

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA**

**EDUARDO DALVANI SCHWAAB**

**ANÁLISE E CLASSIFICAÇÃO DAS ÁGUAS SUPERFICIAIS EM ÁREA SOB A  
INFLUÊNCIA DE MINERAÇÃO DE CALCÁRIO**

**Caçapava do Sul/RS**

**2017**

**EDUARDO DALVANI SCHWAAB**

**ANÁLISE E CLASSIFICAÇÃO DAS ÁGUAS SUPERFICIAIS EM ÁREA SOB A  
INFLUÊNCIA DE MINERAÇÃO DE CALCÁRIO**

Dissertação, apresentada ao Programa de Pós Graduação Stricto Sensu em Tecnologia Mineral da Universidade Federal do Pampa, como requisito parcial pra obtenção do Título de Mestre em Tecnologia Mineral.

Orientador: Prof. Dr. Pedro Daniel da Cunha Kemerich

**Caçapava do Sul  
2017**

Ficha catalográfica elaborada automaticamente com os dados fornecidos pelo(a) autor(a) através do Módulo de Biblioteca do Sistema GURI (Gestão Unificada de Recursos Institucionais) .

S398a Schwaab, Eduardo Dalvani  
ANÁLISE E CLASSIFICAÇÃO DAS ÁGUAS SUPERFICIAIS EM  
ÁREA SOB A INFLUÊNCIA DE MINERAÇÃO DE CALCÁRIO /  
Eduardo Dalvani Schwaab.  
71 p.

Dissertação(Mestrado)-- Universidade Federal do Pampa, MESTRADO  
EM TECNOLOGIA MINERAL, 2017.

"Orientação: Pedro Daniel da Cunha Kemerich".

1. Mineração. 2. Qualidade da água. 3. Impactos ambientais . I. Título.

EDUARDO DALVANI SCHWAAB

ANÁLISE E CLASSIFICAÇÃO DAS ÁGUAS SUPERFICIAIS EM ÁREA SOB A  
INFLUÊNCIA DE MINERAÇÃO DE CALCÁRIO

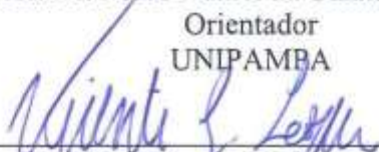
Dissertação apresentada ao Programa de Pós  
Graduação Stricto Sensu em Tecnologia  
Mineral da Universidade Federal do Pampa,  
como requisito parcial pra obtenção do Título  
de Mestre em Tecnologia Mineral.

Área de concentração: Gestão ambiental e  
sustentabilidade na mineração.

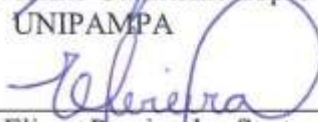
Dissertação defendida e aprovada em: 15 de setembro de 2017.  
Comissão examinadora:



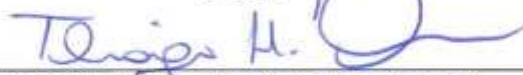
Prof. Dr. Pedro Daniel da Cunha Kemerich  
Orientador  
UNIPAMPA



Prof. Dr. Vicente Guilherme Lopes  
UNIPAMPA



Profª. Drª. Eliane Pereira dos Santos  
UFSM



Prof. Dr. Thiago Henrique Lugokenski  
UNIPAMPA

## RESUMO

A qualidade da água é muito variável e está diretamente relacionada ao solo por onde transita ou esta armazenada. A atividade de mineração de calcário é uma das mais antigas que existem, sendo responsável pela geração de grandes impactos ambientais locais, dentre os quais se destaca a interferência direta nos recursos hídricos. O monitoramento e o gerenciamento apresentam-se como importantes ferramentas de proteção, conservação e ações mitigatórias dos recursos hídricos. Este estudo consiste na amostragem de águas superficiais em área ocupada por mineração de calcário, objetivando a classificação em acordo com a Resolução CONAMA nº 357/05, como também analisar se a atividade local gera influência sob os cursos hídricos locais. Os pontos de monitoramento localizam-se no município de Caçapava do Sul/RS. O estudo determinou parâmetros químicos, físicos e microbiológicos. Com os resultados obtidos pôde-se enquadrar os Pontos de Monitoramento como de classes 2 e 3, entretanto não fora possível determinar se a atividade está influenciando na qualidade das águas superficiais.

Palavras-chave: Água, CONAMA nº 357/05, mineração, calcário.

## **ABSTRACT**

The water quality is very variable and is directly related to the soil where it transits or is stored. The limestone mining activity is one of the oldest that exists being responsible for large local environmental impacts generation, among which the direct interference in water resources can be affirmed. Monitoring and management are important tools to protection, conservation and mitigating actions of the water resources. This study consists of surface water sampling in an occupied area by limestone mining, seeking the classification according the CONAMA Resolution 357/05, but also to analyze if the local activity generates influence under local water courses. The monitoring points are located in Caçapava do Sul/RS city. The study analyzed chemical, physical and microbiological parameters. With the results obtained it was possible to fit the Monitoring Points as classes 2 and 3, however, it was not possible to determine whether the activity is influencing the quality of surface waters.

**Keywords:** Water, CONAMA n° 357/05, mining, limestone.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1 – Principais depósitos minerais no Brasil.	16
FIGURA 2 - Distribuição geográfica das áreas outorgadas pelo DNPM.	19
FIGURA 3 – Cartograma do valor da produção mineral comercializada por município no RS em 2014.	20
FIGURA 4 - Localização do município de Caçapava do Sul – RS.	39
FIGURA 5 - Imagem aérea da empresa Dagoberto Barcellos S.A.	41
FIGURA 6 - Imagem aérea da área de extração do calcário da empresa Dagoberto Barcellos S.A.	41
FIGURA 7 – Localização espacializada dos Pontos de Monitoramento.	43
FIGURA 8 - Médias dos resultados por PM – Cor	46
FIGURA 9 - Médias dos resultados por PM – Turbidez	47
FIGURA 10 - Médias dos resultados por PM - Ferro	48
FIGURA 11 - Médias dos resultados por PM - DBO	49
FIGURA 12 - Médias dos resultados por PM - OD	51
FIGURA 13 - Médias dos resultados por PM - pH	53

## LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – Localização geográfica dos pontos de monitoramento. _____	43
TABELA 2 - Parâmetros analisados, unidades de medida e técnicas aplicadas. _____	44
TABELA 3- Enquadramento dos Pontos de Monitoramento analisados conforme as classes dispostas na Resolução CONAMA nº 357/2005. _____	57



## LISTA DE SIGLAS

ABAS - Associação Brasileira de Águas Subterrâneas  
ABRACAL - Associação brasileira dos Produtores de Calcário Agrícola  
ABPC - Associação Brasileira dos Produtores de Cal  
ANA - Agência Nacional das águas  
CNRH - Conselho Nacional de Recursos Hídricos  
CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente  
CPRM – Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais  
DBO - Demanda Bioquímica de Oxigênio  
DQO - Demanda Química de Oxigênio  
DNPM - Departamento Nacional de Produção Mineral  
IBAMA - Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis  
IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística  
IBRAM - Instituto Brasília Ambiental  
IPEA - Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada  
GCC - Carbonato de cálcio natural  
MMA - Ministério do Meio Ambiente  
MO - Matéria Orgânica  
MME - Ministério de Minas e Energia  
OD - Oxigênio Dissolvido  
PCC - Carbonato de cálcio precipitado  
PIB - Produto interno bruto  
pH - Potencial Hidrogeniônico  
PM - Ponto de monitoramento  
THM - Trihalometanos  
UFES - Universidade Federal de Santa Maria  
UNIPAMPA - Universidade Federal do Pampa

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b>	11
<b>2 OBJETIVOS</b>	14
<b>2.1 Objetivo Geral</b>	14
<b>2.2 Objetivos Específicos</b>	14
<b>3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b>	15
<b>3.1 Carbonato de cálcio</b>	16
<b>3.2 Mineração de calcário no Brasil</b>	17
<b>3.2 Mineração de calcário no Rio Grande do Sul</b>	19
<b>3.2 Aspectos tecnológicos da produção</b>	20
<b>3.3 Principais usos do calcário</b>	22
3.3.1 Uso do calcário na indústria do cimento	22
3.3.2 Uso de calcário como cal virgem	23
3.3.3 Uso de calcário na indústria de papel	23
3.3.4 Uso do calcário na indústria de plásticos	23
3.3.5 Uso do calcário na indústria de tintas	24
3.3.6 Uso do calcário na agricultura	24
3.3.7 Uso de calcário na alimentação de animais	24
3.3.8 Uso de calcário na indústria de vidros	25
3.3.9 Uso do calcário na indústria cerâmica	25
3.3.10 Uso de calcário na indústria metalúrgica	25
3.3.11 Uso de calcário no tratamento de água	26
<b>3.4 Consumo da água no processo industrial da mineração</b>	26
<b>3.5 Mineração e os aspectos ambientais</b>	27
3.5.1 Recursos hídricos e mineração	29
3.5.2 Parâmetros analíticos de avaliação de qualidade da água	32
3.5.2.1 Parâmetros físicos	32
3.5.2.2 Parâmetros químicos	34
3.5.2.3 Parâmetros biológicos	36
<b>3.6 Leis ambientais pertinentes à mineração</b>	37
<b>3.7 Resolução CONAMA nº 357/2005</b>	37
<b>4 METODOLOGIA</b>	39
<b>4.1 Caracterização da área de estudo</b>	39
<b>4.2 Caracterização da empresa mineradora</b>	40
<b>4.2 Materiais e métodos</b>	41

<b>5 RESULTADOS E DISCUSSÃO</b>	<b>45</b>
<b>5.1 Cor</b>	<b>45</b>
<b>5.2 Turbidez</b>	<b>46</b>
<b>5.3 Ferro</b>	<b>48</b>
<b>5.4 Matéria Orgânica (M.O.) e Demanda Bioquímica de Oxigênio (D.B.O.)</b>	<b>49</b>
<b>5.5 Oxigênio Dissolvido (O.D.)</b>	<b>50</b>
<b>5.6 Coliformes totais e termotolerantes</b>	<b>51</b>
<b>5.7 Potencial Hidrogeniônico (pH) e alcalinidade</b>	<b>52</b>
<b>5.8 Condutividade elétrica</b>	<b>54</b>
<b>5.9 Dureza, Cálcio e Magnésio</b>	<b>54</b>
<b>5.10 Resultados dos PM7 e PM8</b>	<b>55</b>
<b>5.11 Resumo dos resultados por Ponto de Monitoramento</b>	<b>56</b>
<b>6 CONCLUSÃO</b>	<b>58</b>
<b>REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO</b>	<b>60</b>
<b>APÊNDICE A – Resultados das análises dos pontos de monitoramento</b>	<b>65</b>
<b>APÊNDICE B – Imagens dos Pontos de Monitoramentos.</b>	<b>68</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Utilizando dados simulados e divulgados pelo MMA juntamente com a ABAS e Petrobrás (2007); se toda a água do planeta totalizasse 1.000 litros, teríamos 975 litros de água salgada e apenas 25 litros de água doce. Mas, dos 25 litros de água doce 17,02 litros seriam gelo, 0,225 litros estariam em pântanos e apareceriam como umidade do solo e ar, e 0,075 litros, ou 75 mililitros formariam os rios e lagos. Então, para cada 1.000 litros de água do planeta, ou melhor, para cada 5.000 copos de água do planeta, aproximadamente 1/3 de um copo de água (200 ml) representa os rios e lagos.

Sabe-se que vários fatores podem comprometer a qualidade das águas. O destino final do esgoto doméstico e industrial em fossas e tanques sépticos, a disposição inadequada de resíduos sólidos urbanos e industriais, postos de combustíveis e de lavagem, atividades de mineração e a modernização da agricultura representam fontes de contaminação das águas por bactérias e vírus patogênicos, parasitas e substâncias orgânicas e inorgânicas (SILVA e ARAÚJO, 2003).

O monitoramento dos mananciais subsidia as ações preventivas e proativas para manutenção da qualidade e quantidade da água, gerenciamento da disponibilidade e garantia ao atendimento das funções de uso social, econômico e ecológico, bem como para o desencadeamento de ações mitigatórias, nos casos de poluição/contaminação. É ferramenta essencial da gestão integrada dos recursos hídricos. Sendo assim, o monitoramento qualitativo é um dos instrumentos mais importantes de suporte a estratégias e políticas de uso, proteção e conservação do recurso hídrico subterrâneo (MINDRISZ, 2006).

A mineração é uma das atividades mais antigas no mundo, sendo considerada como referência de desenvolvimento econômico (LEITE et al., 2003). O incremento da atividade agrícola e da construção civil no Brasil impõe um equivalente aumento da indústria cimenteira e de corretivos agrícolas o que, subsequentemente, expõe as áreas de ocorrência de rochas carbonáticas de onde é extraída a matéria-prima para esses insumos: o calcário. A extração do calcário vem tendo um aumento significativo no Brasil nos últimos tempos, causando sérios problemas ambientais, (LEITE et al., 2003; BACCI et al., 2006).

A maior parte das minas de calcário no mundo é lavrada a céu aberto, nas chamadas pedreiras. No Brasil, isso não é diferente. As principais etapas da lavra de calcário nessas condições incluem: remoção do capeamento, perfuração, desmonte por explosivos, e transporte até a usina de processamento (SILVA, 2008).

No Brasil, o calcário é empregado, principalmente, como corretivo da acidez do solo. O calcário agrícola representa mais de 21% do total do calcário produzido no país e é um produto relativamente barato e de fácil aplicação. Por ter um baixo nível de exigência técnica, o calcário agrícola não exige de seus fornecedores melhorias muito grandes nas suas instalações e necessidade de gestão ambiental. No entanto, a prática de calagem dos solos brasileiros é relativamente baixa, razão que levou o governo a incentivar o seu uso, principalmente por meio de financiamentos oficiais (SILVA, 2008).

Na mineração e no beneficiamento do calcário não há significativo uso direto de água de processo, portanto a demanda sobre os recursos hídricos é pouca, mas a preocupação se dá especialmente em relação à possível degradação desses recursos na região da área de lavra, por conta da grande movimentação de minério e estéril. Esse risco é relativo a possíveis efeitos sobre a qualidade da água dos recursos hídricos, devido ao assoreamento ou à suspensão de sólidos.

Além das águas superficiais, outro risco se refere aos aquíferos, comuns em áreas onde ocorrem depósitos de calcário, por estarem sujeitos à gradual dissolução pelas águas que se infiltram em suas camadas, abrindo fendas e caminhos para a circulação da água subterrânea. Nesses casos, a operação de lavra, ou de outras atividades levadas a cabo nas proximidades, pode implicar na contaminação mais fácil e rápida dos aquíferos, e maiores cuidados e exigências técnicas se aplicam a essas operações (BLISS, HAVES e ORRIS, 2008).

Apesar dos usos benéficos do calcário agrícola, sua extração, como toda atividade mineradora, gera impactos negativos ao meio ambiente, independente de qual seja o seu destino, ao acabar com os afloramentos naturais de calcários e sua vegetação. A extração de calcário pode ser prejudicial também para o ciclo local das águas, pois, os afloramentos de calcário recolhem a água das chuvas, e a direcionam aos corpos d'água superficiais e subterrâneos, funcionando como uma caixa d'água natural e eficaz. Além disso, a extração de calcário, inevitavelmente, desfaz as paisagens e destrói os sítios de interesse espeleológico, arqueológico e indígena (SANTI e FILHO, 2004).

A Resolução CONAMA nº 357/2005 determina que a qualidade das águas esteja associada ao uso pretendido. Dessa forma, a qualidade de um segmento de corpo d'água é estabelecida de acordo com os usos preponderantes em um sistema de classes de qualidade. O estabelecimento do grau de qualidade (classe) de um segmento de corpo de água, ao longo do tempo, deve estar baseado em diagnósticos regionais, considerando-se dados

socioeconômicos, uso do solo e usos pretendidos dos recursos hídricos, de modo a assegurar seus usos preponderantes (CETESB, 2008).

Visto a importância da preservação dos recursos hídricos, os quais estão expostos a uma série de poluentes e contaminantes, este trabalho objetivou avaliar a qualidade das águas superficiais em diferentes pontos próximos a uma mineradora de calcário e das águas acumuladas nas suas cavas, através da determinação de alguns parâmetros, além da classificação dessas águas de acordo com a Resolução CONAMA nº 357/2005.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo Geral**

Realizar o diagnóstico da qualidade e classificação das águas presentes em área sob a influência da mineração de calcário a partir da determinação de alguns parâmetros.

### **2.2 Objetivos Específicos**

Dentre os principais objetivos específicos, destaca-se:

- Determinar parâmetros de: cor, turbidez, ferro, matéria orgânica, coliformes totais e termotolerantes, oxigênio dissolvido, DBO, pH, condutividade elétrica, alcalinidade total, dureza total, cálcio e magnésio;
- Comparar os resultados obtidos para cada parâmetro com a Resolução nº 357/05 do CONAMA;
- Determinar se a atividade da mineração de calcário gera influência na qualidade da água da área.

### 3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Em 1990 a população urbana já representava 76% dos habitantes do país, resultando em transformações de paisagens e de territórios, com edificações destinadas a usos diversos e a instalação de elementos de infraestrutura, e, conseqüentemente, consumo em grandes quantidades dos recursos minerais (POLETTTO, 2006). De acordo com o último censo realizado pelo IBGE em 2010, a população urbana do país era de 84,36%, de um total de 190 milhões de habitantes.

Segundo Mooney e Ehrlich (1997), pode-se considerar que a origem da preocupação com os recursos naturais iniciou com a publicação do livro *Homem e Natureza*, em 1864, pelo autor George Marsh's, onde ele afirma que os recursos naturais no mundo são infinitos. Portanto, a humanidade é sustentada e desenvolvida através da disponibilidade dos recursos naturais, e isso inclui os recursos minerais.

A história do Brasil, segundo Farias (2002), tem íntima relação com a busca e o aproveitamento dos seus recursos minerais, que sempre contribuíram com importantes insumos para a economia nacional, fazendo parte da ocupação territorial e da história nacional, tornando a mineração um dos setores básicos da economia do país.

As substâncias minerais ou fósseis encontradas na superfície ou no interior da litosfera podem ser agrupadas em metálicas, não metálicas e energéticas, sendo que seu aproveitamento está relacionado a fatores como disponibilidade de tecnologias adequadas, necessidades econômicas e decisões políticas (POLETTTO, 2006). Um exemplo seria o uso de minerais não metálicos na construção civil através da utilização de materiais como calcário, granito, gnaiss, basalto, areia, argila e cascalho.

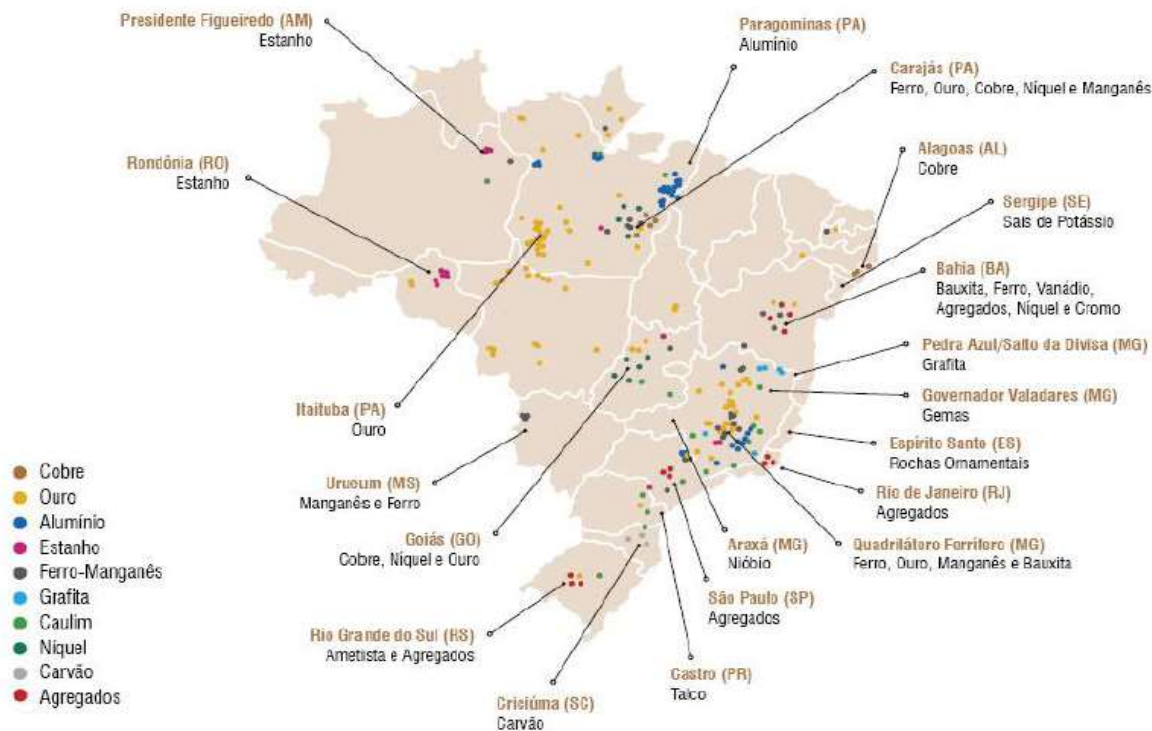
A mineração é caracterizada pela pesquisa e pela exploração dos recursos minerais de interesse presentes no solo ou no subsolo, sendo, para isso, necessários um complexo de atividades para a extração e para tratamento/beneficiamento do minério. O processo inicia-se na lavra, onde se reúnem as atividades para a extração do mineral. Durante o decapeamento da mina, são obtidos os resíduos denominados estéreis e, na abertura da cava, é extraído o material de interesse, os quais, respectivamente, seguem para pilha de estéril e para tratamento/beneficiamento. Com a retirada do material de interesse, a profundidade da cava aumenta e o seu formato é alterado. (GONÇALVES, 2013).

Detentor de território com extensão continental e de notável diversidade geológica propícia à existência de jazidas de vários minerais, nosso país, conquistou posição de destaque



no cenário global, segundo o IBRAM (2015), atingindo no ano de 2014 o valor de US\$ 40 bilhões, o que representou cerca de 5% do PIB Industrial do país. A Figura 1 mostra os principais depósitos minerais no Brasil.

FIGURA 1 – Principais depósitos minerais no Brasil.



Fonte: IBRAM, 2015.

O IBRAM ainda divulgou, com base em dados da DNPM, que o número de empresas mineradoras no país em 2013 era de 8.870, sendo que 2.065 companhias estavam localizadas na região sul do país.

### 3.1 Carbonato de cálcio

O carbonato de cálcio é um mineral de ocorrência natural, que está presente em todo o planeta e, frequentemente, em alta pureza, o que facilita seu processo de extração (DALLAROSA, 2011). Segundo o mesmo autor este mineral é formado através da composição óssea de animais depositados no solo e no fundo dos oceanos e rios, ao longo de milhares de anos, sob pressão atmosférica constante.

O principal constituinte mineralógico do calcário é a calcita (carbonato de cálcio –  $\text{CaCO}_3$ ), podendo conter menores quantidades de carbonato de magnésio, sílica, argila e outros (MME, 2009).

Este mineral também pode ser chamado por pedra de cal, mármore e giz, e possui larga escala de aplicabilidade em diversas áreas industriais: cimento, papel, materiais refratários, plásticos, borracha, tintas, adesivos, inseticidas, pesticidas, produtos alimentícios e farmacêuticos, catalisadores, absorventes, dentítrícios, clarificantes, fertilizantes, gesso, auxiliares de filtração, cosméticos, produtos químicos, detergentes e abrasivos, além de cargas de enchimento para diversas finalidades (DALLAROSA, 2011).

O material calcítico é um mineral com características especiais, pois é inerte dentro de uma vasta faixa de pH, além de possuir cor branca (DALLAROSA, 2011).

Conforme sua origem, os calcários podem ser classificados em metamórficos, onde encontramos minerais como dolomita, silicatos de cálcio, grafite e mica, ou sedimentares, onde é comum a presença de minerais como dolomita, quartzo, micas e argilominerais (HOLANDA et. al, 1987 apud SILVA, 2008).

### **3.2 Mineração de calcário no Brasil**

No Brasil, segundo Neri (2007), a distribuição geográfica das reservas de calcário é bastante irregular, com grandes extensões na região central e litorânea e pequenos afloramentos nas regiões do extremo sul e norte no país.

Segundo o MME (2009), a produção de calcário bruto e beneficiado se dá em quase todos os estados brasileiros, sendo que a maior parte da produção se dá na forma de calcário beneficiado (82%). Na visão mundial, as rochas carbonatadas mais comercializadas são o calcário e o dolomito, porém o calcário é o que apresenta maior valor econômico.

A cal virgem também é um produto derivado de rochas calcárias e dolomíticas, e a cal hidratada é formada pela adição de água à cal virgem formando, principalmente, o hidróxido de cálcio (DNPM, 2016).

O Sumário Mineral de 2015 traz informações da Associação Brasileira dos Produtores de Cal (ABPC), entidade que congrega 64% dos produtores de cal no país, as quais apontam uma produção de 8,1 milhões de toneladas de cal no Brasil em 2014. No que se refere a

estrutura de produção do mesmo ano, a cal virgem correspondeu a 76% e cal hidratada a 24%, da produção nacional (DNMP, 2016).

Um fator relevante ocorreu em 10 de dezembro de 2013, quando a Lei Federal nº 12.890/2013 foi sancionada, a qual inclui os remineralizadores<sup>1</sup> na lista de insumos destinados à agricultura no Brasil. Com esta medida, os produtores de rocha britada vieram a expandir a comercialização dos subprodutos de suas pedreiras.

A produção nacional de calcário agrícola em 2014 foi de 34.038.000 toneladas, com um crescimento de 2,74% comparado ao ano anterior, e entre os principais estados produtores o Rio Grande do Sul ficou em 6º lugar, com uma participação de 8,4% (DNPM, 2015).

Com relação ao consumo nacional, o DNPM (2015) alerta que o consumo de calcário agrícola não acompanha a evolução do consumo de fertilizantes, os quais somente são plenamente potencializados quando o solo recebe calagem adequada, o que não ocorre na agricultura brasileira, pois segundo a Associação Brasileira de Produtores de Calcário Agrícola - ABRACAL, para uma correção ideal do solo, o Brasil deveria produzir de 70 a 80 milhões de toneladas de calcário por ano.

Algumas iniciativas voltadas ao meio ambiente são desenvolvidas pela ABPC, como por exemplo, o Programa Selo ABPC de Responsabilidade Socioambiental, cujo objetivo é identificar as empresas nacionais produtora de cal comprovando seu alinhamento com os princípios e práticas da sustentabilidade.

A produção de cimento também tem como um de seus principais insumos os calcários. Segundo a DNPM (2015), o Brasil é o maior produtor da América Latina, com 71 Mt, o que corresponde a 1,7% da produção mundial, e a região Sul do país foi responsável pela produção de 14,6% da produção nacional em 2014.

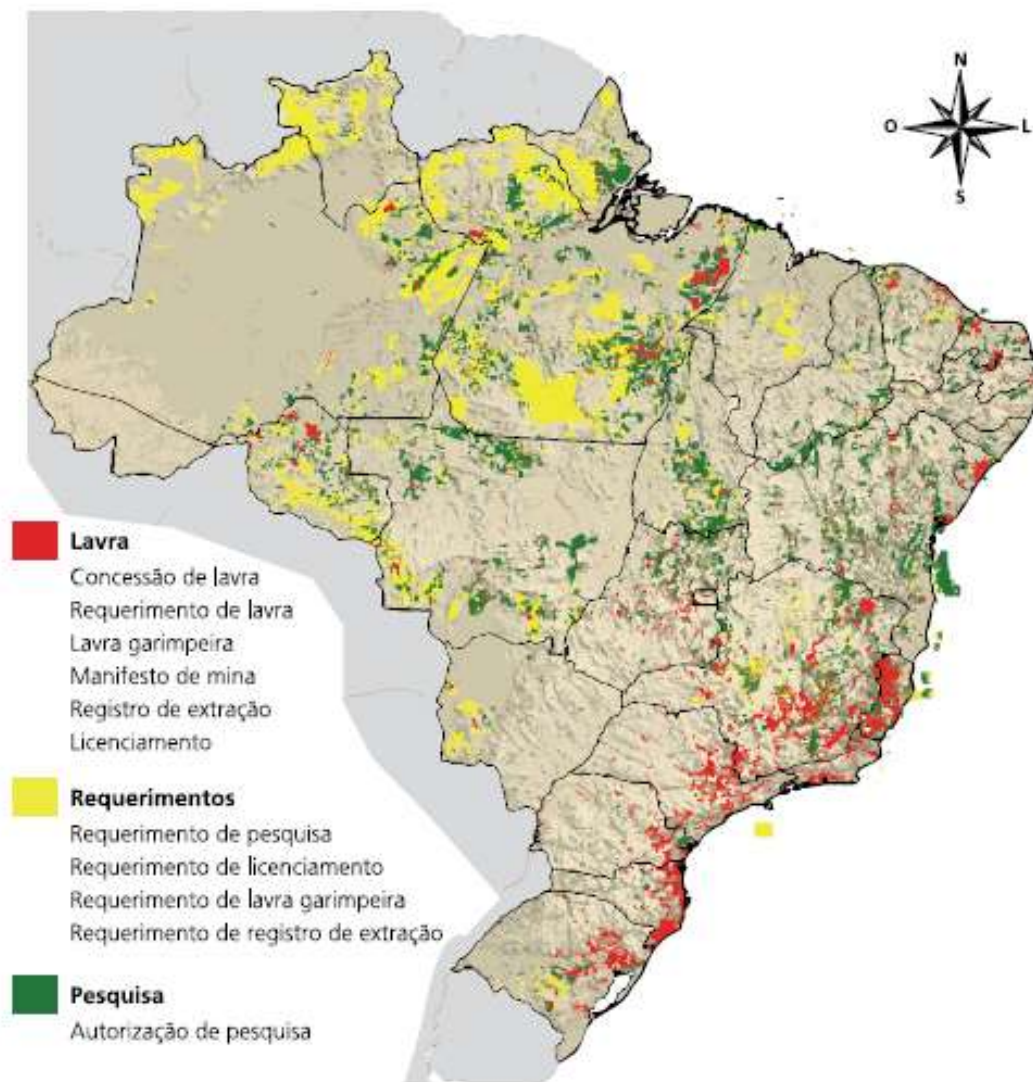
Um projeto, voltado ao meio ambiente, relevante nessa área é do Conselho Mundial de Desenvolvimento Sustentável, com iniciativa do Cimento Sustentável e da Agência Internacional de Energia, onde lançaram o “Mapeamento Tecnológico do Cimento – Brasil”, o qual visa mapear atuais e potenciais tecnologias que contribuam para a redução do consumo de energia e das emissões de gases de efeito estufa pela indústria do cimento, atendendo a viabilidade econômica e às políticas públicas relacionadas ao tema.

A Figura 2 apresenta a distribuição geográfica das áreas de mineração outorgadas pelo DNMP.

---

<sup>1</sup> Remineralizador é definido como “material de origem mineral que tenha sofrido apenas redução e classificação de tamanho por processos mecânicos e que altere os índices de fertilidade do solo por meio de adição de macro e micronutrientes para as plantas, bem como promova a melhoria das propriedades físicas ou físico-químicas ou da atividade biológica do solo” (BRASIL, 2013).

FIGURA 2 - Distribuição geográfica das áreas de mineração outorgadas pelo DNPM.



Fonte: DNPM, 2009, apud MME, 2011.

## 1.2 Mineração de calcário no Rio Grande do Sul

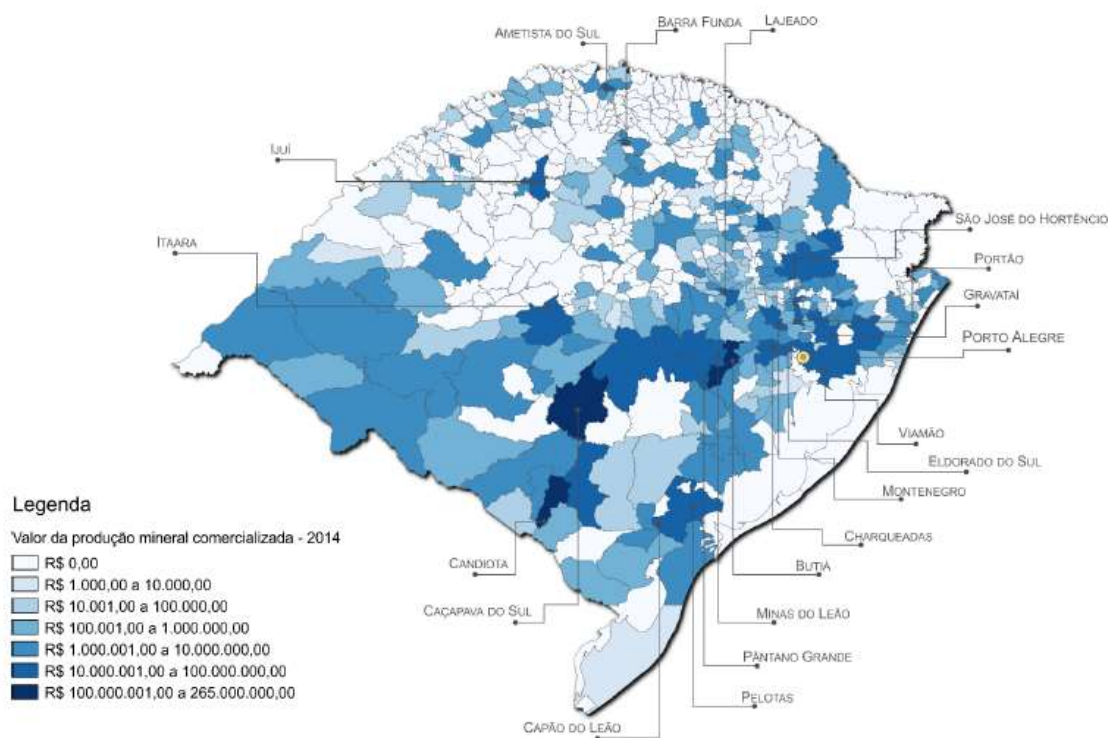
O DNMP traz no Anuário Mineral Estadual do Rio Grande do Sul (2016), tendo o ano de 2014 como base, traz que o município de Caçapava do Sul, foi o que registrou a maior quantidade comercializada de calcário do Estado, totalizando 3.620.890,14 toneladas.

Segundo Rangel et al. (2015), no estado do Rio Grande do Sul a mineração de calcário é encontrada principalmente na região de Caçapava do Sul, sendo o município responsável pela produção de mais de 85% do estado, com mais de 200 milhões de toneladas de calcário

dolomítico no subsolo, com características que o colocam entre os de melhor qualidade do estado.

A Figura 3 mostra o cartograma da produção mineral comercializada por município em 2014, onde estão indicados os vinte municípios que registraram os maiores valores de comercialização. Percebe-se que o município de Caçapava do Sul registrou um dos maiores valores de produção mineral de comercialização, entre R\$ 100.000.001,00 e 265.000.000,00.

FIGURA 3 – Cartograma do valor da produção mineral comercializada por município no RS em 2014.



Fonte: DNPM, 2016.

### 3.2 Aspectos tecnológicos da produção

A extração do calcário pode ocorrer sob três tipos de localizações: subterrânea em relevo plano e em encosta de vales e de morros. Segundo Neri (2007), a mina subterrânea em superfície plana geralmente tem um baixo impacto ambiental, evitando a destruição de dolinas e passagens de cavernas próximas à superfície, porém minas em encostas de montanhas e encostas de vales são favorecidas devido à facilidade e baixo custo de exploração.

A maior parte das minas de calcário, comumente chamadas de pedreiras, são lavradas a céu aberto, principalmente pela redução nos custos (SAMPAIO e ALMEIDA, 2005). Segundo o MME (2009), as principais etapas da lavra de calcário a céu aberto incluem:

- Remoção do capeamento;
- Perfuração;
- Desmonte por explosivos; e
- Transporte até a usina de processamento.

Para Sampaio e Almeida (2005) a remoção do capeamento é o elemento-chave no custo da lavra a céu aberto.

A escala de produção é responsável pela viabilidade econômica de várias minas, especialmente tendo em vista os produtos serem de valor agregado relativamente baixo, e a seleção dos equipamentos variam com a particularidade de cada operação, capacidade de operação e produção, tamanho e forma do depósito, distância do transporte, estimativa da vida útil da mina, localização em relação aos centros urbanos e fatores socioeconômicos, valores dos produtos, condições ambientais e de segurança associada as jazidas (MME, 2009; SAMPAIO e ALMEIDA, 2005).

Os depósitos de calcário podem ocorrer em grandes extensões e apresentar espessura de centenas de metros, com operação de minas de grande porte e longa vida útil. Além disso, muitas minas produzem diversos produtos, e o minério produzido que não atende às especificações para certos usos, ainda pode ser aproveitado para outros fins, como por exemplo, utilização dos agregados para a construção civil (MME, 2009).

O tratamento das rochas carbonatadas a ser utilizado vai depender do uso e especificações do produto final, por exemplo, a lavra seletiva, a catação manual, a britagem em estágio unitário e o peneiramento são os métodos usuais para obtenção de produtos, cuja utilização final não requer rígidos controle de especificações, como o calcário agrícola (MME, 2009; SAMPAIO e ALMEIDA, 2005).

O processo de industrialização da  $\text{CaCO}_3$  – GCC (carbonato de cálcio natural), consiste, basicamente, em retirar o mármore do solo, geralmente em blocos, para então ser britado em 500 mm de diâmetro e, posteriormente, passar pelo processo de lavagem para retirar a terra e pigmentos (DALLAROSA, 2011). Em seguida a pedra passa por outra britagem que produz uma granometria de 300 mm e, então, é encaminhada para a britagem final onde adquire um diâmetro médio de 50 mm, ideal para alimentar os moinhos de rolos.

Na faixa ultrafina a moagem geralmente é realizada em moinhos de rolos, porém há a necessidade de vários estágios de classificação para obter a granulometria desejada (DALLAROSA, 2011). O método de moagem a úmido, com moinhos de bolas, é mais eficiente para obter granulometrias mais finas, contudo é um método mais complexo e tem a vantagem de ser empregado numa variedade de matérias-primas (DALLAROSA, 2011).

Os mercados de papel, tinta, plásticos e borracha têm exigido produtos cada vez mais finos, levando os grandes produtores de GCC a investirem em novos processos de moagem e classificação (MME, 2009).

Após o material ter sido moído e classificado, ele é transferido através de moto bombas aos tanques de armazenagem, com agitação constante para que não ocorra sedimentação de material (DALLAROSA, 2011).

### **1.3 Principais usos do calcário**

#### **1.3.1 Uso do calcário na indústria do cimento**

O cimento é feito a partir de uma mistura de calcário com argilas, numa proporção 4:1 ou mais, que posteriormente é moída e calcinada em fornos rotativos horizontais que atingem temperaturas de até 1.450°C, originando um produto intermediário, denominado clínquer, ao qual são adicionadas pequenas quantidades de gipsita, calcário e outros materiais, dependendo da variedade do cimento a ser produzido (MME, 2009).

A produção de cimento representa a maior parte da demanda pelo calcário produzido no Brasil, visto que para cada tonelada de cimento produzido, são necessários 884 kg de calcário (MME, 2009; MME, 2015).

Dados do MME (2015) trazem quem o consumo aparente per capita do cimento chegou a 353 kg/hab. no ano de 2014, sendo que o sul do país registrou o segundo maior consumo per capita, ficando atrás da região centro-oeste do Brasil. No mesmo ano, o Brasil se colocou na 6ª posição do ranking mundial, com participação de 2% na produção.

### 1.3.2 Uso de calcário como cal virgem

Como já mencionado anteriormente, há dois tipos de cales: a cal virgem e a cal hidratada, sendo esta última obtida através da adição de água a partir da primeira. Os cales são constituídos, basicamente, de óxidos de cálcio ou de uma mistura destes com magnésio e podem ser apresentados sob a forma de pedras ou moídas e ensacadas (MME, 2015).

Teoricamente, para cada tonelada de cal virgem, são necessárias 1,7 a 1,8 toneladas de calcário a ser calcinado, porém, na prática as indústrias registram uma relação aproximadamente de 2,0 toneladas de calcário para cada tonelada de cal virgem produzida (MME, 2009; SAMPAIO e ALMEIDA, 2005).

Dados do MME (2015) trazem quem o consumo aparente per capita da cal chegou a 39,9 kg/hab. no ano de 2014, e que a participação do Brasil, na produção mundial foi de 2,3%, ocupando a 5ª posição no cenário internacional. Além disso, as regiões sul e sudeste do país responderam por 85% da produção de cal virgem e hidratada.

### 1.3.3 Uso de calcário na indústria de papel

Este setor consome cerca de 1,3 milhões de toneladas por ano de carbonato de cálcio natural (GCC) em todo o mundo, numa granulometria que varia desde 4 até 0,5  $\mu\text{m}$  (MME, 2009). Ainda assim, o carbonato de cálcio natural (PCC) é utilizado em maior escala como carga na produção de papel, levando as unidades produtoras de PCC se instalarem nas próprias fábricas de papel, eliminando a etapa de secagem do carbonato e utilizando o  $\text{CO}_2$  disponível na própria fábrica para produção do PCC (MME, 2009).

### 1.3.4 Uso do calcário na indústria de plásticos

Na indústria de plásticos, o GCC ou PCC são adicionados à composição dos plásticos para melhorar suas propriedades físicas e as características de processabilidade (MEE, 2009).



Sua adição na faixa de 15 a 30% em peso promove as propriedades físicas dos produtos e permite aumentar o rendimento, pois sua condutividade térmica está cinco vezes acima do polietileno ou polipropileno (SAMPAIO e ALMEIDA, 2005).

#### 1.3.5 Uso do calcário na indústria de tintas

A indústria de tintas exige uma granulometria muito fina do produto mineral, devido à necessidade de se formar leitos muito finos sobre a superfície pintada. Os carbonatos de cálcio são extensivamente utilizados em tintas de automóveis, atuando como espaçador e redutor da quantidade de  $TiO_2$  necessário à pintura e provedor das propriedades mecânicas dos vidros (SAMPAIO e ALMEIDA, 2005).

#### 1.3.6 Uso do calcário na agricultura

O calcário moído e seus produtos (cal virgem e hidratada, escória, etc) são aplicados no solo para corrigir a acidez e promover o crescimento das plantas, sendo que sua aplicação é recomendada alguns meses antes do plantio (SAMPAIO e ALMEIDA, 2005).

Além de auxiliar na correção do pH, segundo Sampaio e Almeida (2005), o calcário, principalmente o dolomítico, proporciona dois nutrientes importantes para os solos, o cálcio e o magnésio. Além disso, os autores colocam como recomendação que a taxa de aplicação usual de calcário no solo deve incluir-se na faixa de 0,2 a 0,9 kg/m<sup>2</sup> de solo.

#### 1.3.7 Uso de calcário na alimentação de animais

O calcário calcítico puro e moído é muito usado como fonte de cálcio no suplemento alimentar de animais e aves, por exemplo, no gado de corte que demanda de 1,1 a 1,2% em

peso de  $\text{CaCO}_3$  na composição alimentar, e para o frango de corte essa demanda cresce para 3%.

#### 1.3.8 Uso de calcário na indústria de vidros

A dolomita e/ou aragonita ocupam o terceiro lugar como insumo básico na fabricação de vidro, pois estes produtos podem ser usados como fonte de cal na composição soda-cal-sílica, dependendo o vidro a ser fabricado (SAMPAIO e ALMEIDA, 2005). De acordo com os mesmo autores a cal atua como material fundente sobre a areia de quartzo, aumentando a insolubilidade e a resistência, além de reduzir a fragilidade do vidro.

#### 1.3.9 Uso do calcário na indústria cerâmica

A aplicação do calcário, calcítico ou dolomítico, na composição das massas cerâmicas fornece ao produto final uma redução nas expansões térmica e por umidade (SAMPAIO e ALMEIDA, 2005).

#### 1.3.10 Uso de calcário na indústria metalúrgica

O óxido de cálcio reage prontamente com impurezas, como aquelas que contêm enxofre, reações estas, importantes nos processos pirometalúrgicos de altas temperaturas, de modo que o objetivo do seu uso é escorificar as impurezas da carga, e diminuir a temperatura de fusão da carga e a viscosidade da escória, facilitando o seu escoamento (SAMPAIO e ALMEIDA, 2005).

### 1.3.11 Uso de calcário no tratamento de água

No transporte da água para o abastecimento, é comum a formação de incrustações nas tubulações decorrentes da existência dos compostos que tornam a água dura, agindo com mais intensidade quando se trata de água quente.

Nestes casos, é necessária a remoção dos compostos que provocam a dureza da água e a cal hidratada  $\text{Ca(OH)}_2$  é um dos reagentes mais usados para remoção dos íons cálcio e magnésio da água, através de reações que precipitam os compostos de cálcio e magnésio, impedindo sua disponibilidade na água e sua deposição como incrustações (SAMPAIO e ALMEIDA, 2005).

## 1.4 Consumo da água no processo industrial da mineração

Na mineração e no beneficiamento do calcário não há uso significativo de água de processo, porém a preocupação se dá em relação a possível degradação desses recursos na região da área lavrada, por conta da grande movimentação de minério e estéril, podendo causar efeitos sobre a qualidade da água dos recursos hídricos próximos, através do processo de assoreamento ou pela presença de sólidos suspensos (MME, 2009).

Outro risco se refere aos aquíferos, comuns em áreas onde ocorrem depósitos de calcário, por estarem sujeitos à gradual dissolução pelas águas que se infiltram em suas camadas, provocando a abertura de fendas e caminhos para sua circulação, o que implica numa fácil contaminação do lençol freático e dos aquíferos (MME, 2009).

Segundo Dallarosa (2011), no processo industrial do GCC a água compõe de 25 a 32% de cada tonelada produzida, dependendo do tipo de produto fabricado, sendo que está presente desde a moagem primária, quando da adição de pó do  $\text{CaCO}_3$ , dispersante e da água industrial com agitação constante, micronização das partículas através dos moinhos úmidos até a expedição aos clientes pelos caminhões tanques.

Já para o processo industrial do PCC, o mesmo autor afirma que o consumo é muito maior, pois a água compõe de 77 a 83% de cada tonelada produzida dependendo do tipo de produto a ser fabricado.

Tanto para um processo quanto para o outro a água, além de compor parte dos produtos é a responsável pela fluidez dos mesmos por todo o sistema industrial (DALLAROSA, 2011).

Convém lembrar que a água utilizada nos processos industriais está sujeita a critérios de outorga, definidos pela ANA, criada através da Lei 9.984, de 17 de junho de 2000, pois a outorga é definida como um dos instrumentos estabelecidos na Política Nacional dos Recursos Hídricos (Lei 9.433, de 08 de janeiro de 1997) (MEE, 2009).

## **1.5 Mineração e os aspectos ambientais**

Segundo Araújo e Fernandes (2015), os quase 500 anos de mineração no território brasileiro, deixaram grandes passivos ambientais, envolvendo milhares de minas e garimpos, além de diversos tipos de conflitos socioambientais no território, envolvendo povos tradicionais, além de conflitos decorrentes da oposição de interesses e da visão divergente sobre o que é desenvolvimento.

No contexto de desenvolvimento global, a mineração possui, entre as atividades diretamente relacionadas ao aproveitamento dos recursos naturais, um dos maiores potenciais de contribuição para a dinamização de economias locais, haja vista a importância econômica e social dos produtos minerais (NERI, 2007).

Também é considerada um dos setores básicos da economia do país, contribuindo de forma decisiva para o bem estar e a melhoria da qualidade de vida das presentes e futuras gerações, sendo fundamental para o desenvolvimento de uma sociedade equânime, desde que seja operada com responsabilidade social, estando sempre presentes os preceitos do desenvolvimento sustentável (FARIAS, 2002).

Do ponto de vista social, existe uma preocupação muito grande da sociedade em relação à questão ambiental devido à característica predatória dessa atividade econômica, pois os minerais são recursos não renováveis, criando uma grande dificuldade das empresas em harmonizar a atividade de mineração com o controle ambiental (BEZERRA, 2015).

A mesma autora relata que grande parte dos impactos ambientais causados pela mineração do calcário se assemelha aos da mineração de outras substâncias minerais, em particular as não metálicas.

Segundo Farias (2002), os principais problemas oriundos da mineração no Brasil podem ser englobados em quatro categorias: poluição da água, do ar, sonora e de subsidência do terreno. Para Neri (2007), os impactos ambientais estão relacionados ao impacto visual e a alteração da qualidade das águas superficiais e subterrâneas.

Além dos impactos na qualidade das águas superficiais e subterrâneas próximas a área de mineração, deve-se levar em consideração o consumo energético, a emissão de CO<sub>2</sub> e a geração de resíduos minerais.

O consumo energético nas minas surge dos equipamentos que são movidos por motores a diesel, já nas usinas de beneficiamento os equipamentos são movidos por motores elétricos, portanto a demanda por energia é maior na área de mineração (MME, 2009). Para isso, têm-se alguns avanços em relação à eficiência energética através de eventuais trocas de equipamentos ou dos motores dos equipamentos existentes por versões mais eficientes.

Com relação às emissões na mineração, elas são principalmente devidas ao funcionamento de equipamentos de extração e movimentação do minério, movido a óleo diesel.

Na mineração existem dois tipos principais de resíduos gerados: os estéreis e os rejeitos. O primeiro são os materiais escavados, gerados pelas atividades de extração no decapeamento da mina, sem valor econômico e destino final definido, pois geralmente ficam dispostos em pilhas; já os rejeitos são resultantes dos processos de beneficiamento à que são submetidas as substâncias minerais (IPEA, 2012).

Dados do IPEA (2012) mostram que a quantidade de rejeitos gerados pela mineração do calcário em 2005 foi de 9.058.000 toneladas e a quantidade projetada para o ano de 2017 seria de 14.953.000 toneladas.

Atualmente há inúmeras iniciativas de aproveitamento de rejeitos da mineração, como finos de pedreiras e outros, que devem se multiplicar tanto por razões econômicas quanto por razões ambientais (MME, 2009). Entretanto, por ser um produto com valor relativamente baixo, a lavra de calcário não ocorre com elevados índices de remoção ou produção de estéril e não há um valor específico da razão estéril/minério que venha a surgir como regra na empresa ou que inviabilize a lavra (MME, 2009).

As principais fontes de degradação nas atividades de mineração são a disposição inadequada de rejeitos decorrentes do processo de beneficiamento e a disposição de materiais do estéril, ou inerte, não aproveitável, proveniente do decapeamento superficial da lavra (IPEA, 2012).

Ainda segundo IPEA (2012), no caso de estéril, o sistema de disposição deve funcionar como uma estrutura projetada e implantada para acumular materiais, em caráter temporário ou definitivo, dispostos de modo planejado e controlado em condições de estabilidade geotécnica e protegidos de ações erosivas.

#### 1.5.1 Recursos hídricos e mineração

Segundo Mendonça (2012) é notório que os empreendimentos minerários destacam-se, dentre todos os outros setores, pela sua íntima interação com os recursos hídricos superficiais e subterrâneos. As relações das atividades de lavra com a hidrosfera iniciam-se na fase de desenvolvimento da mina e permanecem até seu fechamento, justificando a frequência com que os parâmetros de qualidade da água são monitorados, até mesmo após o encerramento das atividades da mineração (ANA, 2006; MENDONÇA, 2012).

A interferência da lavra nos recursos hídricos inicia-se a partir da abertura do empreendimento, quando, devido às alterações morfológicas ocorridas no terreno, a drenagem superficial pode ser modificada. Durante a lavra, a água a ser utilizada origina-se da captação de cursos de água superficiais, de reservatórios de barragens ou da captação subterrânea. Na maioria dos casos, a demanda por água, nesta fase do empreendimento, é bem menor que a demanda voltada para o beneficiamento do minério. (ANA, 2006).

Conforme observado anteriormente, o processo de carstificação consiste na dissolução de rochas pelas águas subterrâneas e superficiais com conseqüente formação de relevo cárstico originando formações geomorfológicas como cavernas, dolinas, paredões, torres de pedra, lapiás, uvalas, arco ou ponte de pedra, etc (NERI, 2007).

Segundo o mesmo autor, alterações em processos cársticos em decorrência de alterações nas propriedades físico-químicas das águas subterrâneas podem ocorrer principalmente por aceleração do processo de dissolução por aumento da acidez da água em decorrência de drenagem ácida da mina mal executada, ou por infiltração de águas provenientes de montante da mina e que, eventualmente, estejam contaminadas.

Drenagens ácidas de minas em aquíferos podem afetar seriamente a qualidade da água por alteração química, em especial o potencial hidrogeniônico (pH). Como nesse ambiente de mineração o processo de dissolução é intensificado pode ocorrer conseqüências como:

redução de vazões em corpos d'água superficiais e subsidência e desenvolvimento de dolinas (NERI, 2007).

Conforme Mendonça (2012), durante o processo de extração e beneficiamento, águas proveniente da chuva, córregos e aquíferos, assim como as provenientes das operações e setores da mina, são potencialmente passíveis de sofrerem alterações e causarem impactos nos ecossistemas, já que na etapa de extração, por exemplo, os efluentes têm sua origem e composição relacionadas ao escoamento superficial das águas pluviais que entram em contato com o material rochoso e mobilizam os produtos da oxidação, redução e dissolução dos minerais, incluindo ácidos, bases e metais; aos óleos e graxas que escorrem do maquinário e, também, ao esgotamento sanitário das instalações de pessoal.

Para o mesmo autor, outros efeitos indesejáveis nas águas superficiais, são aqueles relacionados aos fenômenos de erosão e transporte, pois quando ocorre a remoção da cobertura vegetal as encostas e os solos ficam mais expostos, desagregando o material deixando-o disponível para ser levado pelo escoamento superficial. Essa informação é ratificada pela ANA (2006) a qual diz que a mineração a céu aberto oferece um caminho direto à entrada das águas de chuva e escoamento superficial na cava criada pela lavra, mas também das águas subterrâneas atingidas.

Nas circunstâncias em que se desenvolvem as atividades de mineração, sob o nível freático com incidência também das águas superficiais, em maior ou menor intensidade, produzem-se efeitos hidrológicos, ambientais e econômicos que impõem a gestão e o manejo adequado dessas águas (ANA, 2006).

Em princípio, toda jazida mineral sob o nível piezométrico, para ser lavrada com os métodos habituais, deve ter sua cava drenada e finalmente inundada quando cessar a exploração, por isso, o método de lavra a ser utilizado é determinante nas afluições de águas e nos processos de alteração hídrica, em quantidade e qualidade, sendo que entre os métodos mais usuais estão a mineração a céu aberto e a subterrânea, em todas as suas variações (ANA, 2006).

Outros problemas hidrológicos nas atividades de mineração podem decorrer das pilhas de minério e de estéril, das barragens de decantação de finos e de rejeitos, assim como dos efluentes líquidos da mina ou das usinas de beneficiamento do minério (ANA, 2006).

As operações de mineração requerem a extração de material estéril não mineralizado ou de baixo teor, e, como já mencionado, geram rejeitos de seu processo de beneficiamento em volumes mais ou menos importantes, os quais são acumulados em pilhas de estéril e

barragens ou pilhas de rejeito, podendo ainda ser utilizados como enchimento das cavidades da mina. (ANA, 2006).

Todos esses resíduos sólidos e as próprias pilhas de minério, se não forem inertes, serão transformados em fontes potenciais de contaminação hídrica, com a peculiaridade de que seu efeito pode perdurar por longo tempo, depois de finalizadas as atividades da mina, consequência que enfatiza a importância em reduzir ao máximo o acesso e a infiltração de águas (de chuva ou de escoamento superficial) (ANA, 2006).

Segundo ANA (2006) o sucesso de uma operação em mineração depende, em grande parte, da resolução adequada de suas interações com a água, caso contrário seria uma atitude suicida. Por esse motivo é que as empresas de mineração mais conscientes planejam, desde a fase de pesquisa até a de pós-fechamento, em abordar, com ferramentas apropriadas os problemas que a água pode ocasionar, desenhando e implementando as medidas preventivas e corretivas mais adequadas (ANA, 2006).

A preocupação com a qualidade ambiental em bacias hidrográficas associadas às atividades de exploração mineral é atual e relevante, sendo que a melhor forma de assegurar os usos múltiplos desse recurso é através de programas de monitoramento da qualidade das águas e dos sedimentos em bacias hidrográficas, os quais servem como subsídios para o planejamento das ações de manutenção da saúde dos mananciais e das populações que deles se utilizam (MENDONÇA, 2012).

Quando a qualidade da água da mina é afetada, deve ser tratada de maneira eficaz para minimizar o efeito contaminante, mas, antes de se chegar a essa circunstância, o mais importante é evitar ou reduzir a contaminação, o que indica que as atividades de mineração estão estreitamente relacionadas com os métodos de lavra, o aporte de águas (superficiais e subterrâneas) e o tratamento destas (ANA, 2006).

Com um adequado planejamento, pode-se evitar ou, pelo menos, minimizar a contaminação, e caso esta se produza, pode-se aplicar um tratamento corretivo. Na prevenção, deve-se ressaltar que um aspecto importante a se ter sempre em conta é a maior redução possível da entrada de águas (superficiais ou subterrâneas) na área de lavra (ANA, 2006).



## 1.5.2 Parâmetros analíticos de avaliação de qualidade da água

A água, além de ser formada pelos elementos hidrogênio e oxigênio na proporção dois pra um, ela também pode dissolver uma ampla variedade de substâncias, as quais a conferem características peculiares. Alguns organismos presentes na água, naturalmente ou não, também provocam alterações físicas e químicas na água, enquanto outros podem sofrer os efeitos destas mesmas alterações.

Para caracterizar uma água são determinados diversos parâmetros, conhecidos como indicadores de qualidade da água, podendo vir a apresentar valores conformes ou não conformes estabelecidos para determinado uso.

A qualidade requerida está bem definida nas concentrações máximas permitidas para determinadas substâncias, conforme especificado na Resolução do CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005, que 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. Dentre alguns parâmetros dispostos na Resolução, podemos citar: coliformes termotolerantes, O.D., turbidez, cor verdadeira, pH, ferro dissolvido e D.B.O.

Além destes, existem outros parâmetros, que não são indicados na Resolução, mas que também podem ser utilizados como indicadores de qualidade da água, como: condutividade elétrica, alcalinidade total, dureza total, cálcio e magnésio.

Os parâmetros indicativos da qualidade da água são classificados em físicos, químicos e biológicos.

### 1.5.2.1 Parâmetros físicos

Os parâmetros físicos fornecem indicações preliminares importantes para a caracterização da qualidade química da água como, por exemplo, os níveis de sólidos em suspensão (associados à turbidez) e as concentrações de sólidos dissolvidos (associados à cor), os sólidos orgânicos (voláteis) e os sólidos minerais (fixos), os compostos que produzem odor.

i. Turbidez

A turbidez é um parâmetro caracterizado pela presença de partículas suspensas na água com tamanho variando desde suspensões grosseiras aos coloides, de acordo com a intensidade de turbulência da água (RICHTER e NETTO, 2007).

Ela demonstra também o grau de interferência com a passagem de luz através da água, atribuindo uma aparência turva à mesma, por diminuir a penetração de luz, prejudica a fotossíntese em corpos d'água (SPERLING, 2005). Além disso, podem provocar odor e sabor a água, uma vez que transportam matéria orgânica absorvida (CAPANEMA, 2015).

Para Sperling (2005) turbidez natural de um curso d'água, é constituída por partículas de rochas, de silte e argila, de algas e de outros microrganismos ou de origem antrópica como efluentes domésticos, industriais e até mesmo pela erosão. Em relação à sua origem o mesmo autor afirma que quando se trata de origem natural não demonstra inconvenientes sanitários, exceto esteticamente, já a sua origem antrópica pode estar relacionada à presença de compostos tóxicos e organismos patogênicos.

ii. Cor verdadeira

Segundo Kawota, Ribeiro e Telles (200-), a cor da água, normalmente, decorre da presença de ácidos húmicos e tanino, originados da decomposição orgânica, mas também pode ser devido a presença de íons metálicos dissolvidos, plâncton, macrófitas e despejos industriais. Hoje, sabe-se da importância deste parâmetro, principalmente, se a desinfecção da água para consumo humano for feita com cloro livre, pois a reação deste último com a matéria orgânica pode levar a formação de trihalometanos (THM), produto considerado potencialmente cancerígeno (SPERLING, 2005).

O material em suspensão, geralmente presente nas águas superficiais, gera a cor aparente, resultado, em parte, da reflexão e dispersão da luz nas partículas em suspensão; após a remoção desse material em suspensão por processo de centrifugação ou filtração, tem-se a cor verdadeira, resultante da presença de partículas coloidais carregadas negativamente e material dissolvido (KAWOTA, RIBEIRO & TELLES, 200-).

iii. Condutividade elétrica

A condutividade elétrica é determinada pela presença de substâncias dissolvidas que se dissociam em íons pela temperatura e representa a capacidade da água transmitir corrente elétrica. Ela fornece uma indicação da salinidade de uma solução ou, de forma aproximada,

do grau de mineralização das águas e de sua capacidade em conduzir corrente elétrica. Em águas naturais, pode-se esperar uma relação direta entre a condutividade e a concentração de sólidos dissolvidos totais (FRITZSONS et al., 2009).

#### 1.5.2.2 Parâmetros químicos

##### i. pH

O pH representa a concentração de íons  $H^+$  promovendo uma condição de acidez, neutralidade ou alcalinidade na água. A faixa de pH é de 0 a 14. O constituinte responsável pelo pH ocorre na forma de sólidos dissolvidos e de gases dissolvidos (SPERLING, 2005).

As águas dos rios apresentam uma solução de dióxido de carbono, ácido carbônico, íons bicarbonatos, carbonatos e, dessa forma, constituem um sistema que resiste às mudanças de pH. Os valores mais elevados de pH são encontrados, geralmente, em regiões nas quais o balanço hídrico é negativo, onde os corpos de água são influenciados pela água do mar, que recebem contribuições significativas de carbonatos e bicarbonatos, e em regiões cársticas (FRITZSONS et al., 2009).

##### ii. Alcalinidade

A alcalinidade se refere a quantidade de íons na água que reagirão para neutralizar os íons hidrogênio, onde seus principais constituintes são os bicarbonatos, os carbonatos e os hidróxidos (SPERLING, 2005).

Águas alcalinas e com concentração elevada de cálcio e magnésio podem formar crostas internas nas canalizações de distribuição de água, especialmente quando essas águas são aquecidas (FRITZSONS et al., 2009).

##### iii. Dureza

A dureza abrange a concentração de cátions multimetálicos em solução, mais especificamente os cátions bivalentes  $Ca^{2+}$  e  $Mg^{2+}$ , que em condições de supersaturação reagem com ânions na água formando precipitados (SPERLING, 2005). De acordo com o mesmo autor, a dureza correspondente à alcalinidade é a dureza carbonato, enquanto que as demais formas são caracterizadas como dureza não carbonato.

iv. Oxigênio Dissolvido (OD)

Segundo Ritchter e Netto (2007) a determinação do teor de oxigênio dissolvido é um dos ensaios mais importantes no controle de qualidade da água. A concentração de Oxigênio Dissolvido (OD) na água pode oscilar muito e o seu equilíbrio é dependente da pressão atmosférica e da temperatura.

Quando há baixa concentração de oxigênio dissolvido num determinado corpo hídrico é sinal de que esta ocorrendo um processo de oxidação de substâncias que estão sendo ou foram lançadas nele, ou seja, águas poluídas possuem tendência a ter as concentrações de OD menores. O processo inverso acontece no caso de se tratar de águas limpas, pois as concentrações de OD elevadas, atingindo níveis pouco abaixo da concentração de saturação, ou seja, com grande disponibilidade de oxigênio na água (FUZINATTO, 2009).

v. Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO)

Para Sperling (2005) DBO é a quantidade de oxigênio necessária para estabilizar (oxidar) a matéria orgânica, através de processos bioquímicos de decomposição.

A DBO é o parâmetro fundamental para o controle da poluição das águas por matéria orgânica. Nas águas naturais a DBO representa a demanda potencial de O<sub>2</sub> dissolvido que poderá ocorrer devido à estabilização dos compostos orgânicos biodegradáveis, o que poderá trazer os níveis de oxigênio nas águas abaixo dos exigidos pelos peixes e demais organismos que necessitam de oxigênio para sobreviver, levando-os à morte (SPERLING, 2005).

vi. Matéria Orgânica

Sperling (2005) diz que a matéria orgânica é a causadora principal do problema de poluição das águas, que é o consumo de oxigênio dissolvido pelos microrganismos nos seus processos metabólicos de utilização e estabilização da matéria orgânica. De acordo com o autor os principais componentes orgânicos são os compostos de proteína, os carboidratos, a gordura e os óleos, além da ureia, surfactantes, fenóis, pesticidas e outros em menor quantidade.

vii. Ferro

O Ferro origina-se da dissolução de compostos de rochas e solos e, por ser um dos elementos mais abundantes, é comumente encontrado nas águas naturais, superficiais e

subterrâneas, apresentando-se nas formas insolúvel ( $\text{Fe}^{3+}$ ) e dissolvida ( $\text{Fe}^{2+}$ ) (LIBÂNIO, 2005).

Segundo o mesmo autor o ferro não apresenta inconveniente sanitário, mas de caráter econômico, pois pode produzir manchas em roupas e aparelhos sanitários em concentrações superiores a 0,3 mg/L e em maiores concentrações pode conferir sabor a água de consumo.

### 1.5.2.3 Parâmetros biológicos

#### i. Coliformes totais

Os organismos mais comumente utilizados para saber se há contaminação fecal no corpo d'água são as bactérias do grupo coliforme, pois habitam normalmente o trato intestinal dos animais de sangue quente, servindo, portanto, como indicadores da contaminação de uma amostra de água por fezes (Sperling, 2005). De acordo com o mesmo autor, elas se apresentam em grande quantidade nas fezes humanas, onde cada indivíduo elimina em média de  $10^9$  a  $10^{12}$  células por dia, podendo atingir de 1/3 a 1/5 do peso das fezes humanas, o que leva a uma maior probabilidade de detecção destas bactérias após lançamento do esgoto em curso de água.

Os coliformes totais constituem um grupo amplo de bactérias aeróbias ou anaeróbias capazes de fermentar a lactose de 24 a 48 horas à temperatura de 35 a 37 °C. Porém, segundo Sperling (2005), eles não devem ser utilizados como indicadores de contaminação fecal em águas superficiais dada a sua possível incidência em solos e águas não contaminados.

#### ii. Coliformes termotolerantes

Os coliformes termotolerantes são as bactérias do grupo coliformes capazes de fermentar a lactose em temperatura elevada de, aproximadamente 44,5°C, por um período de 24 horas, e engloba, predominantemente o gênero *Escherichia coli* e, em menor monta, *Citrobacter*, *Klebsiella* e *Enterobacter* (SPERLING, 2005). Posto isso, entende-se o motivo pelo qual o gênero *Escherichia coli* é o mais utilizado nas análises microbiológicas.

## **1.6 Leis ambientais pertinentes à mineração**

No Brasil, a atividade de mineração é regulada pelo Decreto Lei nº 227, de 28/02/1967 e suas atualizações, mais conhecido como Código de Mineração. Mas, a mineração, de um modo geral, está submetida a um conjunto de regulamentações, onde os três níveis de poder estatal possuem atribuições com relação a mineração e o meio ambiente.

Em instância máxima, a nível federal, os órgãos que tem a responsabilidade de definir as diretrizes, os objetivos e as regulamentações, bem como atuar na concessão, na fiscalização e no cumprimento da legislação mineral e ambiental para o aproveitamento dos recursos minerais são os seguintes: MMA, MME, Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral, DNPM, Serviço Geológico do Brasil – CPRM, ANA, Conama, CNRH e Ibama.

Apesar da ampla gama de legislações, portarias, normas, resoluções, voltadas para a atividade de mineração, Vieira (2011) verificou a falta de política pública nacional em que esses recursos naturais se constituam numa base para o desenvolvimento social, ambiental e econômico, tornando-se imprescindível a revisão da política pública da indústria mineradora, e sua submissão a um amplo debate na sociedade a fim de compatibilizar os interesses de um desenvolvimento sustentável.

## **1.7 Resolução CONAMA nº 357/2005**

A Resolução CONAMA nº 357 de 2005 (BRASIL, 2005), “dispõe sobre a classificação dos corpos de água e as diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e os padrões de lançamento de efluentes”. Além disso, estabeleceu a Classificação das águas (doces, salinas e salobras) e, para cada uma delas, foram estabelecidos limites e/ou condições em função de sua destinação final ou segundo seus usos preponderantes.

Conforme a resolução, o enquadramento consiste “no estabelecimento de uma meta ou objetivo de qualidade da água (Classe) a ser alcançado ou mantido em um curso d’água, considerando os usos ao longo do tempo”.

O Artigo 4º da Resolução classifica as águas doces em:

I - classe especial: águas destinadas:

- a) ao abastecimento para consumo humano, com desinfecção;
- b) a preservação do equilíbrio natural das comunidades aquáticas; e,
- c) a preservação dos ambientes aquáticos em unidades de conservação de proteção integral.

II - classe 1: águas que podem ser destinadas:

- a) ao abastecimento para consumo humano, após tratamento simplificado;
- b) a proteção das comunidades aquáticas;
- c) a recreação de contato primário, tais como natação, esqui aquático e mergulho, conforme Resolução CONAMA nº 274, de 2000;
- d) a irrigação de hortaliças que são consumidas cruas e de frutas que se desenvolvam rentes ao solo e que sejam ingeridas cruas sem remoção de película; e
- e) a proteção das comunidades aquáticas em Terras Indígenas.

III - classe 2: águas que podem ser destinadas:

- a) ao abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional;
- b) a proteção das comunidades aquáticas;
- c) a recreação de contato primário, tais como natação, esqui aquático e mergulho, conforme Resolução CONAMA nº 274, de 2000;
- d) a irrigação de hortaliças, plantas frutíferas e de parques, jardins, campos de esporte e lazer, com os quais o público possa vir a ter contato direto; e
- e) a aquicultura e a atividade de pesca.

IV - classe 3: águas que podem ser destinadas:

- a) ao abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional ou avançado;
- b) a irrigação de culturas arbóreas, cerealíferas e forrageiras;
- c) a pesca amadora;
- d) a recreação de contato secundário; e
- e) a dessedentação de animais.

V - classe 4: águas que podem ser destinadas:

- a) a navegação; e
- b) a harmonia paisagística.

Os artigos 14, 15, 16 e 17 da mesma Resolução, dispõem das condições e padrões de qualidade de água que devem ser observados para cada classe.

## 4 METODOLOGIA

O desenvolvimento deste trabalho envolveu as seguintes etapas: formulação da hipótese, o delineamento dos objetivos, a revisão bibliográfica, a definição de metodologias de amostragem e análise dos resultados obtidos e a apresentação dos resultados para discussão e conclusão.

### 4.1 Caracterização da área de estudo

O estudo em questão desenvolveu-se no município de Caçapava do Sul-RS, localizado na região centro-sul do Estado, na Serra do Sudeste, mais especificamente nas coordenadas centrais de latitude  $23^{\circ}04'50''$  sul e uma longitude  $45^{\circ}43'37''$  oeste, há uma altitude de 450 metros (Figura 4).

FIGURA 4 - Localização do município de Caçapava do Sul – RS.



Fonte: Wikipédia, 2017.



O município possui um território de 3.047.120 km<sup>2</sup>, distante da capital, Porto Alegre, 260 km, sendo os principais acessos pela BR 290, BR 153, BR 392, RS 625 e RS 357 (PREFEITURA DE CAÇAPAVA DO SUL, 2017).

Segundo dados do IBGE (2017), a população estimada para o ano de 2016 foi de 34.644 habitantes. O clima do município é classificado como temperado e úmido, sem período definido de secas (PREFEITURA DE CAÇAPAVA DO SUL, 2017).

Nascida de acampamento militar na metade do ano de 1770, Caçapava do Sul é um dos municípios mais antigos do Rio Grande do Sul, situado na chamada Região da Campanha, com extensas jazidas de minérios de cobre, cal e caulim (PREFEITURA DE CAÇAPAVA DO SUL, 2017).

Em sua formação topográfica observam-se campos e serras imponentes, com terras escuras e solo silicioso (PREFEITURA DE CAÇAPAVA DO SUL, 2017). Segundo Schimdt et al. (2015), a cidade se desenvolveu sobre a Suíte Granítica homônima associada ao Complexo Metamórfico Vacacaí, reconhecida como uma Província Mineral em virtude do grande polo industrial na área de exploração e lavra de calcário.

A economia do município é basicamente sustentada pelos setores da Agricultura, Pecuário e Mineração, sendo que a produção de calcário é responsável por mais de 80% do que é produzido no Rio Grande do Sul (PREFEITURA DE CAÇAPAVA DO SUL, 2017).

## **4.2 Caracterização da empresa mineradora**

Os Pontos de Monitoramento (PM) analisados para o desenvolvimento do trabalho encontram-se na área da empresa Dagoberto Barcellos S.A. (Figuras 5 e 6).

Fundada em 1918, a empresa é uma das pioneiras na produção de cal para construção e calcário agrícola, possuindo, em seu parque industrial, três fábricas de calcário com capacidade de produção de mais de 1 milhão de toneladas/ano, além de uma moderna fábrica de cal para construção com capacidade de produção anual de 160 mil toneladas, uma fábrica de argamassa com capacidade de produção anual de 120 mil toneladas e uma fábrica de fertilizantes de última geração (DAGOBERTO BARCELLOS, 2017). De acordo com a mesma fonte, a empresa detém, atualmente, 70% do mercado gaúcho de cal e 30% do mercado de calcário.

FIGURA 5 - Imagem aérea da empresa Dagoberto Barcellos S.A.



Fonte: Site Dagoberto Barcellos.

FIGURA 6 - Imagem aérea da área de extração do calcário da empresa Dagoberto Barcellos S.A.



Fonte: Site Dagoberto Barcellos.

## 4.2 Materiais e métodos

Denominou-se cada amostra como Ponto de Monitoramento (PM) seguida da numeração, para assim utilizar-se essa nomenclatura como identificação dos pontos de coleta. Para cada PM foram feitas 6 (seis) coletas, com exceção do aos PM7 e PM8 que tiveram

somente uma coleta. No Apêndice B estão as imagens dos PMs e, a seguir, uma breve descrição sobre a caracterização individual:

- PM1 – uma cava desativada onde, aproximadamente, 80% dela está entulhada com material rejeito. Atualmente, está sendo depositado em sua superfície um minério que vai ser encaminhado para beneficiamento, ou seja, está servindo como local de estoque. A água acumulada nessa cava (em uma área de 4000 m<sup>2</sup>, aproximadamente) é utilizada para umedecer as vias de circulação dentro da empresa, visando à minimização do surgimento de poeira, e também no sistema produtivo.
- PM2 – trata-se de uma bacia de decantação de uma cava em atividade onde a água acumulada é bombeada para o Arroio do Salso;
- PM3 – também se refere à bacia de decantação de uma cava em atividade com o mesmo sistema de bombeamento e destino do PM2;
- PM4 – este ponto também é uma bacia de decantação de uma cava com o mesmo sistema dos PMs 2 e 3, porém a água chega ao Arroio apenas por gravidade, sem necessidade do sistema de bombeamento;
- PM5 – este ponto refere-se ao Arroio do Salso, o qual recebe as águas bombeadas das três cavas citadas anteriormente e percorre a lateral da área da empresa;
- PM6 – é o ponto do Arroio Mangueirão que percorre a outra lateral da empresa e não recebe nenhuma contribuição das águas da empresa;
- PM7 - Coleta Arroio Salso – trata-se de um ponto de coleta à jusante da empresa no córrego Arroio Salso;
- PM8 - Coleta Arroio Mangueirão – trata-se de um ponto de coleta à jusante da área da empresa no córrego Arroio Mangueirão.

FIGURA 7 – Localização espacializada dos Pontos de Monitoramento.



Legenda: → sentido natural do curso d'água.

Fonte: Google Earth, 2017.

TABELA 1 – Localização geográfica dos pontos de monitoramento.

<b>Ponto de Monitoramento</b>	<b>LATITUDE</b>	<b>LONGITUDE</b>
<b>PM1</b>	30°32'35.98"S	53°25'8.00"O
<b>PM2</b>	30°32'31.00"S	53°24'32.57"O
<b>PM3</b>	30°32'49.21"S	53°25'28.63"O
<b>PM4</b>	30°33'26.51"S	53°25'28.00"O
<b>PM5</b>	30°33'4.09"S	53°25'36.73"O
<b>PM6</b>	30°32'24.00"S	53°25'38.09"O
<b>PM7</b>	30°33'1.89"S	53°24'45.18"O
<b>PM8</b>	30°32'8.21"S	53°25'15.12"O

Fonte: Do Autor, 2017.

Como em qualquer análise laboratorial, a coleta adequada das amostras é fundamental para garantir representatividade e resultados confiáveis. É importante salientar que, devido às constantes alterações ambientais, não existem amostras iguais; dessa forma, o planejamento da coleta deve ser criterioso para fornecer quantidade de dados suficiente para a realização de todos os testes requeridos.

As coletas foram feitas com referências fornecidas pelo *Standard Methods for Water and Wastewater*, o qual padroniza os procedimentos de coleta, armazenamento e transporte de água para análises microbiológicas e físico-químicas de água e esgoto.

Para os parâmetros que não puderem seguir o *Standard Methods*, foram feitas a partir da melhor metodologia que o laboratório pode fornecer. Na Tabela 2 estão descritos os parâmetros analisados com suas respectivas técnicas metodológicas utilizadas.

Portanto, para a coleta das amostras dos PMs destinadas as análises microbiológicas foram utilizados recipientes esterilizados com volume de 100 mL, e para as análises físico-químicas foram utilizados recipientes escuros com boa vedação com capacidade de 1 litro.

Após as coletas, as amostras dos PMs foram encaminhadas para o Laboratório de Química da UNIPAMPA (em prazo < 24horas), campus de Caçapava do Sul/RS, sendo acondicionadas em uma geladeira com temperatura adequada até o momento de análise.

TABELA 2 - Parâmetros analisados, unidades de medida e técnicas aplicadas.

<b>PARÂMETRO</b>	<b>UNIDADE</b>	<b>TÉCNICA</b>
<b>pH</b>	µS/cm	pHmetro
<b>Condutividade elétrica</b>	CaCO <sub>3</sub> mg/L	Condutivímetro
<b>Cor</b>	Hazen = mg/L Pt-Co ou U.C.	Método colorimétrico
<b>Turbidez</b>	N.T.U. ou U.T.	Método nefelométrico
<b>Ferro</b>	mg/L Fe	Método colorimétrico do tiocianato
<b>Dureza total</b>	CaCO <sub>3</sub> mg/L	Titulação / Complexometria
<b>Cálcio</b>	mg/L	Método titulométrico
<b>Magnésio</b>	mg/L	Método titulométrico
<b>Matéria orgânica</b>	mg/L O <sub>2</sub>	Método titulométrico
<b>Coliformes totais</b>	(+) Presença; (-) Ausência	Substrato enzimático
<b>Coliformes termotolerantes</b>	(+) Presença; (-) Ausência	Substrato enzimático
<b>Oxigênio dissolvido</b>	mg/L O <sub>2</sub>	Método iodométrico (winkler)
<b>DBO<sub>5,20</sub></b>	mg/L O <sub>2</sub>	-

Fonte: Do Autor, 2017.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

ANA (2006) aponta a dualidade com que a água se apresenta nas atividades de mineração: absolutamente necessária para muitos processos e operações a serem desenvolvidas, mas também elemento que origina problemas e implica custos adicionais importantes.

De acordo com Fritzsos et al. (2009), a qualidade química, física e biológica das águas fluviais apresenta grande variabilidade e, em ambientes completamente naturais, é influenciada por fatores climáticos (temperatura, umidade, ventos e precipitação), pelos tipos de rochas do substrato, pela vegetação e pela contribuição da água subterrânea e das águas pluviais.

Os resultados de cada amostra e parâmetros analisados estão descritos no Apêndice A.

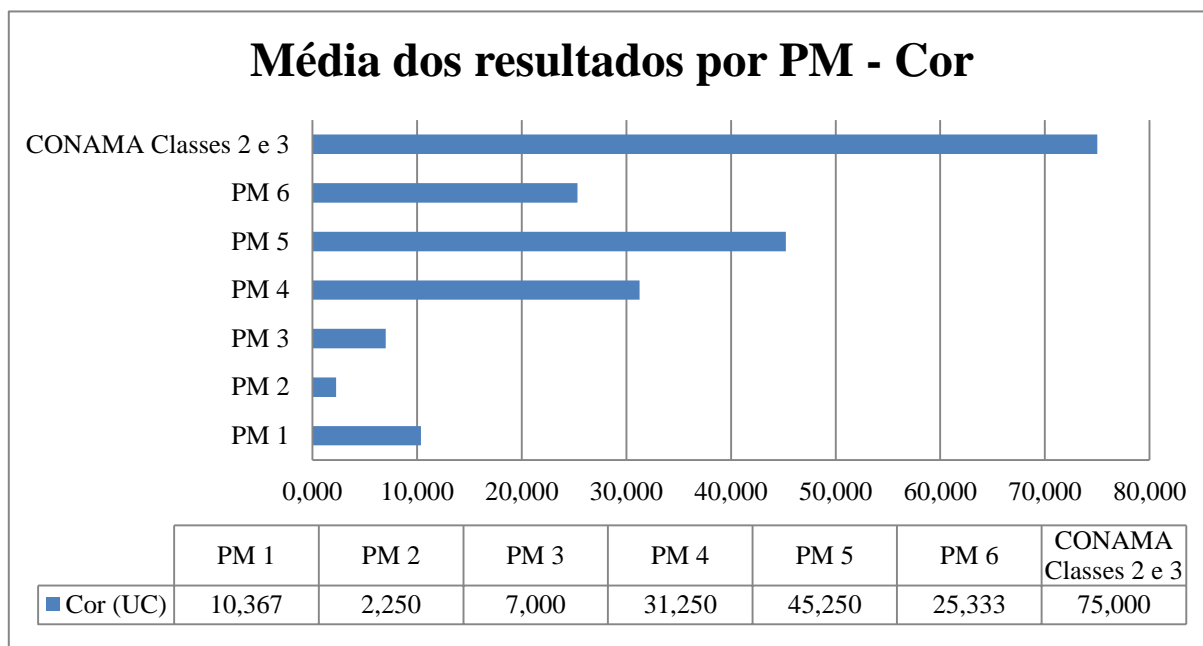
A fim de facilitar a interpretação, os resultados serão apresentados e discutidos separadamente em subitens para cada parâmetro determinado. Devido ao fato dos PMs 7 e 8 terem sido coletados apenas uma amostra, optou-se por discutir estes resultados no item 5.10.

### 5.1 Cor

A Resolução CONAMA nº 357/2005 para águas doces de classe 1, define cor verdadeira como: nível de cor natural do corpo de água em mg Pt/L, e para as classes 2 e 3 tolera-se para cor verdadeira o valor de até 75 mg/L.Pt (miligramas por litro de Platina), ou então uC (unidades de cor).

Conforme Libânio (2005), a cor de uma amostra de água está associada ao grau de redução de intensidade que a luz sofre ao atravessá-la (e esta redução dá-se por absorção de parte da radiação eletromagnética), devido à presença de sólidos dissolvidos, principalmente material em estado coloidal orgânico e inorgânico inferior a 1 µm, podendo também resultar da presença de compostos de ferro e manganês ou do lançamento de diversos tipos de resíduos industriais. Para águas naturais, em geral, a cor verdadeira apresenta-se variando entre 0 a 200 uC (LIBÂNIO, 2005).

FIGURA 8 - Médias dos resultados por PM – Cor



Fonte: Do Autor, 2017.

Nota-se na Figura 8, que os PMs 1, 2 e 3 apresentaram os menores valores em Unidades de Cor (UC), tratam-se de bacias de decantação, e o inverso foi observado no PM5, Arroio Salso, sendo assim, pode-se relacionar a velocidade de escoamento com os resultados obtidos neste parâmetro.

O limite definido pela Resolução CONAMA nº 357/2005 para o parâmetro cor verdadeira (classe 2 e 3) não foi ultrapassado por nenhum PM em nenhuma coleta realizada.

## 5.2 Turbidez

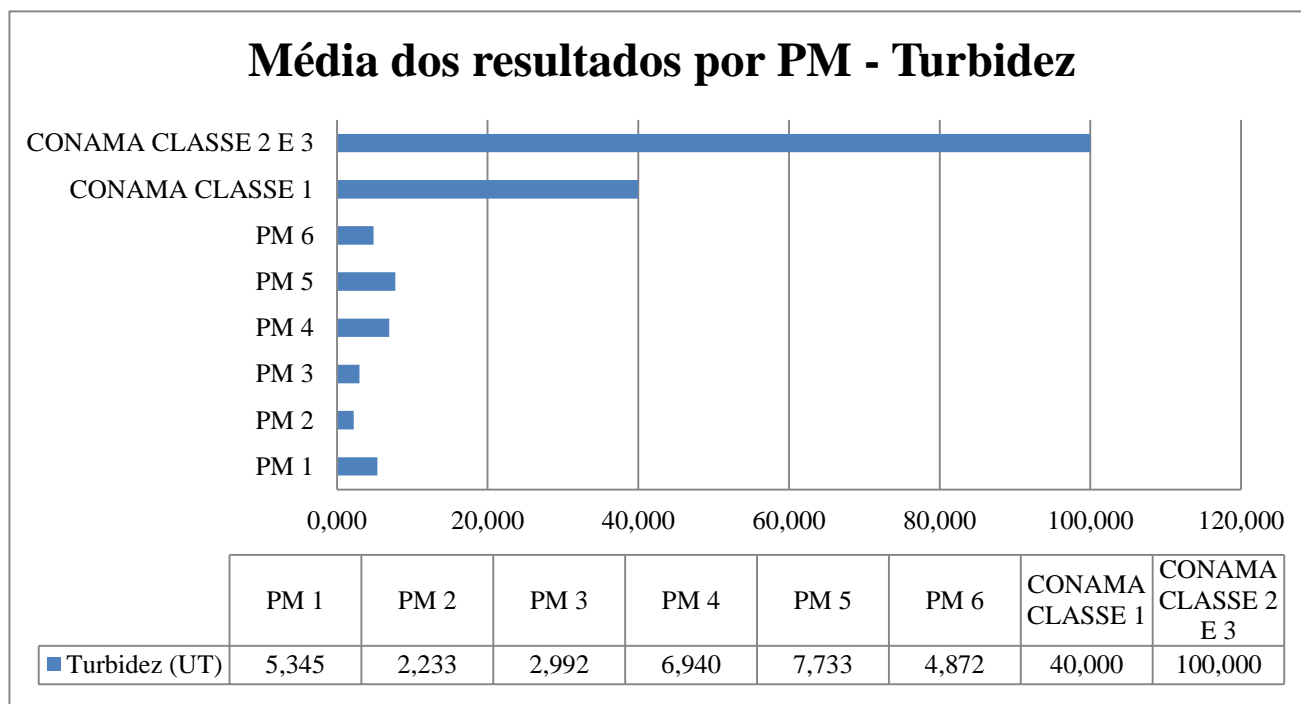
A turbidez da água é caracterizada pela matéria em suspensão, como argila, silte, substâncias orgânicas finamente divididas, organismos microscópicos e outras substâncias similares, que alteram a intensidade de penetração da luz através dos fenômenos de difusão e absorção, dando a água aparência turva, esteticamente indesejável e potencialmente perigosa, visto que o material em suspensão permite que eventuais microrganismos patogênicos possa estar presentes dificultando o seu contato com o material desinfetante (KAWOTA, RIBEIRO E TELLES, [200-]).



Segundo a Resolução CONAMA nº 357/2005, para águas doces de classe 1 permite-se até 40 uT (unidades de turbidez) para o parâmetros turbidez. Conforme os resultados encontrados, nenhum PM apresentou valor superior a este, sendo que o maior valor encontrado foi de 24,1 uT para o PM5 (Arroio Salso).

A Figura 9 traz o gráfico com as médias dos resultados do parâmetro turbidez encontradas para os diferentes PMs.

FIGURA 9 - Médias dos resultados por PM – Turbidez



Fonte: Do Autor, 2017.

Segundo Libânio (2005), a turbidez natural das águas superficiais está, geralmente, compreendida na faixa de 3 a 500 uT, sendo que em lagos e represas a turbidez tende a ser baixa.

Para Capanema (2015) é possível que esses materiais que conferem turbidez a água sejam originários do solo (principalmente quando não há mata ciliar), de atividades de mineração, de indústrias ou de esgoto doméstico lançado no manancial sem tratamento.

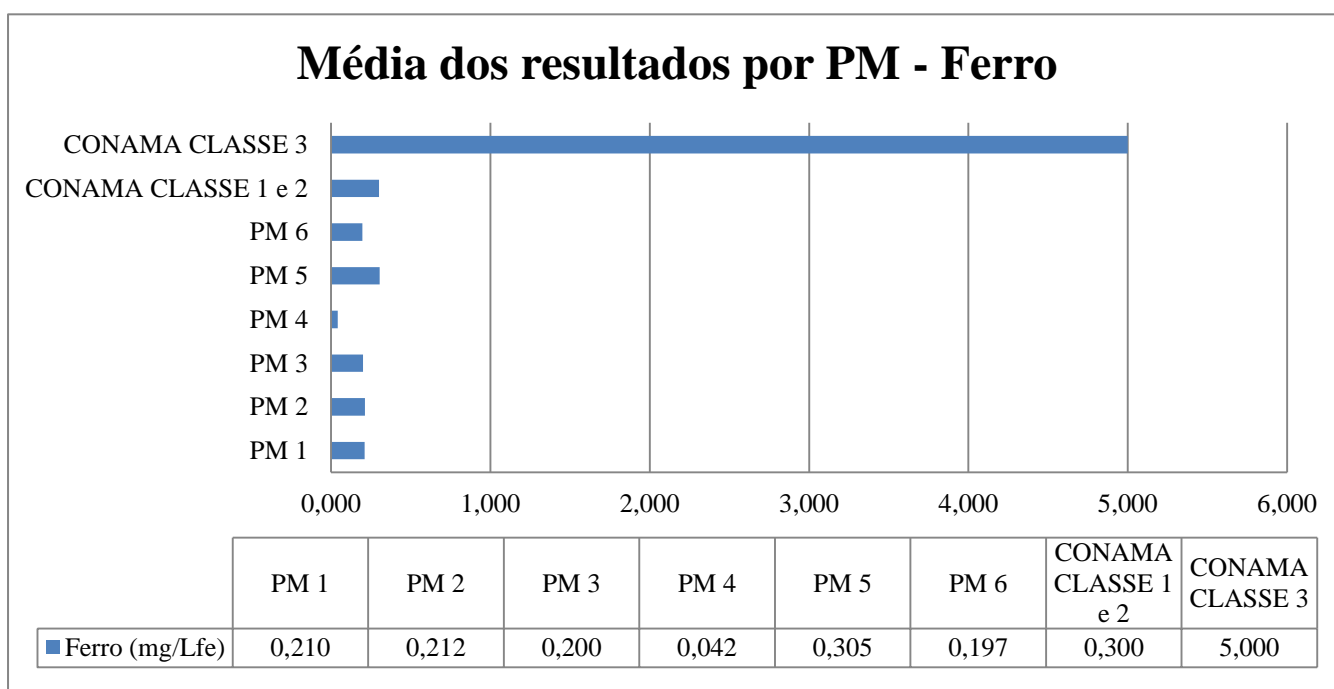


### 5.3 Ferro

Conforme a Resolução CONAMA nº 357/2005, o valor máximo para águas de classes 1 e 2, é de 0,30 mg/L/Fe (miligramas por litro de Ferro).

Com exceção ao PM4, os demais PMs obtiveram em no mínimo uma amostra valores superiores a 0,30 mg/LFe. Porém, se levando em consideração as médias dos resultados obtidos (Figura 10) somente o PM5 ultrapassou o limite para classe 1 e 2, ficando como classe 3.

FIGURA 10 - Médias dos resultados por PM - Ferro



Fonte: Do Autor, 2017.

Segundo Vistuba (2010), os elementos Ferro (Fe) e Manganês (Mn) conferem à água um sabor amargo adstringente e coloração marrom-amarelada e turva, decorrente da oxidação destes elementos, ocasionando sua precipitação. Estes elementos são encontrados naturalmente em todas as águas, originados, principalmente, da dissolução de rochas.

#### **5.4 Matéria Orgânica (M.O.) e Demanda Bioquímica de Oxigênio (D.B.O.)**

Para Sperling (1996), a presença de MO é uma das características primordiais, pois é a responsável direta pela quantidade de oxigênio dissolvido consumido pelos microrganismos nos seus processos metabólicos de utilização e estabilização da matéria orgânica, sendo este um dos principais problemas de poluição das águas. A Resolução CONAMA nº 357/2005 não estabelece valor máximo para matéria orgânica, entretanto encontra-se na literatura dados analisados através de métodos indiretos de quantificação da matéria orgânica, ou de seu potencial poluidor.

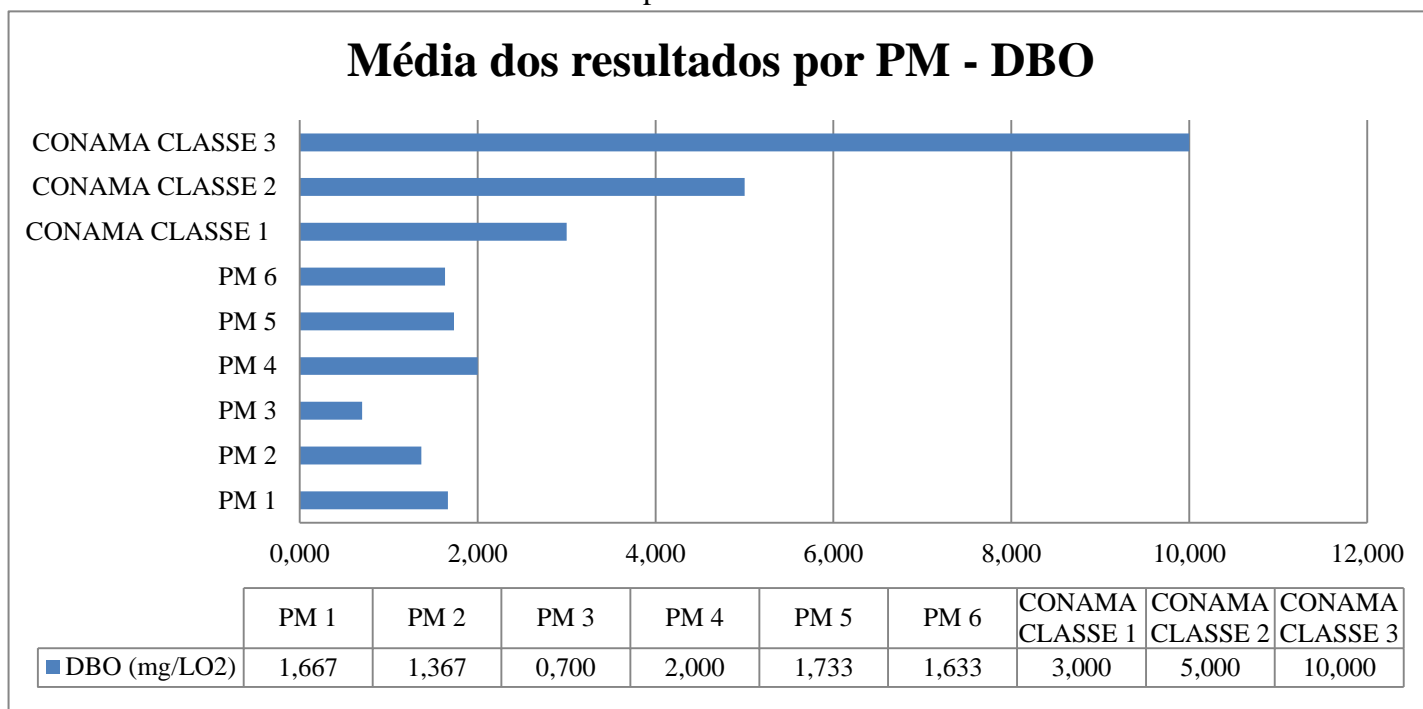
Nessa linha, o parâmetro mais utilizado é a Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), a qual mede o consumo de oxigênio utilizado pelos microrganismos para oxidar a matéria orgânica presente na amostra durante 5 dias à temperatura de 20 °C (CAPANEMA, 2015).

De acordo com Libânio (2005), a DBO indica a intensidade do consumo de oxigênio necessário às bactérias na estabilização da matéria orgânica .

Para este parâmetro, a Resolução CONAMA nº 357/2005 estabelece como valor máximo para águas de classe 1 até 3 mg/LO<sub>2</sub> (miligramas por litro de oxigênio).

Conforme os resultados da Figura 11, relacionado às médias, e analisando os resultados individualmente do Apêndice A, todos os PMs enquadram-se como águas de classe 1.

FIGURA 11 - Médias dos resultados por PM - DBO



Fonte: Do Autor, 2017.

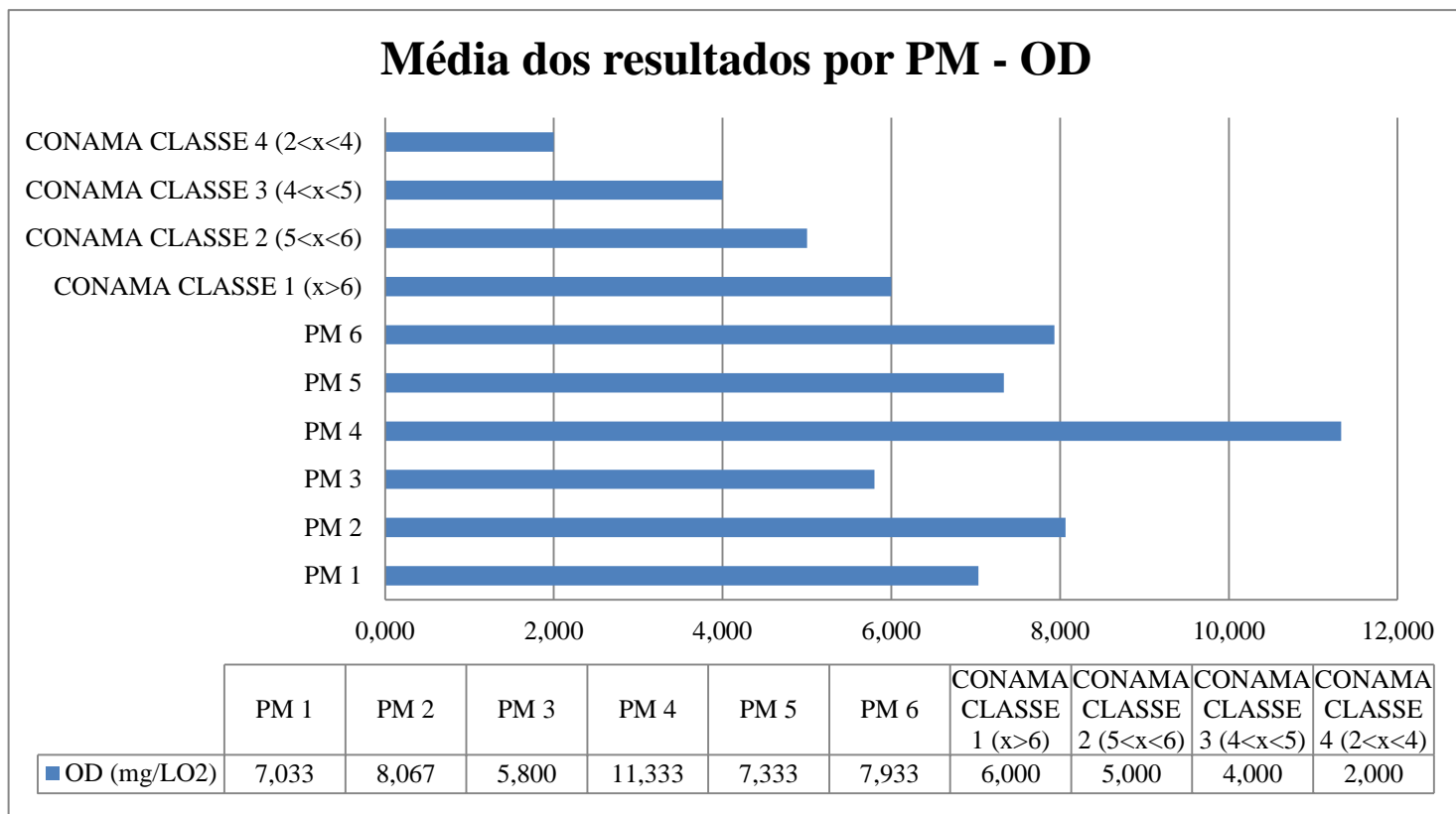
### 5.5 Oxigênio Dissolvido (O.D.)

Com base no exposto até o momento, salienta-se a importância do OD em quantidades adequadas para realização das atividades dos organismos representantes da biota aquática. Segundo Libânio (2005), o OD é reconhecidamente o parâmetro mais importante para expressar a qualidade de um ambiente aquático, de modo que a concentração de OD à saturação é diretamente proporcional à pressão atmosférica e indiretamente proporcional à temperatura.

A Resolução CONAMA nº 357/2005 estabelece como padrão para águas de classe 1 o valor não inferior a 6 mg/LO<sub>2</sub> (miligramas por litro de oxigênio).

Das seis coletas realizadas, quatro coletas do PM3 apresentaram valor inferior ao estabelecido pela legislação para classe 1. Esses resultados enquadram o PM3 como de classe 2, onde o valor de OD não pode ser inferior a 5 mg/LO<sub>2</sub>.

FIGURA 12 - Médias dos resultados por PM - OD



Fonte: Do Autor, 2017.

Para Libânio (2005) as variações nos teores de OD estão associadas aos processos físicos, químicos e biológicos que ocorrem nos corpos d'água, sendo necessário para manutenção da vida aquática aeróbia teores mínimos de 2 a 5 mg/L de OD. Ramos (2015) diz que a diminuição do OD também pode estar relacionada com as perdas para a atmosfera ou pelo processo de nitrificação e oxidação de íons metálicos como ferro ( $Fe^{3+}$ ) e manganês ( $Mn^{2+}$ ) e teor de oxigênio atmosférico.

## 5.6 Coliformes totais e termotolerantes

A bactéria *E. coli* é classificada como uma bactéria do grupo termotolerante e que apresenta a capacidade de continuar fermentando lactose com produção de gás, mesmo quando incubada à temperatura de 44,5 a 45,5°C em um período de 24 horas (LIBÂNIO, 2010). Em virtude disso, é a mais utilizada nas análises microbiológicas para saber se há contaminação fecal, visto que seu habitat primário é o trato intestinal do homem e animais de

sague quente (RAMOS, 2015). Além da *E. coli*, esse grupo engloba também o gênero, em menor monta, *Citrobacter*, *Klebsiella* e *Enterobacter*, as quais representam um percentual variável entre 3 e 4% nas fezes humana e 3 a 8% nas fezes de animais (LIBÂNIO, 2005).

Já o termo coliformes totais congrega um grupo ainda mais amplo de bactérias aeróbias ou anaeróbias também capazes de fermentar a lactose de 24 a 48 horas à temperatura de 35 a 37°C (LIBÂNIO, 2005).

De acordo com a Resolução CONAMA nº 357/2005, para águas de classe 1 a presença de coliforme termotolerantes deve seguir os padrões de qualidade de balneabilidade da Resolução CONAMA nº 274/2000 para usos de recreação de contato primário, onde, por exemplo, a água é considerada excelente quando em 80% ou mais de um conjunto de amostras obtidas em cada uma das cinco semanas anteriores, colhidas no mesmo local, houver, no máximo, 250 coliformes termotolerantes ou 200 *E. coli* ou 25 enterococos por 100 mililitros.

Para os demais usos, não deverá ser excedido um limite de 200 coliformes termotolerantes por 100 mililitros em 80% ou mais, de pelo menos 6 amostras, coletadas durante o período de um ano, com frequência bimestral.

O laboratório não detinha metodologia para quantificar os microrganismos, detectou-se apenas a presença e ausência (positivo/negativo) nos PMs analisados. Os resultados apontaram presença em todas as coletas realizadas, tanto para coliformes totais quanto para coliformes tolerantes, com exceção da primeira coleta, onde os resultados para coliformes termotolerantes foram negativos apenas para os PMs 1, 2, 4 e 5, conforme pode ser observado no Apêndice A.

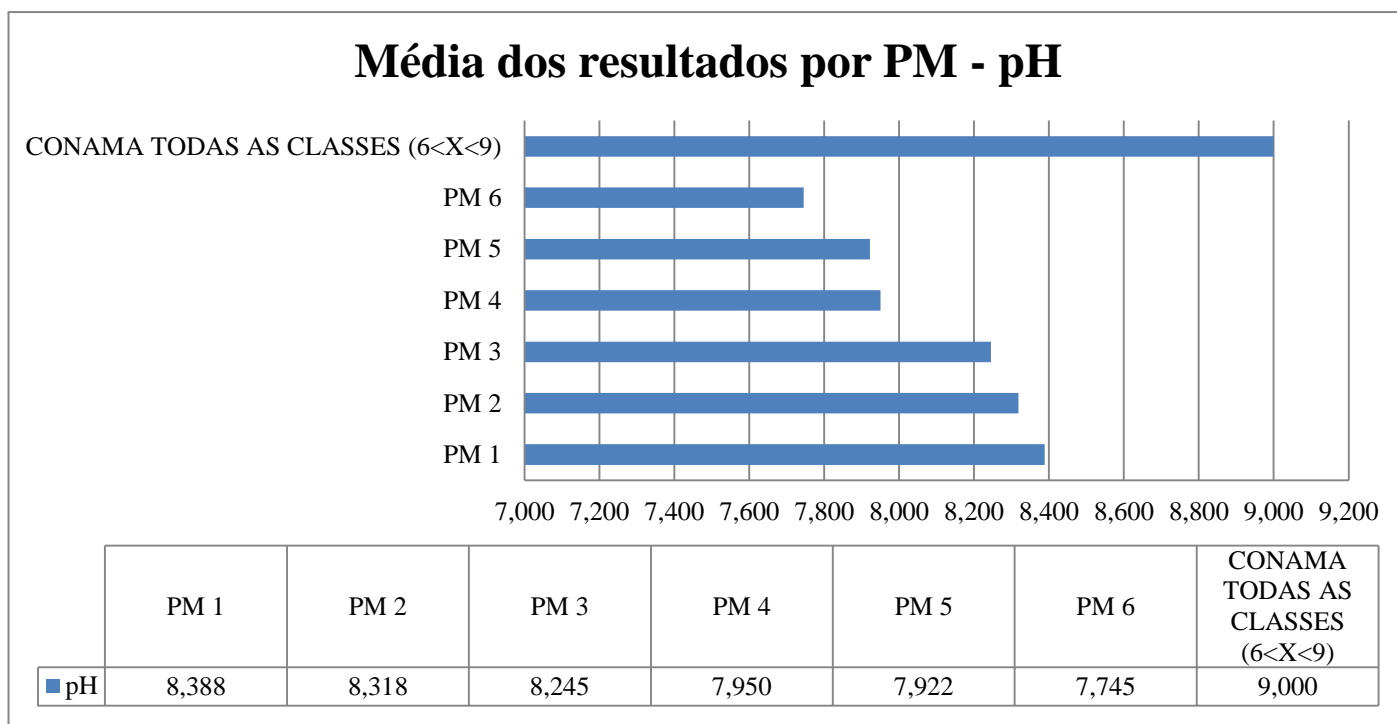
Sendo assim, este parâmetro não pode ser considerado para a classificação dos PMs.

## **5.7 Potencial Hidrogeniônico (pH) e alcalinidade**

Segundo Libânio (2005) o (pH) consiste na concentração dos íons  $H^+$  nas águas e representa a intensidade das condições ácidas ou alcalinas do ambiente aquático, de modo que valores de pH inferiores a 7 indicam condições ácidas e valores superiores a 7 indicam condições alcalinas da água natural. O mesmo autor diz que as águas naturais de superfície apresentam pH variando de 6,0 a 8,5.

De acordo com a Resolução CONAMA nº 357/2005 para todas as classes os valores de pH (potencial hidrogeniônico) devem se concentrar entre 6,0 e 9,0. Conforme exposto no Apêndice A, pode-se observar que na terceira e quarta coleta o PM1 apresentou resultados minimamente acima do estabelecido pela Resolução, bem como o PM4 na sexta coleta. Porém, analisando as médias dos resultados por PM (Figura 13), conclui-se que todos os PM permaneceram no intervalo definido pela Resolução.

FIGURA 13 - Médias dos resultados por PM - pH



Fonte: Do Autor, 2017.

Posto isso, a alcalinidade das águas naturais traduz a capacidade de neutralizar ácidos ou a capacidade de minimizar variações significativas de pH (tamponamento), constituindo-se principalmente de bicarbonatos, quando o pH estiver entre 4,4 e 8,3, carbonatos e bicarbonatos quando a faixa de pH for entre 8,3 e 9,4, e hidróxidos e carbonatos quando o pH for maior que 9,4 (LIBÂNIO, 2005). O mesmo autor diz que águas naturais de origem superficial no Brasil não apresentam alcalinidade inferior a 100 mg/L de CaCO<sub>3</sub>, sendo que valores mais elevados podem estar associados aos processos de decomposição de matéria orgânica, à atividade respiratória de microrganismos e ao lançamento de efluentes industriais.

Os valores encontrados para alcalinidade, como pode ser observado no Apêndice A, foram bastante variados, o PM4 foi o que registrou o menor valor por média de 57,9 mg/L de CaCO<sub>3</sub> e , o PM2 com o maior valor (por média) de 322 mg/L de CaCO<sub>3</sub>.

A Resolução CONAMA nº 357/2005 não estabelece valores limites para o parâmetro alcalinidade.

No trabalho realizado por Fritzsons et al. (2009) o objetivo era de avaliar a modificação do pH e da alcalinidade nas águas do rio Capivari entre 1986 e 2000 e verificar se essa alteração estaria relacionada à expansão das áreas de mineração de calcário na bacia. Os autores observaram que a alcalinidade e o pH apresentaram uma tendência igual, ou seja, da elevação do valor médio da alcalinidade e da diminuição da concentração hidrogeniônica (elevação do pH) no intervalo de tempo entre 1986 a 2000. Considerando que não existem indústrias emissoras de efluentes, que a agricultura não é intensiva em toda a bacia e que não existem criações nas margens dos rios, para os autores a atividade de mineração poderia ser a causa das alterações, uma vez que os metadolomitos, quando extraídos das pedreiras, liberam carbonato de cálcio e magnésio no ambiente, os quais seguramente tornam o pH da água mais básico.

## **5.8 Condutividade elétrica**

A condutividade elétrica indica a capacidade da água natural de transmitir a corrente elétrica em função da presença de substâncias dissolvidas que se dissociam em ânions e cátions, sendo, portanto, diretamente proporcional à concentração iônica (LIBÂNIO, 2005).

Os resultados das análises de condutividade elétrica mostraram-se elevados nas primeiras coletas, isto pode ser justificado em função das coletas terem sido realizadas no período chuvoso, onde há maior presença de sólidos dissolvidos.

De acordo com Libânio (2005) águas naturais apresentam comumente condutividade elétrica inferior a 100  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (micro-siemens por centímetro), podendo atingir 1000  $\mu\text{S}/\text{cm}$  em corpos d'água receptores de elevadas cargas de efluentes domésticos e industriais.

A Resolução CONAMA nº 357/2005 não estabelece valores limites para o parâmetro condutividade elétrica.

Os valores encontrados para condutividade elétrica, como pode ser observado no Apêndice A, foram bastante variados, o PM2 foi o que registrou o maior valor médio, 539,8  $\mu\text{S}/\text{cm}$  e o PM6 com o menor valor (por média), 160,5  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

## 5.9 Dureza, Cálcio e Magnésio

A dureza indica a concentração de cátions multivalentes em solução na água, principalmente de cálcio e magnésio, e, em menor quantidade, alumínio, ferro, manganês e estrôncio (LIBÂNIO, 2005).

De acordo com Sperling (2005), em termos de interpretação dos resultados de dureza para tratamento e abastecimento público de água, a água pode ser classificada em:

- Água mole: dureza < 50 mg/L CaCO<sub>3</sub> (miligramas por litro de carbonato de cálcio);
- Dureza moderada: dureza entre 50 e 150 mg/L CaCO<sub>3</sub>;
- Água dura: dureza entre 150 e 300 mg/L CaCO<sub>3</sub>;
- Água muito dura: dureza > 300 mg/L CaCO<sub>3</sub>.

Com isso, podemos dizer que os PMs 3, 4, 5 e 6 apresentaram dureza moderada, o PM1 como água dura, e o PM2 se enquadraram como água muito dura. A Resolução CONAMA n° 357/2005 não estabelece valores limites para o parâmetro dureza.

De acordo com Libânio (2005) a maioria dos mananciais superficiais no Brasil apresenta reduzida dureza, de modo que sua presença está frequentemente associada a dissolução de rochas calcárias, ricas em cálcio e magnésio e, em menor monta, decorrente do lançamento de efluentes industriais. Visto isso, atribui-se os altos valores de dureza encontrado o fato das águas estarem presentes em área de mineração de calcário, em virtude da dissolução dos íons cálcio e magnésio. Este fato também justifica os valores encontrados para as análises de cálcio e magnésio, como pode ser observado no Apêndice A.

A Resolução CONAMA n° 357/2005 não estabelece valores limites para os parâmetros de cálcio e magnésio.

## 5.10 Resultados dos PM7 e PM8

Já finalizado o período de monitoramento, fez-se a coleta destes pontos sem qualquer intuito de utilização dos dados, apenas em nível de interesse. Porém depois de obtidos os resultados, observou-se que tais PMs foram essenciais para complementar a discussão dos



resultados como um todo. Não foram feitas repetições de coleta, como também determinações de cálcio e magnésio.

Em trabalho realizado por Silva et al. (2015), foi avaliada a qualidade das águas nas proximidades das mineradoras de calcário no município de Caçapava do Sul-RS, através dos parâmetros dureza total, alcalinidade, condutividade elétrica e pH. A dureza total ficou entre 24 mg/L CaCO<sub>3</sub> e 243 mg/L CaCO<sub>3</sub>; o pH mostrou estar dentro dos limites, conforme Resolução CONAMA nº 357/2005, exceto para duas amostras que apresentaram pH 10; a alcalinidade total variou de 44 mg/L a 241 mg/L; e a condutividade elétrica ficou entre 97,5 µS/cm e 548 µS/cm.

Como apresentado nos resultados (Apêndice A), o PM7 enquadra-se como de classe 3, e o PM8 como águas de classe 2 de acordo com a Resolução CONAMA nº 357/2005.

### **5.11 Resumo dos resultados por PM**

- PM1: se analisado individualmente os resultados por coleta, o PM se enquadra como de classe 3 para a primeira coleta, pois o parâmetro Fe apresentou resultados superiores aos limites das classes 1 e 2. Além disso, os resultados do pH na terceira e quarta coletas foram superiores aos definidos na Resolução CONAMA nº 357/2005. Contudo, as médias calculadas para este parâmetro, enquadram o PM como de classe 2;
- PM2: se analisado individualmente os resultados por coleta, o PM se enquadra como de classe 3 na terceira coleta, pois o parâmetro Fe apresentou resultados superiores aos limites das classes 1 e 2. Contudo, as médias calculadas para este parâmetro, enquadram o PM como de classe 2;
- PM3: se analisado individualmente os resultados por coleta, o PM3 se enquadra como de classe 3 na terceira coleta, pois o parâmetro Fe apresentou resultados superiores aos limites das classes 1 e 2. Outro parâmetro que apresentou resultados alterados foi o O.D. em quatro das seis coletas realizadas, de modo que a média desse parâmetro enquadra o PM como classe 2.
- PM4: o único parâmetro que apresentou alteração no valor superior ao da Resolução CONAMA nº 357/2005, foi o pH na sexta coleta. A referida Resolução define o

intervalo do pH entre 6 e 9 para todas as classes, o que deixaria este PM sem classificação. Contudo, se analisando as médias dos resultados, o PM se enquadra como de classe 2;

- **PM5:** se analisado individualmente os resultados por coleta, o PM se enquadra como água de classe 3 na primeira, segunda e terceira coletas, pois o parâmetro Fe apresentou resultados superiores aos limites das classes 1 e 2. Esse fato, faz com que a média dos valores para Fe enquadre este PM como classe 3;
- **PM6:** se analisando individualmente os resultados por coleta, o PM se enquadra como água de classe 3 na primeira e terceira coletas, pois o parâmetro Fe apresentou resultados superiores aos limites das classes 1 e 2. Contudo, analisando as médias calculadas o referido PM se enquadra como de classe 2;
- **PM7 - Arroio Salso:** este PM enquadra-se como água de classe 3, pois o parâmetro Fe apresentou resultado superior a 0,30 mg/LFe. Entretanto deve-se salientar que fora feita somente uma amostragem e sem a totalidade dos parâmetros avaliados nos demais;
- **PM8 - Arroio Mangueirão:** este PM enquadra-se como água de classe 2, entretanto deve-se salientar que fora feita somente uma amostragem e sem a totalidade dos parâmetros avaliados nos demais;

Em resumo, segue abaixo (Tabela 3) o enquadramento para cada PM.

TABELA 3- Enquadramento dos Pontos de Monitoramento analisados conforme as classes dispostas na Resolução CONAMA nº 357/2005.

	Enquadramento dos PMs por parâmetro avaliado						Enquadramento geral
	Cor	Turbidez	Fe	DBO	OD	pH	
<b>PM1</b>	classe 2	classe 1	classe 1 e 2	classe 1	classe 1	Todas classes	classe 2
<b>PM2</b>	classe 2	classe 1	classe 1 e 2	classe 1	classe 1	Todas classes	classe 2
<b>PM3</b>	classe 2	classe 1	classe 1 e 2	classe 1	classe 2	Todas classes	classe 2
<b>PM4</b>	classe 2	classe 1	classe 1 e 2	classe 1	classe 1	Todas classes	classe 2
<b>PM5</b>	classe 2	classe 1	classe 3	classe 1	classe 1	Todas classes	classe 3
<b>PM6</b>	classe 2	classe 1	classe 1 e 2	classe 1	classe 1	Todas classes	classe 2
<b>PM7</b>	classe 2	classe 1	classe 3	classe 1	classe 1	Todas classes	classe 3
<b>PM8</b>	classe 2	classe 1	classe 1 e 2	classe 1	classe 1	Todas classes	classe 2

Fonte: Do Autor, 2017.

## 6 CONCLUSÃO

O monitoramento da qualidade das águas é a principal medida na avaliação da eficiência dos sistemas de controle ambiental implantados em empreendimentos. Além de constituir um elemento fundamental na conservação do meio ambiente, deve ser realizado durante as fases de implantação, operação e desativação do empreendimento.

De maneira geral, todos os PMs possuem características de boa qualidade, e, de acordo com os resultados analisados, somente os PMs 5 e PM7, (Arroio Salso) ficaram enquadrados com de classe 3. Com isto, não há como afirmarmos ou concluir que a atividade de mineração de calcário está influenciando ou não na classificação (segundo Resolução CONAMA nº 357/05) deste Arroio, pois previamente a receber as águas das bacias de decantação, o Arroio já detém uma qualidade inferior à aquela que está recebendo das bacias de decantação (PM 1, 2, 3 e 4).

Tais PMs (5 e 7), somente enquadraram-se como de classe 3 devido aos teores de Ferro encontrado. Isso pode ser justificado pelo fato que o talvegue normal do Arroio passa em diversas áreas ocupadas pela mineração em uma ampla extensão territorial, logo, estas atividades geram a dissolução deste elemento nas águas.

Os PM6 e PM8 (Arroio Mangueirão), não foram amplamente debatidos tendo em vista que este curso hídrico não recebe água das bacias de decantação da atividade, entretanto foram classificados como de classe 2.

Ficou notável a importância da bacia de decantação da água extraída das cavas, principalmente para os parâmetros de cor e turbidez.

Os parâmetros avaliados neste estudo e não presentes na Resolução CONAMA nº 357/05 (condutividade, dureza, cálcio, magnésio, matéria orgânica e coliformes totais e termotolerantes), não apresentaram valores superiores ou distintos daqueles encontrados na literatura consultada, por isso pode-se concluir que tais parâmetros não iriam alterar de modo significativo a classificação de qualidade dos Pontos de Monitoramento avaliados.

Quando a determinação da influencia do despejo das águas oriundas dos locais de mineração de calcário no curso hídrico naturais não pôde ser concluída, tendo em vista a falta de dados e um maior número de coletas do PM7.

Entretanto, por mais que não foram evidenciados impactos significativos sob as águas superficiais da região ocupada pela mineração, é imprescindível a continuação dos monitoramentos, visto que o empreendimento encontra-se ativo e em pleno funcionamento.

## REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO

AGENDA 21. Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente. Câmara dos Deputados, Brasília, 1995.

ANA – AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS; IBRAM – INSTITUTO BRASILEIRO DE MINERAÇÃO. **A gestão de recursos hídricos e a mineração**. Brasília: ANA, 2006, 334 p.

ARAÚJO, E. R.; FERNANDES, F. R. C. **Mineração no Brasil: crescimento econômico e conflitos ambientais**. *In: Conflitos ambientais na indústria mineira e metalúrgica: o passado e o presente*. Ed: Várzea da Rainha Impressores, S. A. Évora e Rio de Janeiro, dez. 2015.

BACCI, D. L. C.; LANDIM, P. M. B.; ESTON, S. M. **Aspectos e impactos ambientais de pedreira em área urbana**. Revista da Escola de Minas de Ouro Preto, Ouro Preto, v. 59, n.1, p. 47-54, 2006.

BEZERRA, L. M. A. **Análise dos impactos socioambientais decorrentes da mineração na Chapada do Araripe-Nova Olina/Ceará**. Fortaleza. Revista Geosaberes, vol. 6, número especial (2), p. 79-89, nov. 2015. ISSN: 2178-0463.

BLISS, J. D., HAVES, T. S., ORRIS, G. J. **Limestone - A Crucial and Versatile Industrial Mineral Commodity**. 2008. Disponível em <http://pubs.usgs.gov/fs/2008/3089/>, Acesso em: 22 out. de 2015

BRASIL. **Lei 12.890, de 10 de dezembro de 2013**. Altera a Lei nº 6.894, de 16 de dezembro de 1980, para incluir os remineralizadores como uma categoria de insumo destinado à agricultura, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília-DF, p. 1, Seção 1, 11 dez. 2013.

CAPANEMA, G. A. **Diagnóstico da qualidade da água da microbacia do córrego da Aldeia em Fernandonópolis-SP**. Dissertação (Mestrado), Ilha Solteira, 2015. Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Faculdade de Engenharia do campus de Ilha Solteira, 2015.

CETESB. **Relatório de Qualidade das Águas Interiores do Estado de São Paulo**. São Paulo: Governo do Estado de São Paulo, Secretaria do Meio Ambiente, 540 p., 2008. Disponível em: < <http://aguasinteriores.cetesb.sp.gov.br/publicacoes-e-relatorios/> >. Acesso em: 10 out. de 2015.

CONAMA. Resolução nº 274 de 29 de novembro de 2000. Define os critérios de balneabilidade em águas brasileiras. **Diário Oficial da União**. Brasília-DF, nº 18, de 25 de janeiro de 2001, Seção 1, p. 710-710.

CONAMA. Resolução nº 357 de 17 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. **Diário Oficial da União**, Brasília-DF, nº 053, de 18/03/2005, p. 58-63.

DAGOBERTO BARCELLOS. Empresa de produção de cal para construção e calcário agrícola. Disponível em: < <http://www.grupodb.com.br/index.php>>. Acesso em: 24 mar. 2017.

DALLAROSA, A. Z. **Proposta de melhoria no processo industrial do carbonato de cálcio apoiada em modelo de referência do desenvolvimento de produto e processo**. Dissertação. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus de Ponta Grossa, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Ponta Grossa, 2011.

DNPM – DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL. **Sumário Mineral 2015**. Brasília-DF, vol. 35, 135 p., 2015. ISSN 0101-2053.

DNPM – DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL. **Anuário Mineral Estadual – Rio Grande do Sul**. Brasília-DF, 23 p, 2016.

FARIAS, C. E. G. **Mineração e Meio Ambiente no Brasil**. Programa das Nações Unidas, Contrato 2002/001604, out. 2002.

FRITZSONS, E.; MANTOVANI, L. E.; NETO, A. C.; HINDI, E. C. **A influência das atividades mineradoras do pH e da alcalinidade em águas fluviais: o exemplo do rio Capivari, região do carste paranaense**. Revista Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 14, n. 3, p 381-390, jul/set 2009.

FUZINATTO, C. F. **Avaliação da qualidade da água de rios localizados na ilha de Santa Catarina utilizando parâmetros toxicológicos e o índice de qualidade de água**. Florianópolis-SC, 2009. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Santa Catarina, Programa de Pós Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental, 2009.

GONÇALVES, L. V. **Qualidade da água em lagos de mineração – Estudo de caso: Águas Claras e Riacho dos Machados**. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Minas Gerais, Programa de Pós-Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos, Belo Horizonte, 2013.

IBGE. **Prefeitura de Caçapava do Sul**. Disponível em: < <http://cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?lang=&codmun=430280&search=|info%EFicos:-informa%E7%F5es-completas>>. Acesso em: 24 mar. 2017

IBGE. **Projeção da população do Brasil**. Disponível em: < <http://www.ibge.gov.br/apps/populacao/projecao/>>. Acesso em 25 abr. 2017.

IBRAM. **Informações sobre a economia mineral brasileira 2015**. Brasília-DF, set. 2015.

IPEA. **Diagnóstico dos resíduos sólidos da atividade de mineração de substâncias não energéticas**. Relatório de Pesquisa, Secretaria de Assuntos Estratégicos da Presidência da República, 2012.

KAWOTA, E. A.; RIBEIRO, J. T.; TELLES, D. D. **Estudo da influência da turbidez e cor declinantes sobre a coagulação de água de abastecimento no mecanismo de adsorção-neutralização de cargas**. São Paulo, Faculdade de Tecnologia, 6 p. [200-].

LEITE, A.L.S.; SILVA, C.M.G.; BARBOSA, R. Análise ergonômica no processo da extração de calcário laminado: estudo de caso. In: XXIII ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 23. Ouro Preto, 2003, p.1-7. **Anais eletrônicos...** Disponível em:< [http://www.abepro.org.br/biblioteca/ENEGEP2003\\_TR0403\\_0902.pdf](http://www.abepro.org.br/biblioteca/ENEGEP2003_TR0403_0902.pdf)>. Acesso em: 29 set. de 2015.

LIBÂNIO, M. **Fundamentos de qualidade e tratamento de água**. Campinas-SP, Ed: Átomo, 444 p., 2005.

MENDONÇA, F. P. C. **Influência da mineração na geoquímica das águas superficiais e dos sedimentos no alto curso da bacia do Ribeirão Mata Porcos, Quadrilátero Ferrífero – Minas Gerais**. Contribuições às Ciências da Terra, Série M, v. 71, n. 307, 2012. ISSN: 85-230-0108-6.

MINDRISZ, A.C. **Avaliação da contaminação da água subterrânea de poços tubulares, por combustíveis fósseis, no município de Santo André, São Paulo: uma contribuição à gestão ambiental**. São Paulo, 2006. Tese (Doutorado), Universidade de São Paulo, Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, Tecnologia Nuclear-Materiais, 2006.

MME. **Anuário Estatístico do Setor de Transformação de Não Metálicos**. Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral, Departamento de Transformação e Tecnologia Mineral, Brasília-DF, 2015.

MME. **Plano Nacional de Mineração 2030** – Geologia, Mineração e Transformação Mineral. Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral, Brasília-DF, 2011.

MME. **Produto RT 38 – Perfil do Calcário**. Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral-SGM, Projeto de Assistência Técnica ao Setor de Energia, Brasília-DF, ago. 2009.

MOONEY, H. A.; EHRLICH, P. R. **Ecosystem Services: A Fragmentary History**. Natural Services: Societal Dependence on Natural Ecosystems. Washington: Island Press, p. 11-19, 1997.

NERI, A. C. **Avaliação da eficácia de medidas de recuperação ambiental em mineração de calcário para cimento**. Dissertação (Mestrado), Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo, São Paulo, 2007.

PATIENCE, J.F. **La calidad del agua puede ser un factor de rendimiento**. Pig World, Inc. St. Paul, M.N. – USA, 1992.

POLETO, C. **A exploração de pedreiras na região metropolitana de São Paulo no contexto do planejamento e gestão do território**. Dissertação (Mestrado), Universidade de São Paulo, Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Programa de Pós-Graduação em Geografia, 2006.

PREFEITURA DE CAÇAPAVA DO SUL. Disponível em: <<http://www.cacapava.rs.gov.br>>. Acesso em: 24 mar. 2017.

RAMOS, M. A. G. **Avaliação da qualidade da água dos rios Jaguari e Atibaia por meio do Índice de Qualidade de Água – IQA e ensaios toxicológicos**. Tese (Doutorado), Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Instituto de Biociências, Rio Claro, São Paulo, out. 2015.

RANGEL, A. C.; SIMÕES, N. T.; RITA, T. S.; CASARTELI, M. R. O. Os Minerais de Calcário e o Dolomito na Região do Pampa. In: Salão Internacional de Ensino, Pesquisa e Extensão, Universidade Federal do Pampa, Bagé, RS, 2015. **Anais eletrônicos...** Disponível em:

<[https://www.google.com.br/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwig6\\_j\\_ytAhVFG5AKHeXVAGUQFggjMAA&url=http%3A%2F%2Fp.orteiras.s.unipampa.edu.br%2Fpibid%2Ffiles%2F2015%2F08%2FIndicador-5-Banner-Mineralogia.pdf&usq=AFQjCNHRMRTILoZWMm\\_SA0qt50eBPjWeew&sig2=INwqWF7G XTPvAapspFI5Bg](https://www.google.com.br/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwig6_j_ytAhVFG5AKHeXVAGUQFggjMAA&url=http%3A%2F%2Fp.orteiras.s.unipampa.edu.br%2Fpibid%2Ffiles%2F2015%2F08%2FIndicador-5-Banner-Mineralogia.pdf&usq=AFQjCNHRMRTILoZWMm_SA0qt50eBPjWeew&sig2=INwqWF7G XTPvAapspFI5Bg)> . Acesso em: 13/04/2017.

RICHTER, C. A.; AZEVEDO NETO, J. M. de. **Tratamento de Água: Tecnologia atualizada**. São Paulo: Ed. Edgard Blücher Ltda, 7 ed. 332 p., 2007.



SAMPAIO, J. A., ALMEIDA, S. L. M. **Calcário e dolomito**. In: Livro Rochas e Minerais, Cap. XV. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2005. ISBN: 85-7227-204-6.

SANTI, A. M. Moura; SEVÁ FILHO, A. O. Combustíveis e riscos ambientais na fabricação de cimento: casos na região do calcário ao norte de Belo Horizonte e possíveis generalizações. In: II Encontro Nacional de Pós-Graduação e Pesquisa em Ambiente e Sociedade – ANPPAS, Campinas, 26 a 29 de maio, 2004. **Anais eletrônicos...** Disponível em: <[http://www.repositorio.ufop.br/bitstream/123456789/1295/1/EVENTO\\_Combust%C3%ADveisRiscosAmbientais.pdf](http://www.repositorio.ufop.br/bitstream/123456789/1295/1/EVENTO_Combust%C3%ADveisRiscosAmbientais.pdf)>. Acesso em: 23 out. de 2015.

SILVA, A. D. A. da. **Aproveitamento de rejeito de calcário do Cariri Cearense na formulação de argamassa**. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Pernambuco, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mineral, 2008.

SILVA, L. R. da; GOMES, C. H.; DESSART, R. L.; CAMARGO, S. Análise química da qualidade das águas em região de mineradoras de calcário. In: Salão Internacional de Ensino, Pesquisa e Extensão da Universidade Federal do Pampa, v. 7, n. 2, 2015. **Anais...** Disponível em: <<http://publicase.unipampa.edu.br/index.php/siepe/article/view/15797>>. Acesso em: 20 abr. 2017.

SILVA, R. C. A.; ARAÚJO, T. M. **Qualidade da água do manancial subterrâneo em áreas urbanas de Feira de Santana (BA)**. In: Revista Ciência & Saúde Coletiva, Rio de Janeiro, v. 8, n. 4, p. 1019-1028, 2003.

SPERLING, M. V. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. Belo Horizonte. Universidade Federal de Minas Gerais, Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, 243 p. 2005.

VIEIRA, E. A. A **(in) sustentabilidade da indústria da mineração no Brasil**. In: Revista Estação Científica (UNIFAP), Macapá, v. 1, n. 2, p. 01-15, 2011.

VISTUBA, J. P. **Remoção de ferro e manganês de água de abastecimento por meio de filtração adsortiva**. Dissertação (Mestrado), Florianópolis. Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, 110 p. 2010.

APÊNDICE A – Resultados das análises dos pontos de monitoramento

PM	Cor (UC)	Turbidez (UT)	Ferro (mg/L Fe)	Matéria Orgânica (mg/L O2)	Coliformes totais	Coliformes termotolerantes	OD (mg/L O2)	DBO <sub>5,20</sub> (mg/L O2)	pH	Condutividade elétrica µS/cm	Alcalinidade total (CaCO3 mg/L)	Dureza total (CaCO3 mg/L)	Cálcio (mg/L)	Magnésio (mg/L)
<b>COLETA 1 (Junho de 2016)</b>														
1	9,70	9,01	0,35	4,60	+	-	6,80	1,20	8,30	281,00	198,00	158,00	59,30	1,92
2	2,80	1,42	0,26	5,80	+	-	8,60	0,80	8,30	579,00	389,00	372,00	49,70	59,50
3	13,00	7,93	0,28	7,20	+	+	6,40	0,40	8,53	280,00	151,00	156,00	28,80	14,40
4	21,00	4,98	0,02	5,40	+	-	10,20	1,40	7,77	90,00	56,00	50,00	9,60	1,92
5	38,50	4,60	0,42	4,80	+	-	7,60	1,60	8,32	278,00	129,00	146,00	34,50	20,16
6	13,00	3,05	0,38	5,40	+	+	10,60	2,00	7,58	163,00	84,00	68,00	24,00	6,24
<b>COLETA 2 (Julho de 2016)</b>														
1	10,00	8,16	0,09	5,00	+	+	7,00	1,20	7,50	293,00	178,00	156,00	38,40	1,85
2	2,00	2,17	0,06	5,80	+	+	9,20	1,20	7,77	584,00	381,00	450,00	52,90	45,60
3	2,00	1,94	0,11	5,80	+	+	5,80	0,80	7,47	255,00	115,00	124,00	22,04	16,40
4	45,00	9,45	0,19	6,60	+	+	10,20	1,60	6,56	90,60	45,00	26,00	9,61	2,26
5	65,00	24,10	0,53	9,60	+	+	10,00	2,00	6,48	195,00	88,00	128,00	17,63	19,15
6	25,00	7,34	0,13	8,60	+	+	8,80	1,80	7,09	151,00	69,00	48,00	17,03	8,40
<b>COLETA 3 (Agosto de 2016)</b>														
1	8,00	6,30	0,21	4,20	+	+	7,00	1,40	9,09	321,00	64,00	121,00	36,40	2,02
2	2,00	1,41	0,35	5,60	+	+	9,20	1,20	8,75	475,00	139,00	313,00	42,70	51,56
3	2,00	1,98	0,33	8,80	+	+	6,60	0,40	8,67	268,00	66,00	149,00	25,60	14,68
4	35,00	8,21	0,02	4,50	+	+	11,60	2,80	8,77	293,00	62,00	141,00	9,60	1,86
5	45,00	10,70	0,38	11,40	+	+	7,00	2,00	8,90	810,00	25,00	35,00	33,40	19,74
6	35,00	6,34	0,33	8,60	+	+	8,80	2,00	8,02	122,10	24,00	55,00	26,40	7,60

PM	Cor (UC)	Turbidez (UT)	Ferro (mg/L Fe)	Matéria Orgânica (mg/L O2)	Coliformes totais	Coliformes termotolerantes	OD (mg/L O2)	DBO <sub>5,20</sub> (mg/L O2)	pH	Condutividade elétrica µS/cm	Alcalinidade total (CaCO3 mg/L)	Dureza total (CaCO3 mg/L)	Cálcio (mg/L)	Magnésio (mg/L)
----	----------	---------------	-----------------	----------------------------	-------------------	----------------------------	--------------	-------------------------------	----	------------------------------	---------------------------------	---------------------------	---------------	-----------------

**COLETA 4 (Setembro de 2016)**

1	12,00	2,80	0,22	4,60	+	+	8,20	2,00	9,10	295,00	206,00	153,00	41,50	1,78
2	2,20	3,20	0,20	6,20	+	+	8,00	1,60	8,54	567,00	416,00	415,00	52,90	69,48
3	9,50	2,00	0,15	7,00	+	+	5,20	0,80	8,88	265,00	187,00	186,00	22,04	15,14
4	26,00	6,20	0,01	4,00	+	+	12,00	2,00	8,12	302,00	59,00	46,00	9,61	1,98
5	32,50	2,60	0,21	3,80	+	+	6,60	1,60	7,56	357,00	122,00	198,00	17,63	18,75
6	29,30	4,20	0,15	5,20	+	+	6,40	1,40	7,98	156,00	95,00	72,00	17,03	8,90

**COLETA 5 (Outubro de 2016)**

1	10,50	2,60	0,15	5,20	+	+	6,60	2,20	7,80	305,00	198,00	187,00	55,40	1,95
2	2,50	3,00	0,18	5,20	+	+	6,00	1,80	8,15	498,00	299,00	401,00	44,80	58,74
3	11,00	2,10	0,15	6,20	+	+	5,80	1,20	8,11	243,00	189,00	126,00	28,50	15,98
4	32,00	6,80	0,01	2,80	+	+	11,80	1,80	7,46	241,00	67,00	98,00	9,80	1,79
5	54,00	2,20	0,01	3,60	+	+	6,00	1,60	7,80	624,00	101,00	147,00	36,70	21,04
6	18,70	4,30	0,01	5,00	+	+	6,40	1,40	7,85	192,00	75,00	59,00	26,10	7,40

**COLETA 6 (Novembro de 2016)**

1	12,00	3,20	0,24	5,00	+	+	6,60	2,00	8,54	312,00	111,00	134,00	51,00	1,96
2	2,00	2,20	0,22	6,00	+	+	7,40	1,60	8,40	536,00	308,00	487,00	59,40	70,40
3	4,50	2,00	0,18	7,20	+	+	5,00	0,60	7,81	246,00	119,00	148,00	31,40	15,14
4	28,50	6,00	0,00	4,60	+	+	12,20	2,40	9,02	276,00	56,00	96,00	8,96	1,87
5	36,50	2,20	0,28	3,60	+	+	6,80	1,60	8,47	543,00	94,00	79,00	24,10	22,09
6	31,00	4,00	0,18	5,50	+	+	6,60	1,20	7,95	179,00	67,00	66,00	31,50	8,60

<b>PM</b>	<b>Cor (UC)</b>	<b>Turbidez (UT)</b>	<b>Ferro (mg/L Fe)</b>	<b>Matéria Orgânica (mg/L O2)</b>	<b>Coliformes totais</b>	<b>Coliformes termotolerantes</b>	<b>OD (mg/L O2)</b>	<b>DBO<sub>5,20</sub> (mg/L O2)</b>	<b>pH</b>	<b>Condutividade elétrica µS/cm</b>	<b>Alcalinidade total (CaCO3 mg/L)</b>	<b>Dureza total (CaCO3 mg/L)</b>	<b>Cálcio (mg/L)</b>	<b>Magnésio (mg/L)</b>
-----------	-----------------	----------------------	------------------------	-----------------------------------	--------------------------	-----------------------------------	---------------------	-------------------------------------	-----------	-------------------------------------	--	----------------------------------	----------------------	------------------------

**COLETA Arroio Salso (Novembro de 2016)**

7	10,00	8,06	0,38	5,20	+	-	7,00	1,80	7,56	105,00	46,00	68	-	-
---	-------	------	------	------	---	---	------	------	------	--------	-------	----	---	---

**COLETA Arroio Mangueirão (Novembro de 2016)**

8	2,00	2,06	0,22	6,20	+	+	9,00	1,20	7,47	82,00	42,00	71,00	-	-
---	------	------	------	------	---	---	------	------	------	-------	-------	-------	---	---

APÊNDICE B – Imagens dos Pontos de Monitoramentos.

**Ponto de monitoramento 1**



**Ponto de monitoramento 2**



**Ponto de monitoramento 3**





**Ponto de monitoramento 4**



**Ponto de monitoramento 5**



**Ponto de monitoramento 6**



**Ponto de monitoramento 7**



**Ponto de monitoramento 8**

