre janeiro de 2010 a agosto de 2013, em comparação com a precipitação pluviométrica.

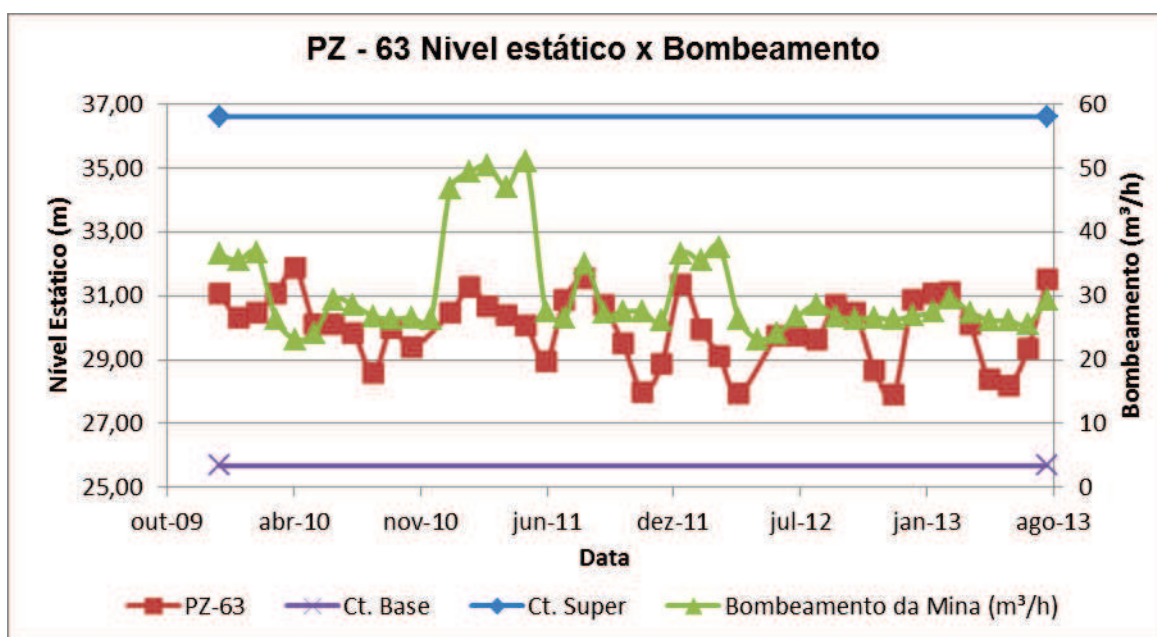
Figura 34 - Comparativo nível estático (vermelho), com a precipitação (verde).



Fonte: Do autor, (2013).

Quanto ao comparativo dos resultados levantados para este poço, na Figura 35 pode ser visualizado o nível estático da água do aquífero profundo, entre os anos de 2012 a agosto de 2013, em comparação com o bombeamento de água do subsolo, feito pela Mina.

Figura 35 - Comparativo nível estático (vermelho), com o bombeamento (verde).



Fonte: Do autor, (2013).

Analisando-se a Figura 35, observam-se picos de bombeamento e do nível estático nesse período e ambos apresentaram a mesma variação de picos elevados e quedas na mesma proporção.

5.1.8 Piezômetro PZB 02

O piezômetro PZB-02 se localiza a 261 metros a sudoeste da boca da mina, onde se pratica o bombeamento do subsolo. Este piezômetro possui cota topográfica de 35,90 metros e sua coordenada UTM é 661338E e 661338N. A Figura 36 mostra sua posição no terreno.

Figura 36 - Localização do piezômetro PZ 63.



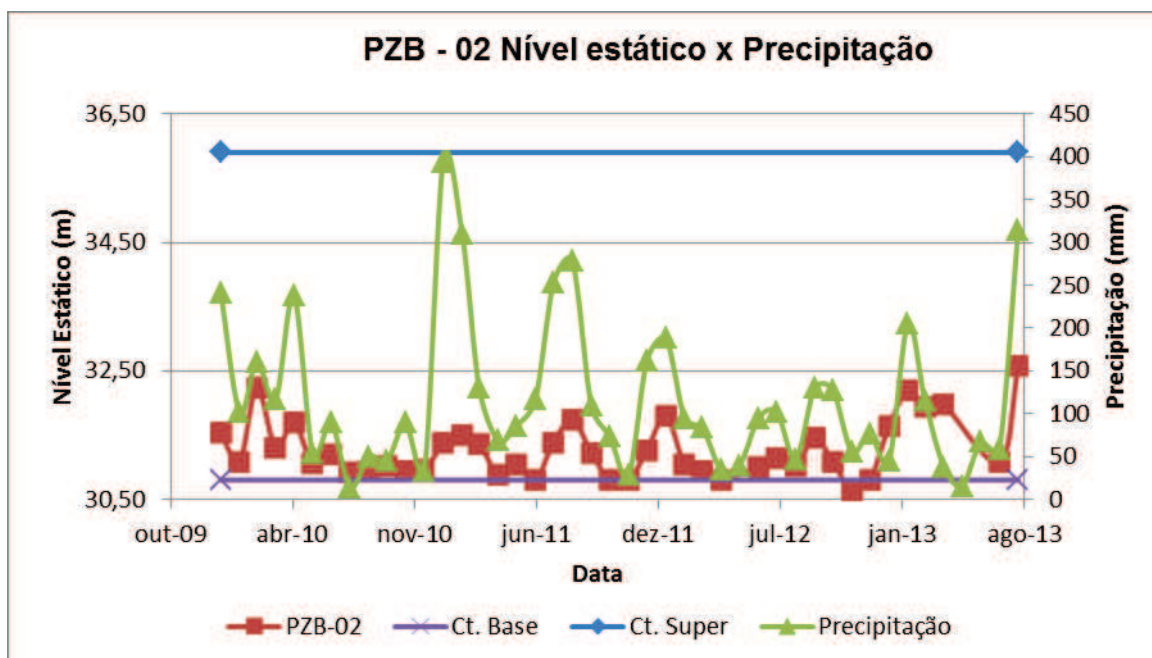
Fonte: Do autor, (2013).

Este piezômetro teve a profundidade total de 6,28 metros sendo totalmente revestido com tubo geomecânico de 4 polegadas.

Analisando-se a Figura 37, observam-se picos da precipitação pluviométrica e do nível estático, tendo a mesma variação de picos elevados e quedas na mesma proporção.

Quanto ao comparativo dos resultados levantados para este poço, na Figura 37 pode ser visualizado o nível estático da água do aquífero profundo, entre janeiro de 2010 a agosto de 2013, em comparação com a precipitação pluviométrica.

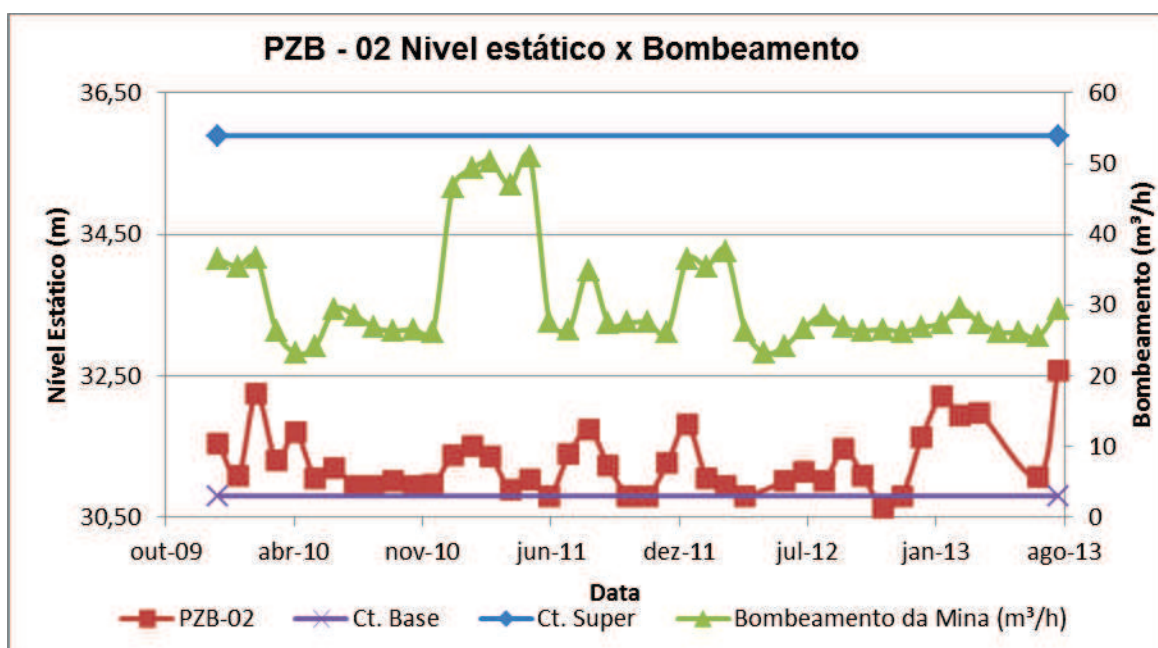
Figura 37 - Comparativo nível estático (vermelho), com a precipitação (verde).



Fonte: Do autor, (2013).

Quanto ao comparativo dos resultados levantados para este poço, na Figura 38, pode ser visualizado o nível estático da água do aquífero profundo, entre os anos de 2012 a agosto de 2013, em comparação com o bombeamento de água do subsolo, feito pela Mina.

Figura 38 - Comparativo nível estático (vermelho), com o bombeamento (verde).



Fonte: Do autor, (2013).

Analisando-se a Figura 38, observam-se picos de bombeamento e do nível estático nesse período. Ambos apresentaram a mesma variação de picos elevados e quedas na mesma proporção.

5.1.9 Piezômetro ICB 70

O piezômetro ICB-70 se localiza a 942 metros a leste da boca da mina, onde se pratica o bombeamento do subsolo. Este piezômetro possui cota topográfica de 47,48 metros e sua coordenada UTM é 661000E e 6822384N. A Figura 39 mostra sua posição no terreno.

Figura 39 - Localização do piezômetro ICB 70.



Fonte: Do autor, (2013).

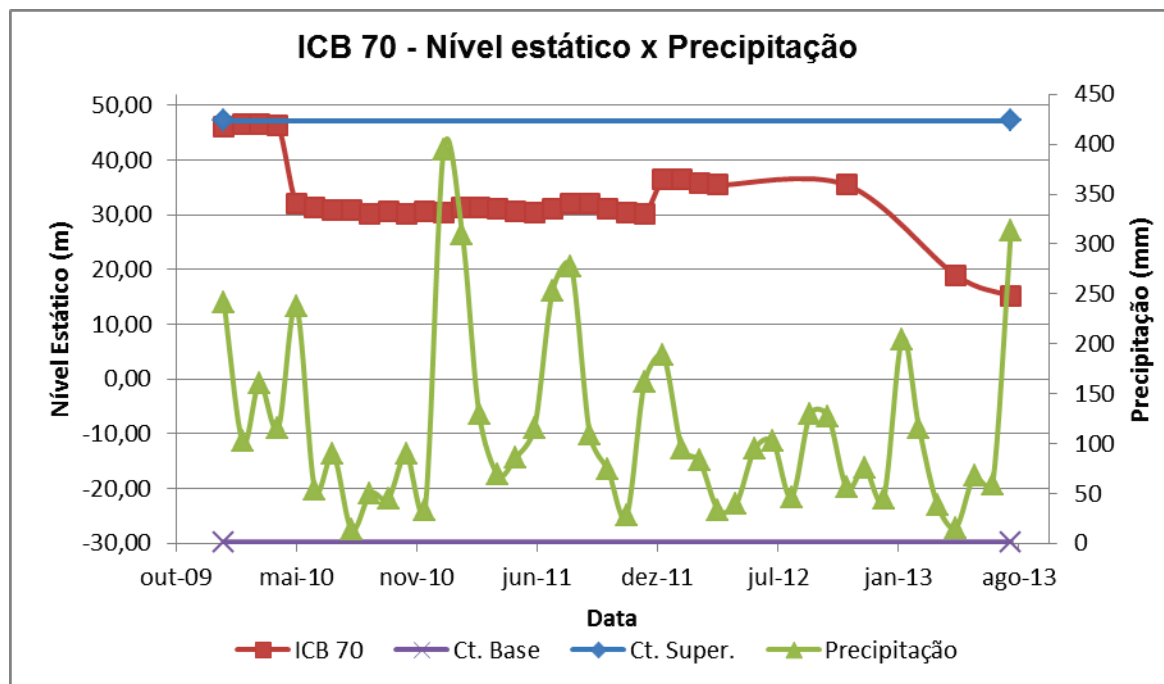
Este piezômetro teve a profundidade total de 76,9 metros sendo totalmente revestido com tubo geomecânico de 4 polegadas.

Analisando-se a Figura 40, observam-se picos da precipitação pluviométrica e do nível estático; não teve a mesma variação de picos elevados e de quedas na mesma proporção, O nível estático se manteve constante no começo do ano de 2010, mas tendo quedas de picos em maio de 2010, e se mantendo constante novamente. Posteriormente aumentou e em seguida decaiu novamente, ao contrário da precipitação, que se manteve oscilando em todo o período e aumentando no final. Este fato curioso pode estar relacionado com a distância da

mina em relação ao aquífero profundo.

Quanto ao comparativo dos resultados levantados para este poço, na Figura 40 pode ser visualizado o nível estático da água do aquífero profundo, entre janeiro de 2010 a agosto de 2013, em comparação com a precipitação pluviométrica.

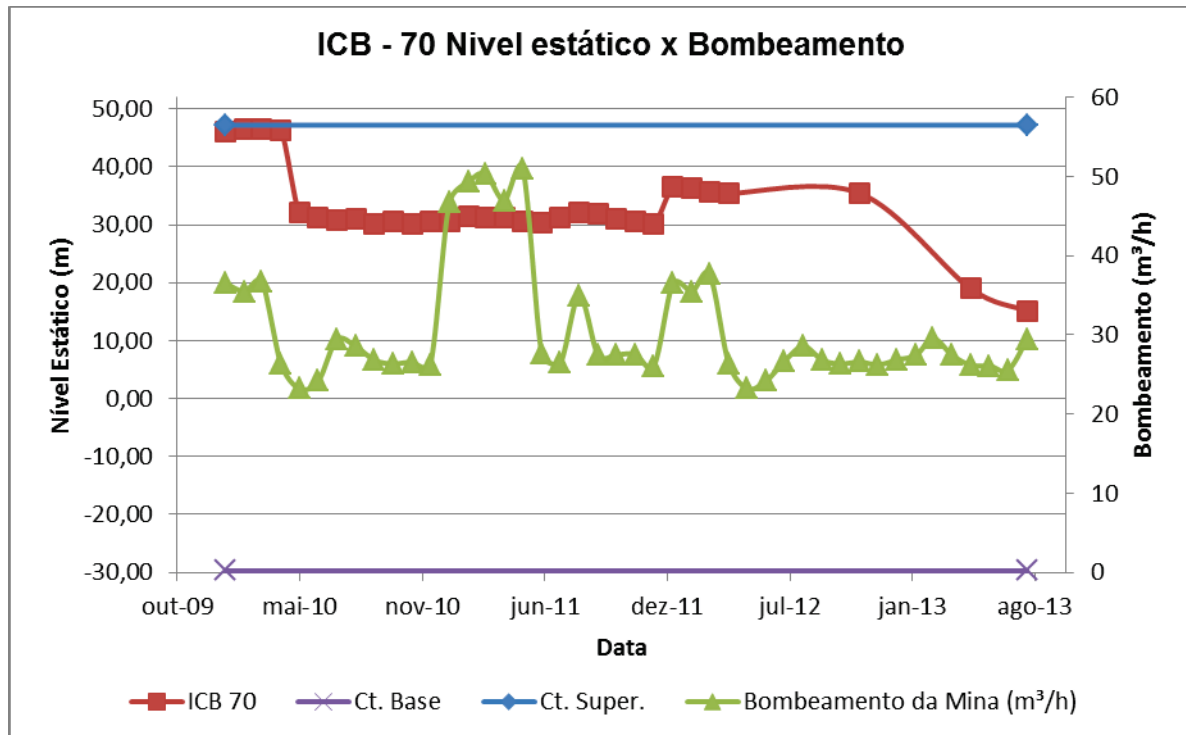
Figura 40 - Comparativo nível estático (vermelho), com a precipitação (verde).



Fonte: Do autor, (2013).

Quanto ao comparativo dos resultados levantados para este poço, na Figura 41 pode ser visualizado o nível estático da água do aquífero profundo, entre os anos de 2012 a agosto de 2013, em comparação com o bombeamento de água do subsolo, feito pela Mina.

Figura 41 - Comparativo nível estático (vermelho), com o bombeamento (verde).



Fonte: Do autor, (2013).

Analisando-se a Figura 41, observam-se picos de bombeamento e do nível estático nesse período; ambos não apresentaram a mesma variação de picos elevados e quedas na mesma proporção.

5.1.10 Piezômetro ICB 87

O piezômetro ICB-87 se localiza a 1241 metros a leste da boca da mina, onde se pratica o bombeamento do subsolo. Este piezômetro possui cota topográfica de 47,48 metros e sua coordenada UTM é 662248E e 6222056N. A Figura 42 mostra sua posição no terreno.

Figura 42 - Localização do piezômetro ICB 87.



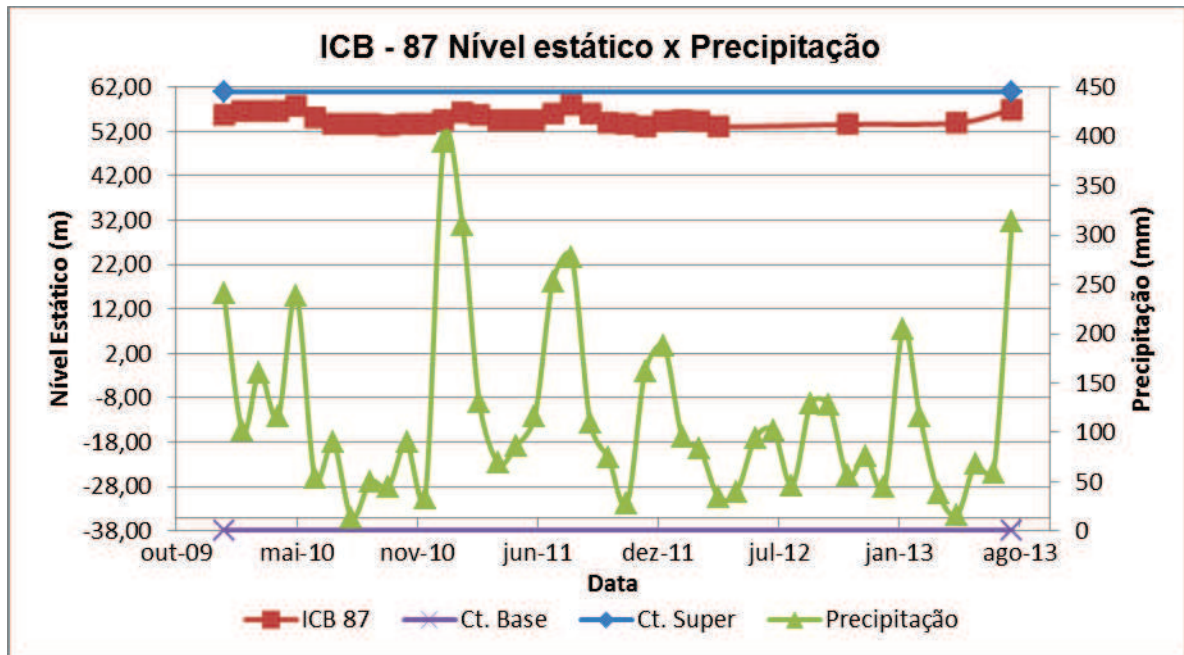
Fonte: Do autor, (2013).

Este piezômetro teve a profundidade total de 98,75 metros sendo totalmente revestido com tubo geomecânico de 4 polegadas.

Analisando-se a Figura 43, observam-se picos e quedas da precipitação pluviométrica e do nível estático, tendo pouca variação de picos elevados e tendo quedas de pequenas proporções, se mantendo constante no começo do ano de 2010, tendo poucas quedas de picos e se mantendo constante novamente, Posteriormente a precipitação pluviométrica oscilou durante esse período. Este fato curioso pode estar relacionado com a distância da mina em relação ao aquífero profundo.

Quanto ao comparativo dos resultados levantados para este poço, na Figura 43 pode ser visualizado o nível estático da água do aquífero profundo, entre janeiro de 2010 a agosto de 2013, em comparação com a precipitação pluviométrica.

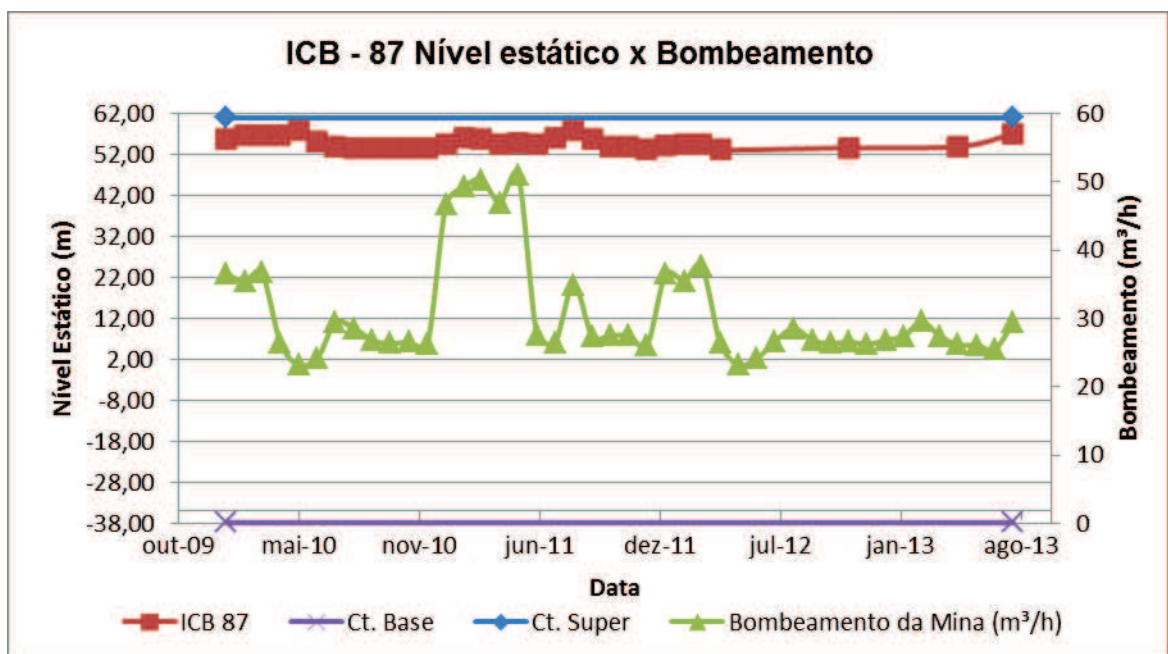
Figura 43 - Comparativo nível estático (vermelho), com a precipitação (verde).



Fonte: Do autor, (2013).

Quanto ao comparativo dos resultados levantados para este poço, na Figura 44 pode ser visualizado o nível estático da água do aquífero profundo, entre os anos de 2012 a agosto de 2013, em comparação com o bombeamento de água do subsolo, feito pela Mina.

Figura 44 - Comparativo nível estático (vermelho), com o bombeamento (verde).



Fonte: Do autor, (2013).

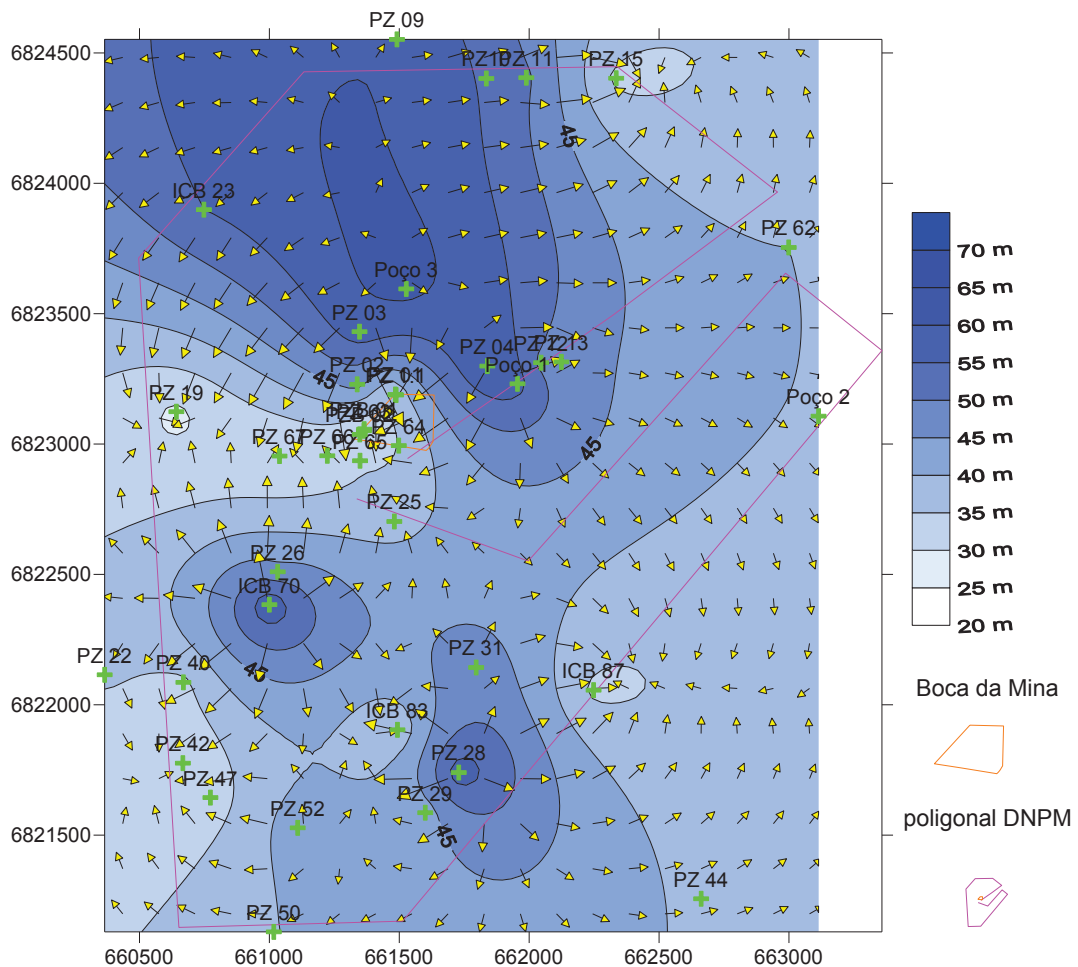
Analisando-se a Figura 44, observam-se picos de bombeamento e do nível estático nesse período e ambos não apresentaram a mesma variação de picos elevados e quedas na mesma proporção.

5.2 ANÁLISE DO AQUÍFERO SUBTERRÂNEO

Com as análises dos resultados do programa de monitoramento do aquífero profundo desenvolvido e para facilitar a interpretação dos dados, criaram-se elementos gráficos como mapas, para analisar o comportamento do nível potenciométrico do aquífero profundo na área de concessão e imediações da Mina.

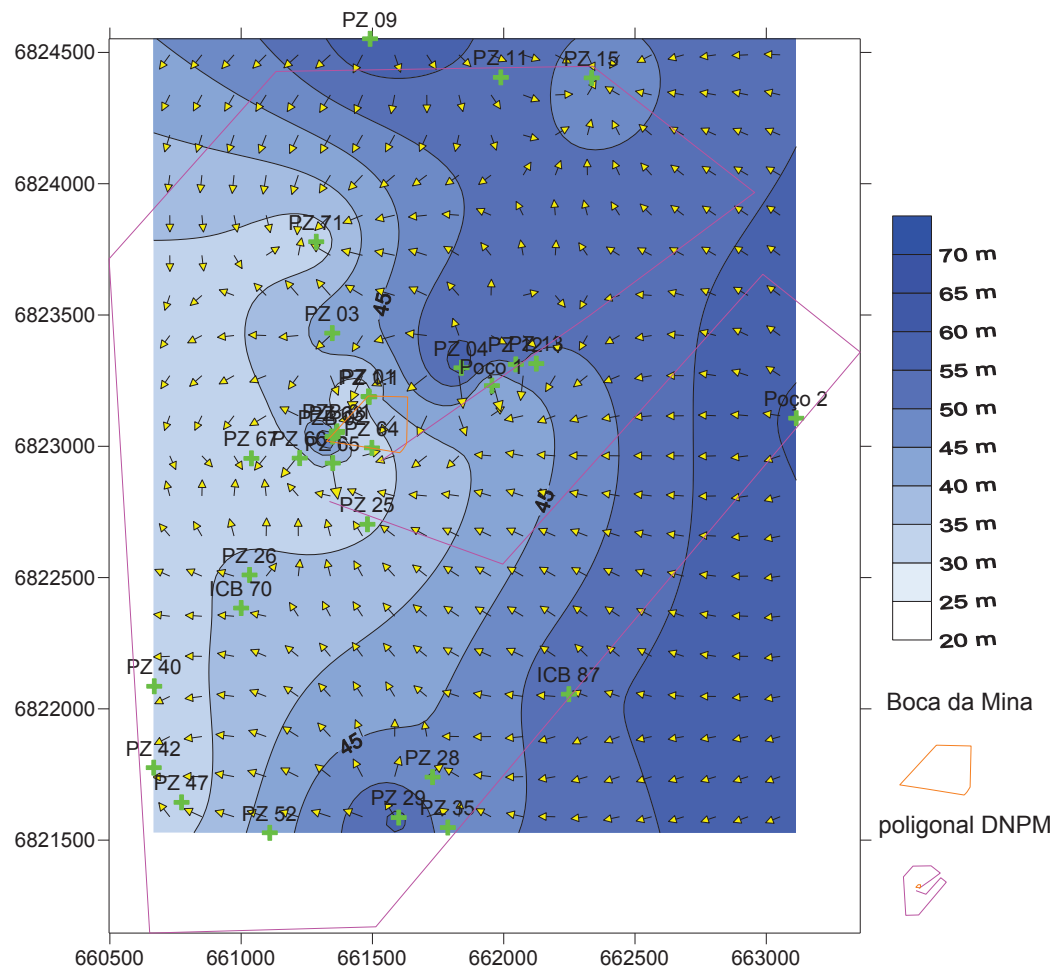
A seguir as figuras 45, 46, 47 e 48 representam o comportamento potenciométrico das águas subterrâneas, dos anos de 2010 a 2013, conforme a seguir:

Figura 45 - Mapa potenciométrico do ano de 2010.



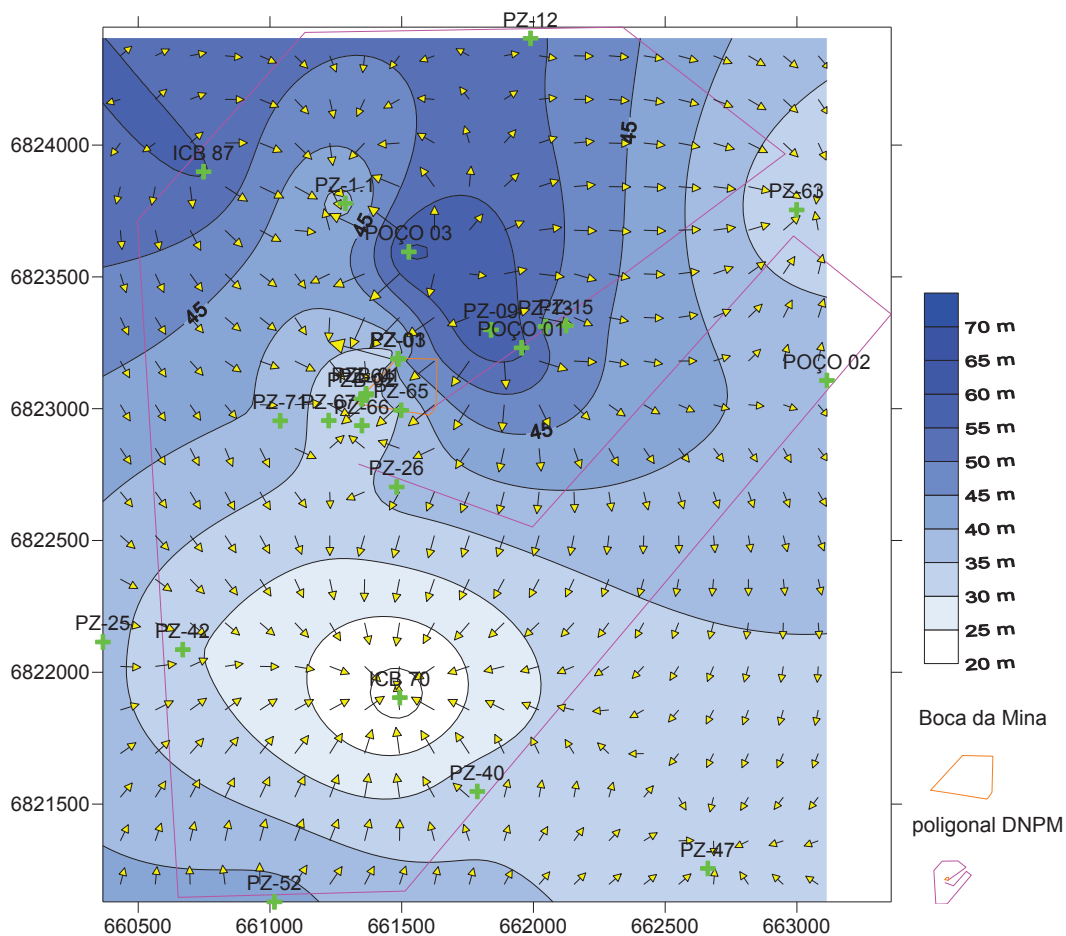
Fonte: Do autor, (2013).

Figura 47 - Mapa potenciométrico do ano de 2012.



Fonte: Do autor, (2013).

Figura 48 - Mapa potenciométrico do ano de 2013.



Fonte: Do autor, (2013).

5.3 ANÁLISE DOS MAPAS

Avaliando-se os mapas potenciométricos, observa-se que existe uma similaridade dos mapas de 2010 a 2013, e estes indicam que existe um grande fluxo das águas para direção do poço e plano da mina.

5.4 PROPOSTAS DE MELHORIA

Levando em conta o monitoramento feito em campo e a distância dos pontos em relação ao empreendimento, buscou-se a seguinte proposta de melhoria para o monitoramento dos piezômetros, conforme sistemática a seguir:

- a) Semanal para pontos situados entre 250 a 500 metros da lavra; e
- b) Mensal para os pontos situados entre 500 a 1.000 metros ou mais da

lavra.

5.5 SISTEMA DE TRATAMENTO DE DRENAGEM ÁCIDA DE MINA (DAM)

A estação de tratamento de efluentes líquidos é projetada para a capacidade de 150 m³/h, dividida em três células de tratamento com capacidade de 50 m³/h.

A ETE possibilita o tratamento dos seguintes tipos de efluentes:

- a) da percolação da DAM das águas residuárias de pátio;
- b) da DAM proveniente da lavra de carvão em subsolo;
- c) da oficina mecânica; e
- d) dos refeitórios e banheiros.

O quadro 4 a seguir apresenta as vazões e seus respectivos pontos de geração de efluentes.

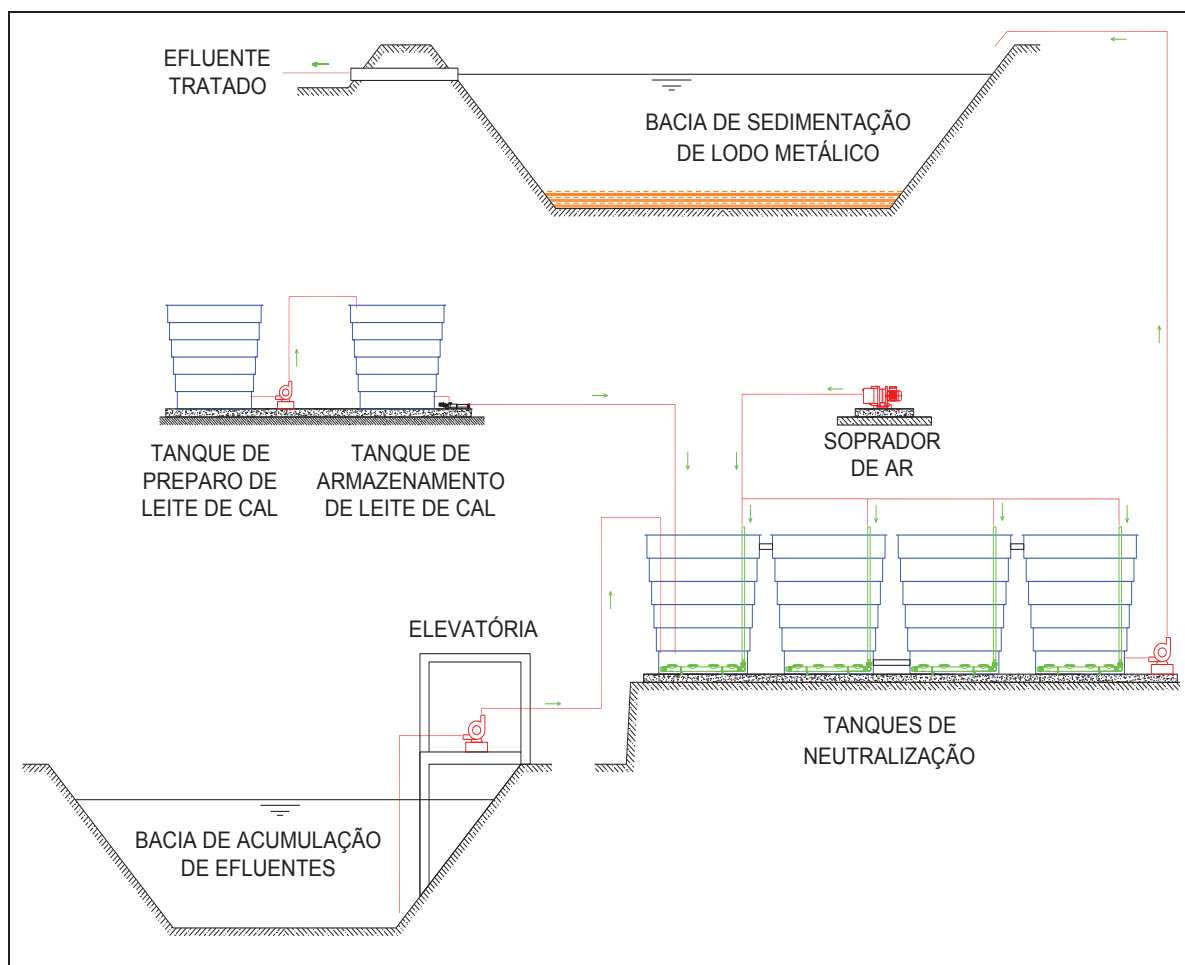
Quadro 4 - Vazões dos efluentes para tratamento na mina Novo Horizonte.

Pontos de geração de efluentes	Vazão média
PT-01. Efluentes de DAM da atividade de extração de carvão	1.100,0 m ³ /d
PT-02. Efluentes das águas residuárias de pátio	100,0 m ³ /d
PT-03. Efluentes dos refeitórios e banheiros	18,0 m ³ /d
PT-04. Efluentes do processo de decapagem de parafusos (oficina mecânica).	0,50 m ³ /d
Vazão total para tratamento (PT-1) + (PT-2) + (PT-3) + (PT-4)	1.218,50 m ³ /d
Vazão total para tratamento	50 m ³ /h

Fonte: Acervo da empresa, (2013).

A unidade de tratamento é constituída das seguintes operações unitárias: captação das águas de acumulação, neutralização, coagulação/floculação, flotação e desidratação do lodo, (conforme figura 49). A média de tratamento entre janeiro a agosto de 2013 é 40,19 m³/h, bem abaixo da capacidade projetada, porém bem próxima da média estimada de tratamento na fase de licenciamento. O custo de tratamento é em torno de R\$ 0,30 a 0,40/m³ (incluindo mão de obra, reagentes, energia, manutenção, limpeza de bacias).

Figura 49 - Fluxograma representativo da ETE.



Fonte: Acervo da empresa, (2006).

A água tratada é descartada para o Corpo Receptor como efluente tratado ou encaminhada para reuso – limpeza de pátios, uso em banheiros, limpeza de vasos sanitários, processo produtivo de mineração, preparo de produtos químicos. No caso do efluente tratado não estar dentro dos padrões de lançamento de efluentes estabelecidos pelo Decreto Estadual nº 14.250/81 e pela Resolução CONAMA nº 357/05, deve ser retornado à Estação de Tratamento de Drenagem Ácida de Mina.

5.6 EFLUENTES LÍQUIDOS

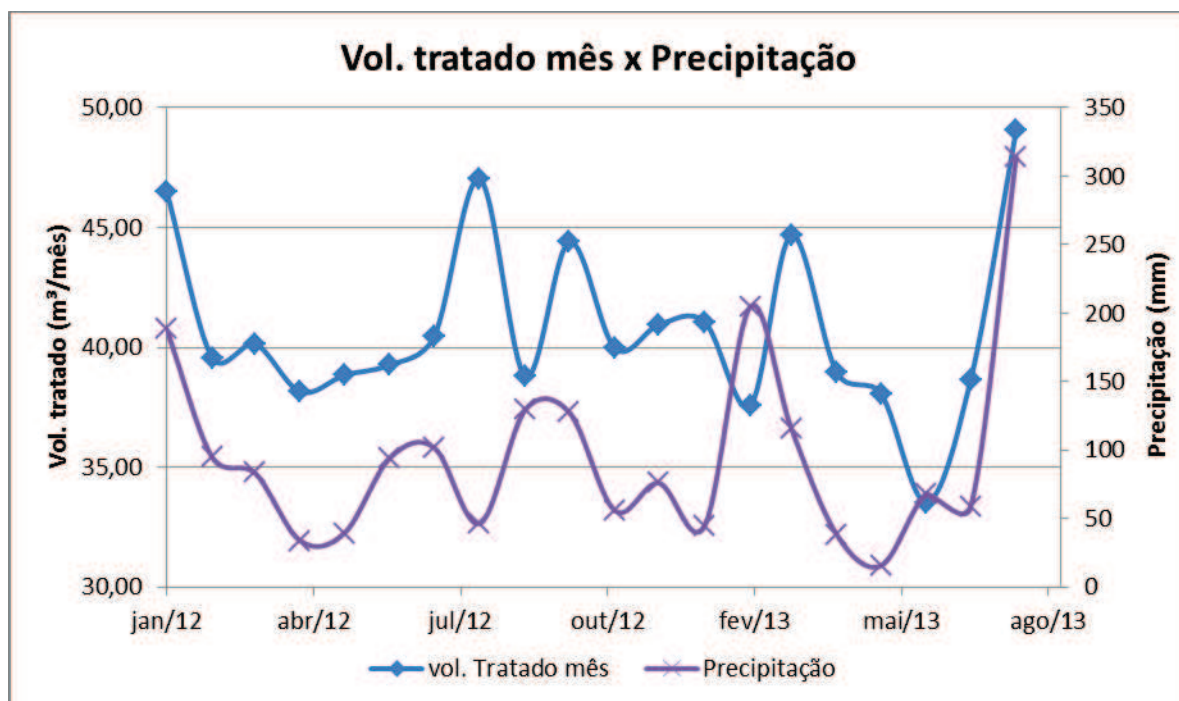
Todo o efluente gerado na unidade é enviado para Estação de Tratamento de Efluentes (ETE) localizada em seu pátio operacional. Salienta-se, que a mina opera em sistema de circuito fechado, onde após tratamento do seu

efluente, este retorna ao processo produtivo. No caso de excedente, este é descartado ao meio ambiente depois de tratado, atendendo todas as normas e requisitos ambientais.

O efluente tratado lançado na drenagem artificial é monitorado pelo ponto conforme nomenclatura EFLUT 03. Na drenagem, o ponto de monitoramento de montante do efluente final é o A14 e o ponto de jusante é o A15.

A seguir, a figura 41 representa a comparação do volume tratado mês em (m^3/h), com relação à precipitação (mm). Tendo o período do ano de 2012 até agosto de 2013, pode se perceber que ambos atingem picos e quedas na mesma proporção, sendo os mesmo dependentes um do outro. Pela figura 50 observa-se que a média de tratamento de 2012 foi de $41,25 \text{ m}^3/\text{h}$, quando comparado com agosto de 2013 que a média foi $40,19 \text{ m}^3/\text{h}$. Conforme avaliado pelos gráficos é possível evidenciar que a média de tratamento de 2013 está sendo um pouco menor que 2012, e em 2012 choveu uma média de $85,3 \text{ mm}$ ao mês, em comparação com 2013 que choveu $107,32 \text{ mm}$. Com isso foi verificado uma correlação de precipitação pluviométrica e o volume de água tratado da mina.

Figura 50 - Comparativo volume tratado mês (azul), com a precipitação (roxo).



Fonte: Do autor, (2013).

5.7 PONTOS DE MONITORAMENTO

Os pontos de monitoramento da ETE foram estabelecidos de forma a avaliar a eficiência do sistema implantado e assegurar o descarte do efluente conforme legislação ambiental (padrões de lançamento de efluentes). Os pontos são os que se seguem:

- a) EFLUB 01 – Antes da bacia de decantação ETE – Boca do cano;
- b) EFLUT 01 – Cano de saída ETE;
- c) EFLUT 02 – Bacia sedimentação da ETE; e
- d) EFLUT 03 – Cano de saída da bacia de decantação.

A seguir a figura 51, ilustra a bacia de efluente tratado.

Figura 51 - Bacia de sedimentação de efluente tratado.



Fonte: Do autor, (2013).

5.8 PADRÕES DE LEGISLAÇÃO

O quadro 5 apresenta os padrões de qualidade estipulados pelas Resoluções CONAMA nº 430/2011 e Código Ambiental nº 14.675/2009.

Quadro 5 - Padrões de qualidade para classificação de efluentes.

Parâmetros	Res. Conama 430/11	Código Ambiental 14.675/09
pH	5 – 9	6 - 9
Resíduos Sedimentáveis (mg/L)	1,0	-
Sólidos Dissolvidos (mg/L)	-	-
Sulfatos (mg/L)	-	-
Ferro Dissolvido (mg/L)	15,0	-
Manganês Total (mg/L)	-	-
Manganês Dissolvido (mg/L)	1,0	1,0
Cobre Dissolvido (mg/L)	1,0	-
Zinco Total (mg/L)	5,0	1,0
Alumínio Dissolvido (mg/L)	-	-
	Teores máx. permitidos em efluentes gerados por qualquer fonte poluidora	Impõe padrões de emissão aos efluentes líquidos

Fonte: Conama 430/2001 e Código Ambiental 14.675/2009, adaptado pelo autor, (2013).

5.9 RESULTADOS

O quadro 6 e 7 apresentam as médias dos resultados do efluente bruto (EFLUB 01), dos últimos 20 meses. E o quadro 8 e 9 apresentam as médias do efluente tratado (EFLUT 03), também dos últimos 20 meses.

Quadro 6 - Resultado de análise de efluente bruto, 2012.

EFLUB 01 – Bacia de Acumulação (Efluente Bruto)								
Mês	pH	Acidez (mg/L CaCO ₃)	Sulfatos (mg/L)	Fe Dis. (mg/L)	Zn Total (mg/L)	Cobre Dis. (mg/L)	Mn Dis. (mg/L)	Fator Toxic.
Janeiro	6,43	2,15	730	4,26	0,14	ND	6,57	1
Fevereiro	6,49	4,68	1028	7,67	0,1	ND	6,37	1
Março	6,56	4,83	930	8,03	0,09	ND	5,57	1
Abril	6,69	5,4	665	5,74	0,07	ND	4,96	-
Maio	-	-	-	-	-	-	-	-
Junho	-	-	-	-	-	-	-	-
Julho	-	-	-	-	-	-	-	-
Agosto	7,41	ND	717	4,14	0,06	ND	3,32	1
Setembro	-	-	-	-	-	-	-	-
Outubro	-	-	-	-	-	-	-	-
Novembro	6,70	-	-	-	-	-	4,47	-
Dezembro	6,34	-	-	-	-	-	3,79	-
Média	6,66	4,27	814	5,97	0,09	ND	5,01	1
Desvio Padrão	0,36	1,44	156	1,83	0,03	-	1,24	-

Fonte: Laboratório Rio Deserto, (2013).

ND: Não Detectável.

Quadro 7 - Resultado de análise de efluente bruto, 2013.

EFLUB 01 – Bacia de Acumulação (Efluente Bruto)								
Mês	pH	Acidez (mg/L CaCO ₃)	Sulfatos (mg/L)	Fe Dis. (mg/L)	Zn Total (mg/L)	Cobre Dis. (mg/L)	Mn Dis. (mg/L)	Fator Toxic.
Janeiro	6,6	ND	522	2,39	0,04	0,03	4,27	-
Fevereiro	-	-	-	-	-	-	-	-
Março	6,36	-	-	3,97	-	-	5,28	-
Abril	6,48	1,12	913	7,24	0,04	-	5,71	-
Agosto	7,32	ND	933	0,07	0,01	-	0,86	1
Média	6,69	1,12	789,33	3,42	0,03	0,03	4,03	1,00
Desvio Padrão	0,43	0,00	231,73	3,01	0,02	0,00	2,20	0,00

Fonte: Laboratório Rio Deserto, (2013).

ND: Não Detectável.

Quadro 7 - Resultado de análise de efluente tratado, 2012.

EFLUT 03 – Saída da Bacia de Sedimentação (Efluente Tratado)								
Mês	pH	Acidez (mg/L CaCO ₃)	Sulfatos (mg/L)	Fe Dis. (mg/L)	Zn Total (mg/L)	Cobre Dis. (mg/L)	Mn Dis. (mg/L)	Fator Toxic.
Janeiro	8,69	ND	678	0,03	0,02	ND	0,40	1
Fevereiro	8,54	ND	2075	0,07	0,02	ND	0,30	1
Março	8,59	ND	966	0,05	0,02	ND	0,22	1
Abril	8,59	ND	737	0,02	0,01	ND	0,40	-
Maio	8,41	-	-	-	-	-	0,44	1
Junho	8,45	-	-	-	-	-	0,71	-
Julho	8,61	-	-	-	-	-	0,71	1
Agosto	8,62	ND	796	0,08	0,03	ND	0,50	1
Setembro	8,68	-	-	-	-	-	0,71	-
Outubro	8,64	-	-	-	-	-	0,76	-
Novembro	8,54	-	-	-	-	-	0,62	-
Dezembro	8,68	-	-	-	-	-	0,37	-
Média	8,59	ND	1050	0,05	0,02	ND	0,51	1
Desvio Padrão	0,09	-	521	0,02	0,01	-	0,18	-

Fonte: Laboratório Rio Deserto, (2013).

ND: Não Detectável.

Quadro 8 - Resultado de análise de efluente tratado, 2013.

EFLUT 03 – Saída da Bacia de Sedimentação (Efluente Tratado)								
Mês	pH	Acidez (mg/L CaCO₃)	Sulfatos (mg/L)	Fe Dis. (mg/L)	Zn Total (mg/L)	Cobre Dis. (mg/L)	Mn Dis. (mg/L)	Fator Toxic.
Janeiro	8,74	ND	538	0,02	0,01	0,02	0,51	-
Fevereiro	8,61	-	-	-	-	-	0,6	1
Março	8,52	-	-	-	-	-	0,78	-
Abril	8,69	ND	1009	0,07	0,01	ND	0,72	-
Maio	8,71	-	-	-	-	-	0,38	1
Junho	8,73	-	-	-	-	-	0,81	
Julho	8,73	-	-	-	-	-	0,79	
Agosto	8,73	ND	762	0,06	0,01	-	0,86	1
Média	8,68	ND	769,67	0,05	0,01	0,02	0,68	1
Desvio Padrão	0,08	0,00	235,59	0,03	0,00	0,00	0,17	0

Fonte: Laboratório Rio Deserto, (2013).

ND: Não Detectável.

5.9.1 Avaliação dos resultados

Avaliando-se os resultados frente à legislação ambiental vigente Resolução CONAMA nº 430/11 e Código Ambiental nº. 14.675/09 (para teores máximos permitidos em efluentes gerados por qualquer fonte poluidora), observa-se que todos os parâmetros atendem as mesmas.

Analisando os principais elementos químicos utilizados como parâmetros de qualidade para os efluentes, conclui-se que o efluente tratado atende a legislação, isto é, pode ser lançado nos recursos hídricos sem que altere a qualidade do mesmo.

Fazendo uma relação entre os quadros 8 e 9, observa-se a eficiência do respectivo tratamento que é aplicado nesta unidade para atender a legislação vigente.

O quadro 10 segue os resultados do monitoramento de qualidade para os parâmetros pH, sulfatos, ferro dissolvido e manganês total para os pontos monitorados a montante (A 14) e a jusante (A 15) do lançamento de efluente no corpo receptor.

Quadro 9 - Média dos resultados de análises de águas.

Parâmetros	PONTOS DE MONITORAMENTO					
	A15			A14		
	2012	2013	Média	2012	2013	Média
pH	7,09	6,04	6,23	6,88	4,83	5,71
Sulfatos (mg/L)	44,45	110	91,93	364	344	302
Ferro Dissolvido (mg/L)	1,04	0,90	1,06	0,49	0,76	1,08
Manganês Total (mg/L)	0,29	0,60	0,49	0,63	1,21	0,92

Fonte: Laboratório Rio Deserto, (2013).

5.9.2 Avaliação dos resultados dos pontos de montante e jusante

A malha de monitoramento da Mina Novo Horizonte sofre influência de vários segmentos tais como: mineração a céu-aberto que ocorreu no passado, com a presença de rejeitos (pirita) expostos, a contaminação hídrica/solo por esgotos sanitários lançados nos corpos hídricos sem nenhum tipo de tratamento, a ocupação urbana desordenada, bem como, lançamento de resíduos sólidos sem critérios ambientais de controle.

Através dos resultados pode-se observar que o ponto A14, montante do efluente tratado é uma drenagem contaminada.

5.10 MELHORIAS NO PROCESSO DE TRATAMENTO DE EFLUENTES

O atual sistema de dosagem trabalha com dosagem contínua onde é ajustada a vazão de forma manual através de uma válvula, onde é capitado o leite em um recipiente de volume conhecido e cronometrado o tempo.

Devido às características do leite da cal e do tanque de armazenamento é necessário fazer constantemente o ajuste da vazão, sendo necessária a atenção de um colaborador durante o período de operação. A dosagem é feita por meio de uma bomba com um registro, sendo necessária uma limpeza periódica.

Devido a isso, se pensou na dosagem por batelada. O processo em batelada é aquele em que as funções de transferência de material ou processamento de material são cíclicas, com resultados repetíveis. Este processo faz um produto em quantidades finitas, diferenciando assim de um processo

contínuo. É um processo onde a produção tem início, meio e fim, a intervalos regulares, ou seja, é uma atividade periódica (MARQUES, 2009, p. 12).

O processo funcionaria da seguinte forma: a dosagem ocorreria em volumes fixos (batelada) de leite da cal, em intervalos de tempo por um microcomputador, permitindo que o sistema mantenha a vazão sem precisar da atenção de um colaborador.

Outra melhoria seria a introdução de um pHmetro automático, na saída da bacia de decantação, pois é onde a água tratada deságua para o corpo receptor, melhorando assim, o monitoramento do valor pH.

Outro ponto importante seria a colocação de um sistema de bóias no tanque de preparo do leite da cal, e no tanque de dosagem. Ambos necessitam de cuidados para evitar transbordo na hora do preparo do leite da cal e no bombeamento para o tanque de dosagem, com um sistema de bóias automáticas facilitaria a operação e evitaria perdas do produto (cal hidratada).

6 CONCLUSÃO

Por meio da metodologia proposta, foi possível analisar o comportamento do nível potenciométrico do aquífero profundo, na área de concessão do empreendimento, e avaliar a evolução temporal dos níveis estáticos dos piezômetros em relação ao bombeamento de água de subsolo, juntamente com a precipitação pluviométrica. Essas informações foram importantes para relacionar o comportamento do nível potenciométrico do aquífero profundo na área de estudo com o regime regional de chuvas.

Pelas análises efetuadas nos trinta e nove piezômetros, conclui-se que na grande maioria deles as oscilações graduais do nível estático relacionado com a precipitação e o bombeamento da mina, existe uma relação direta entre ambos, ou seja, quanto maior a precipitação maior será a leitura do nível estático e assim sucessivamente. O mesmo acontece com o bombeamento do subsolo, essa última mais significativa, pois, do ponto de vista hidrogeológico existe na mina fraturas provocadas pela extração da primeira camada de carvão, a camada Barro branco. Também se verifica na área de inserção de água na mina, que existem falhas geológicas.

Pode se perceber que em piezômetros distantes a mais de mil metros da boca da mina esse comportamento não acontece. A partir do monitoramento dos recursos hídricos subterrâneos foi possível constatar que, existem trinta e cinco poços rasos e que a sua cota de base não foi superior a vinte metros, e que quatro poços foram classificados como poços profundos, pois sua cota de base foi superior a quarenta metros.

Como proposta de melhoria para os monitoramentos das águas subterrâneas, recomenda-se as seguintes situações: para o monitoramento dos piezômetros situados entre 250 a 500 metros da lavra recomenda-se uma frequência semanal de medição, e para os pontos situados entre 500 a 1.000 metros ou mais da lavra, recomenda-se uma frequência mensal de medição.

Com relação às águas superficiais e o atual sistema de tratamento de efluentes, avaliaram-se os resultados frente à legislação ambiental vigente, a Resolução CONAMA n° 430/11 e Código Ambiental n°. 14.675/09 (para teores máximos permitidos em efluentes gerados por qualquer fonte poluidora), observa-se

que todos os parâmetros atendem as mesmas. E analisando os principais elementos químicos utilizados como parâmetros de qualidade para os efluentes, conclui-se que o efluente tratado atende a legislação, isto é, pode ser lançado no recurso hídrico sem que altere a qualidade do mesmo.

Como proposta de melhoria para o sistema de tratamento de efluentes recomenda-se um sistema de dosagem batelada e um sistema de bóias automáticas, para evitar o desperdício de produtos químicos, além de um sistema automático de medição do pH, no final da bacia de sedimentação.

REFERENCIAS

BACK, Álvaro José. Caracterização climática. In: MILIOLI, Geraldo; SANTOS, Robson dos; ZANETTE, Vanilde Citadini (Coord.). **Mineração de carvão, meio ambiente e desenvolvimento sustentável no sul de Santa Catarina**: uma abordagem interdisciplinar. Curitiba: Juruá, 2009. (p.15-20).

BATES, Jeremy. **Barragens de rejeitos**. São Paulo. Signus editora, 2002. 122 p.

BORBA, Roberto Ferrari. **Balanço mineral 2001**. Disponível em: <http://www.dnpm.gov.br/assets/galeriadocumento/BalancoMineral2001/carvao.pdf>. Acesso em: 22 de out. 2013.

BOSCOV, Maria Eugenia Gimenez. **Geotecnia ambiental**. São Paulo. Oficina de Textos, 2008. 248 p.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Ciclo Hidrológico**. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/agua/recursos-hidricos/aguas-subterraneas/ciclo-hidrologico>. Acesso em: 30 abr.2013.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente **Resolução n.357**, de 17 de março de 2005. Alterada pela Resolução 410/2009 e pela 430/2011. Brasília, DF, 18 mar.2005. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf>. Acesso em: 12 out. 2013.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Resolução n.430**, de 13 de maio de 2011. Complementa e altera a Resolução nº 357/2005. Brasília, DF, 18 mar.2005. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=646>. Acesso em: 12 out. 2013.

CAJAZEIRA, Jorge Emanuel Reis. **ISO 14001**: manual de implantação. Rio de Janeiro: Qualitymark, 1998. (p.117).

CAVALCANTI, José Eduardo W. A. **Manual de tratamento de efluentes industriais**. São Paulo: Engenho, 2009. (p.20-39).

CIRAM/EPAGRI – Estação Meteorológica de Criciúma. **Dados Históricos**. Disponível em: http://www.ciram.com.br/siscrici/produtos/form_dadosHist.jsp. Acesso em: 15 out.2013.

CHIOSSI, Nivaldo José. **Geologia aplicada à engenharia**. São Paulo: Grêmio Politécnico, 1975. 427 p.

DIAS, Adalberto de Abreu. **Geologia do município de Criciúma-SC**. Porto Alegre: CPRM, 1995. 13 p.

EMBRAPA – Agência EMBRAPA de Informação de Tecnologia. Disponível em: <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/cana->

deacucar/arvore/CONTAG01_73_711200516719.html. Acesso em: 11 ago.2013.

FIGUEIREDO, Bernardino Ribeiro. **Minérios e meio ambiente**. São Paulo: Unicamp, 2000. 397 p.

FRIZZO, Sonia Maria Bitencourt, et al. Contribuição ao estudo de efluentes de indústrias de celulose e papel. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v.6, n.1, p. 129-136, 1996. Disponível em: <http://www.ufsm.br/cienciaflorestal/artigos/v6n1/art12v6n1.pdf>. Acesso em: 18 ago.2013.

GALATTO, Sérgio Luciano; SANTO, Eder Luiz; LOPES, Rosana Peporine. Mineração de carvão em Santa Catarina: Geologia, geoquímica e impactos ambientais. In: MILIOLI, Geraldo; SANTOS, Robson dos; ZANETTE, Vanilde Citadini (Coord). **Mineração de carvão, meio ambiente e desenvolvimento sustentável no sul de Santa Catarina: uma abordagem interdisciplinar**. Curitiba: Juruá, 2009. 51-62 p.

GARCEZ, Lucas Nogueira; ALVAREZ, Guillermo Acosta. **Hidrologia**. 2. ed. rev. e atual. São Paulo: Edgard Blücher, 1988. (p.1-4).

GOMES, A. J. P.; CRUZ, P. R.; BORGES, L.P. Recursos Minerais Energéticos: Carvão e Urânio. In: BIZZI, C.Schobbenhaus; VIDOTTI, R.M; GONÇALVES, J.H (Eds.). **Geologia, Tectônica e Recursos Minerais do Brasil L.A.** CPRM, Brasília, 2003. Disponível em: http://www.cprm.gov.br/publique/media/capXI_a.pdf. Acesso em: 22 de out. 2013.

GRUPO TÉCNICO DE ASSESSORAMENTO – GTA. **Sexto relatório de monitoramento dos indicadores ambientais**. Criciúma, 2012. (v.1, 218 p).

GUERRA, Teresinha. Geologia. In: Centro de Ecologia/UFRGS. **Carvão e meio ambiente**. Porto Alegre. Ed. Universidade/UFRGS, 2000. (Cap. 2, 19p).

KOPEZINSKI, Isaac. **Mineração x meio ambiente: considerações legais, principais impactos ambientais e seus processos modificadores**. Porto Alegre: UFRGS, 2000. 103 p.

KREBS, Antônio Silvio Jornada; POSSA, Mario Valente. O papel da hidrogeologia como instrumento de gestão ambiental na mineração de carvão. In: SOARES, Paulo Sergio Moreira; DOS SANTOS, Maria Dionísia COSTA; POSSA, Mario Valente (Eds.). **Carvão Brasileiro: Tecnologia e Meio Ambiente**. Rio de Janeiro. CETEM/MCT, 2008. 111 p.

MARQUES, Rodrigo Fonseca. **Controle de processo em batelada: Aplicação ao sistema de mistura veramix**. 2009. 47 f. Monografia (Graduação em Engenharia de Controle e Automação), Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2009. Disponível em: <http://www.em.ufop.br/cecau/monografias/2009/Rodrigo%20F.%20Marques.pdf>. Acesso em: 03 nov. 2013.

MÜLLER, Alberto Antônio, et al. **Perfil analítico do carvão**. 2. ed. Porto Alegre, Departamento Nac. de Produção Mineral, 2002. 140 p.

NUNES, José Alves. **Tratamento físico-químico de águas residuárias industriais**. 4. ed. Aracaju, SE: Gráfica Editora J. Andrade, 2004. (p.70-83).

PEREIRA, Sueli Yoshinaga. Impacto da drenagem ácida na água subterrânea. In: ALBA, José Maria Filippini (Ed.). **Recuperação de áreas degradadas**. Brasília, DF. EMBRAPA - Informação Tecnológica, 2010. (p.167-177).

PINTO, Nelson L. de Souza, et al. **Hidrologia básica**. São Paulo: Edgard Blucher, 1976.

POPP, José Henrique. Geologia geral. 5. ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1987. 375 p.

SANTA CATARINA. Secretaria de Estado da Ciência e Tecnologia das Minas e Energia. **Diagnóstico do carvão mineral catarinense**. Florianópolis: SECTME, 1990. 77 p.

SANTA CATARINA. **Lei n.14.675**, de 13 de abril de 2009. Institui o Código Estadual do Meio Ambiente e estabelece outras providências. Florianópolis, SC, 13 abr.2009. Disponível em: http://www.cooperalfa.com.br/2010/arquivos/codigo_ambiental.pdf. Acesso em: 12 out. 2013.

SANTA CATARINA. **Portaria n.017/02**. Estabelece os Limites Máximos de Toxicidade Aguda para efluentes de diferentes origens e dá outras providências. Florianópolis, SC, 23 abr.2002. Disponível em: http://www.carvaomineral.com.br/abcm/meioambiente/legislacoes/bd_carboniferas/agua/portaria_017-2002_na_integra.pdf. Acesso em: 13 out. 2013.

SILVEIRA, André L.L. da. Ciclo hidrológico. In: TUCCI, Carlos E. M. (Org). **Hidrologia: ciência e aplicação**. 2. ed. Porto Alegre: ABRH, 1997. 35 p.

SINDICATO DA INDÚSTRIA DE EXTRAÇÃO DE CARVÃO DO ESTADO DE SANTA CATARINA – SIECESC. **Histórico do carvão no em Santa Catarina**. Disponível em: <http://www.satc.edu.br/siecesc/historico.asp>. Acesso em: 20 out.2013.

SÔNEGO, M. O Clima do Litoral Sul de Santa Catarina. In: SEMINÁRIO INTERDISCIPLINAR DOS CURSOS DE LICENCIATURA, 3. Criciúma. **Anais...** Criciúma: UNESC, 2002. (p.102-3).

TERCEIRO Relatório de Monitoramento dos Indicadores Ambientais - Grupo Técnico de Assessoramento a Execução da Sentença. Relatório Técnico. Criciúma, 2009, 312p.

VICTORINO, Daniel R; GEHLING Wai Y. Y; RAMIRES, Mirtes C. P. **Piezômetros e Medidor de Nível D'água em Pistas Experimentais da UFRGS**. Disponível em: <http://www.portaldetecnologia.com.br/wp-content/uploads/2010/02/ARTIGO-UFRGS-PIEZOMETROS-E-PAVIMENTO.pdf>. Acesso em: 23 out. 2013.

VILHENA, André. **Lixo municipal**: manual de gerenciamento integrado. 3. ed. São Paulo: CEMPRE, 2010. 350 p.

