

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA

MAB RAÍSA CORRÊA LEÃO SILVA

**QUALIDADE DAS ÁGUAS FLUVIAIS EM ÁREA SOB INFLUÊNCIA DIRETA DA
MINERAÇÃO DE CALCÁRIO EM CAÇAPAVA DO SUL – RS: PERÍODO DE 2007-2016**

**Caçapava do Sul
2018**

MAB RAÍSA CORRÊA LEÃO SILVA

**QUALIDADE DAS ÁGUAS FLUVIAIS EM ÁREA SOB INFLUÊNCIA DIRETA DA
MINERAÇÃO DE CALCÁRIO EM CAÇAPAVA DO SUL – RS: PERÍODO DE 2007-2016**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação *stricto sensu* em Tecnologia Mineral, da Universidade Federal do Pampa, como parte da exigência para obtenção do grau de Mestre em Tecnologia Mineral.

Orientador: Prof. Dr. Vicente Guilherme Lopes.

**Caçapava do Sul
2018**

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).

S586q SILVA, MAB RAÍSA CORREA LEO
QUALIDADE DAS ÁGUAS FLUVIAIS EM ÁREA SOB INFLUÊNCIA DIRETA
DA MINERAÇÃO DE CALCÁRIO EM CAÇAPAVA DO SUL - RS: PERÍODO DE
2007-2016 / MAB RAÍSA CORREA LEO SILVA.
139 p.

Dissertação (Mestrado)-- Universidade Federal do Pampa,
MESTRADO EM TECNOLOGIA MINERAL, 2018.

"Orientação: VICENTE GUILHERME LOPES".

1. RECURSOS HÍDRICOS. 2. MINERAÇÃO. 3. MONITORAMENTO
AMBIENTAL. 4. PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS. 5. RESOLUÇÃO CONAMA
357/2005. I. Título.

MAB RAÍSA CORRÊA LEÃO SILVA

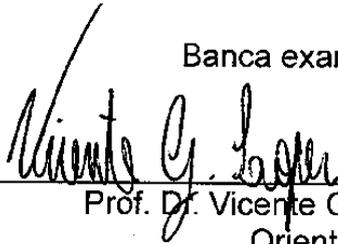
QUALIDADE DAS ÁGUAS FLUVIAIS EM ÁREA SOB INFLUÊNCIA DIRETA DA MINERAÇÃO
DE CALCÁRIO EM CAÇAPAVA DO SUL – RS: PERÍODO DE 2007- 2016

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

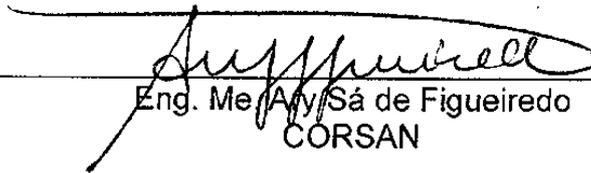
Área de concentração: Gestão Ambiental e Sustentabilidade na mineração.

Dissertação defendida e aprovada em: 14/12/2018

Banca examinadora:



Prof. Dr. Vicente Guilherme Lopes
Orientador
UNIPAMPA



Eng. Me. Ary Sá de Figueiredo
CORSAN



Geol. Dr.ª Juliana Young
UNIPAMPA



Prof. Dr. Pedro Daniel da Cunha Kemerich
UNIPAMPA

Dedico este trabalho aos amores da
minha vida, meus grandes incentivadores:
Marcelo e Tob. Obrigada por vocês
existirem.

AGRADECIMENTOS

À Deus por me guiar e iluminar meu caminho me dando forças para seguir em frente, mesmo nos momentos difíceis.

À Universidade Federal do Pampa e seus servidores.

À Prefeitura Municipal de Caçapava do Sul pela disponibilização dos dados.

Ao meu orientador Professor Dr. Vicente Guilherme Lopes pela amizade, compreensão, apoio, incentivo e oportunidade de mais esta orientação.

Aos amores da minha vida, meus companheiros Marcelo e Tob, vocês são peças insubstituíveis dessa engrenagem, meus maiores incentivadores. Nos momentos de desespero, nas longas madrugadas de escrita, quando tudo parecia impossível, vocês sempre estiveram comigo me tranquilizando, apoiando e o mais importante acreditando em mim e no meu potencial, fazendo com que apesar das dificuldades e das correrias do dia-a-dia, eu não desanimasse e viesse a concluir mais esta etapa tão importante para gente.

Ao colega e amigo, Engenheiro Nilvo Tôrres Dorneles, pela grande colaboração e apoio ao desenvolvimento deste trabalho, serei eternamente grata.

À minha família, principalmente minha mãe Ana Flavia e minhas irmãs Rhiana, Luiza e Adriana.

Ao coordenador do Programa e membro da banca examinadora professor Dr. Pedro Daniel da Cunha Kemerich por toda a atenção e juntamente aos demais membros geóloga Juliana Young e engenheiro Ary Sá de Figueiredo pela disponibilidade e importantes contribuições ao trabalho.

À todos que direta ou indiretamente contribuíram para realização deste trabalho.

“Se não estivermos dispostos a pagar um preço por nossos valores, se não estivermos dispostos a fazer alguns sacrifícios para realizá-los, então deveríamos nos perguntar se realmente acreditamos neles”.

Barack Obama

RESUMO

O município de Caçapava do Sul é o maior produtor de calcário dolomítico do estado do Rio Grande do Sul sendo, a mineração uma das principais bases de sua economia. Dentre os impactos advindos da referida atividade está a interferência nos recursos hídricos, assim o monitoramento das águas caracteriza-se como uma importante ferramenta de gestão e controle ambiental. Deste modo, o presente estudo objetivou diagnosticar a qualidade das águas superficiais localizadas em área de influência da mineração de calcário. Foram avaliados ao longo de dez anos, no período 2007 a 2016, treze pontos de monitoramento situados nos Arroios Mangueirão, Salso e Irapuazinho. Destes pontos, levando em consideração o fluxo d'água dos corpos hídricos estudados, quatro antecedem a mineração, oito abrangem a área de mineração e um deles está localizado após a atividade. Foram avaliados os seguintes parâmetros físico-químicos: alcalinidade, carbono orgânico, condutividade, DBO5, DQO, fósforo, nitrato, oxigênio dissolvido, pH e sólidos totais, posteriormente os resultados foram confrontados com a Resolução CONAMA nº 357/2005 a fim de identificar suas respectivas classificações. A análise da média para cada parâmetro ao longo dos anos demonstrou todos dentro dos limites estabelecidos. Quando avaliados individualmente, o Arroio Irapuazinho, onde se situa o único ponto que após a mineração, foi classificado como classe 1 em nove dos dez anos de estudo, à exceção foi registrada no ano de 2012 onde o parâmetro pH ficou 0,34 acima do limite tolerado. Através de determinação do Coeficiente de Correlação Linear de Pearson entre precipitação pluviométrica e os parâmetros estudados verificou-se forte correlação positiva com o carbono orgânico e forte correlação negativa com os parâmetros alcalinidade, condutividade e nitrato. Dentre os parâmetros analisados a alcalinidade, condutividade, sólidos totais e pH foram os que mais demonstraram relação com o desenvolvimento da atividade minerária.

Palavras-Chave: Recursos hídricos. Resolução CONAMA 357/2005. Monitoramento ambiental. Parâmetros físico-químicos.

ABSTRACT

The municipality of Caçapava do Sul is the largest producer of dolomitic limestone in the state of Rio Grande do Sul, with mining being one of the main bases of its economy. Among the impacts arising from this activity is the interference in water resources, so the monitoring of water is an important tool for environmental management and control. Thus, the present study aimed to diagnose the quality of the surface waters located in the limestone mining area. Ten monitoring points located in the Mangrove, Salso and Irapuazinho Rivers were evaluated during ten years, in the period 2007 to 2016. From these points, taking into account the water flow of the studied water bodies, four precede the mining, eight cover the mining area and one of them is located after the activity. The following physicochemical parameters were evaluated: alkalinity, organic carbon, conductivity, BOD5, COD, phosphorus, nitrate, dissolved oxygen, pH and total solids, after which the results were compared with CONAMA Resolution 357/2005 to identify their respective classifications. The analysis of the mean for each parameter over the years has demonstrated all within the established limits. When evaluated individually, Arroio Irapuazinho, where the only point that after mining was located, was classified as class 1 in nine of the ten years of study, except for the year of 2012 where the pH parameter was 0.34 above tolerated limit. By determining the Pearson Linear Correlation Coefficient between rainfall and the parameters studied, there was a strong positive correlation with the organic carbon and a strong negative correlation with the parameters alkalinity, conductivity and nitrate. Among the analyzed parameters, alkalinity, conductivity, total solids and pH were the ones that showed the greatest relation with the development of the mining activity.

Keywords: Water resources. Resolution CONAMA 357/2005. Environmental monitoring. Physico-chemical parameters.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1- Principais etapas lavra a céu aberto de calcário.....	24
Figura 2-Produção de calcário agrícola no Brasil no período de 2007-2016.....	31
Figura 3-Produção de calcário agrícola no Rio Grande do Sul no período de 2007-2016.	32
Figura 4-Dez municípios que registraram os maiores valores da produção mineral comercializada no Rio Grande do Sul no ano de 2016.....	35
Figura 5 - Localização da área de estudo.	48
Figura 6- Classificação de Köppen para o Estado do Rio Grande do Sul	50
Figura 7-Distribuição média mensal da precipitação pluviométrica. Estação automática Caçapava do Sul-A812 (2007-2016).....	51
Figura 8 -Distribuição anual da precipitação pluviométrica. Estação automática Caçapava do Sul-A812 (2007-2016).	52
Figura 9 - Mapa geológico área de estudo.	53
Figura 10 - Localização da Bacia Hidrográfica do Baixo Jacuí.....	55
Figura 11 - Detalhamento UPG- Capané	56
Figura 12 -Estimativas de demandas hídricas superficiais anuais na Bacia do Baixo Jacuí.....	57
Figura 13 -Municípios com as maiores incidências de extração mineral na Bacia G070	57
Figura 14 - Principais substâncias de extração mineral na Bacia G070.....	58
Figura 15 - Localização dos Arroios Mangueirão, Salso e Irapuazinho na área de estudo.	60
Figura 16 - Produção de calcário no município de Caçapava do sul.....	62
Figura 17 - Mapa de localização dos pontos de monitoramento da área de estudo.	64
Figura 18 - Fluxograma com a distribuição dos pontos de monitoramento ao longo dos cursos d'água.	65
Figura 19 - Evolução da alcalinidade nos anos de estudo por ponto de monitoramento	69
Figura 20 - Média da alcalinidade nos anos de estudo por ponto de monitoramento	70
Figura 21- Análise da alcalinidade nos pontos MP1, SP1 e IP1.....	71
Figura 22- Evolução do carbono orgânico nos anos de estudo por ponto de monitoramento	73
Figura 23 - Média de carbono orgânico total nos anos de estudo por ponto de monitoramento	74
Figura 24- Análise carbono orgânico total nos pontos MP1, SP1 e IP1	75

Figura 25 - Evolução da condutividade nos anos de estudo por ponto de monitoramento	77
Figura 26- Média de condutividade nos anos de estudo por ponto de monitoramento	78
Figura 27 -Análise condutividade nos pontos MP1, SP1 e IP1	79
Figura 28-Evolução da DBO5 nos anos de estudo por ponto de monitoramento.....	81
Figura 29- Média da DBO5 nos anos de estudo por ponto de monitoramento	82
Figura 30 - Média da DBO5 nos pontos de monitoramento comparados com os limites da Resolução CONAMA 357/2005.....	83
Figura 31 -Evolução da DQO nos anos de estudo por ponto de monitoramento	84
Figura 32 - Média da DQO nos anos de estudo por ponto de monitoramento	86
Figura 33- Evolução do Fósforo total nos anos de estudo por ponto de monitoramento	88
Figura 34-Média do Fósforo total nos anos de estudo por ponto de monitoramento	89
Figura 35- Média do Fósforo total nos pontos de monitoramento comparados com os limites da Resolução CONAMA 357/2005	90
Figura 36 - Evolução do Nitrato nos anos de estudo por ponto de monitoramento...	91
Figura 37 - Média do Nitrato nos anos de estudo por ponto de monitoramento.....	93
Figura 38- Média do Nitrato nos pontos de monitoramento comparados com os limites da Resolução CONAMA 357/2005.....	94
Figura 39- Evolução do Oxigênio dissolvido nos anos de estudo por ponto de monitoramento	96
Figura 40- Média de oxigênio dissolvido nos anos de estudo por ponto de monitoramento	97
Figura 41- Análise do oxigênio dissolvido nos pontos MP1,SP1 e IP1	98
Figura 42- Média de oxigênio dissolvido nos pontos de monitoramento comparados com os limites da Resolução CONAMA 357/2005.....	98
Figura 43- Evolução do pH nos anos de estudo por ponto de monitoramento.....	100
Figura 44- Média de pH nos anos de estudo por ponto de monitoramento.....	101
Figura 45-Análise do pH nos pontos MP1,SP1 e IP1	102
Figura 46-Média de pH nos pontos de monitoramento comparados com os limites da Resolução CONAMA 357/2005.....	103
Figura 47- Evolução dos sólidos totais nos anos de estudo por ponto de monitoramento	104
Figura 48- Média de sólidos totais nos anos de estudo por ponto de monitoramento	105
Figura 49- Análise de sólidos totais nos pontos MP, SP1 e IP1	106

Figura 50-Média de Sólidos totais nos pontos de monitoramento comparados com os limites da Resolução CONAMA 357/2005	107
Figura 51- Correlação linear positiva forte: Alcalinidade x Condutividade.....	114
Figura 52- Correlação linear positiva forte: Alcalinidade x Nitrato	115
Figura 53- Correlação linear positiva forte: Condutividade x Nitrato	115
Figura 54- Correlação linear negativa forte: DBO5 x DQO	116
Figura 55- Correlação linear positiva: Carbono orgânico x Precipitação	118
Figura 56- Correlação linear negativa: Alcalinidade x Precipitação.....	119
Figura 57- Correlação linear negativa: Condutividade x Precipitação	119
Figura 58-Correlação linear negativa: Nitrato x Precipitação	120

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Classificação das rochas carbonáticas com base na porcentagem de MgO.	22
Tabela 2-Especificações e garantias mínimas dos corretivos de acidez do solo	26
Tabela 3- Produção e consumo do calcário agrícola no estado do Rio Grande do Sul (2007-2016).....	33
Tabela 4- Quantidade média de trabalhadores empregados na produção mineral no município de Caçapava do Sul– 2012 a 2016	35
Tabela 5- Limites dos Parâmetros Analisados no trabalho para Enquadramento nas Classes das Águas Doces no Brasil constantes na Resolução CONAMA 357/2005.	46
Tabela 6 -Inserção da Bacia Hidrográfica no município de Caçapava do Sul.	58
Tabela 7-Denominação dos pontos de monitoramento	63
Tabela 8 - Métodos utilizados para os referidos ensaios	66
Tabela 9 - Resultados analíticos para alcalinidade (2007-2016).....	68
Tabela 10- Resultados analíticos para carbono orgânico (2007-2016).....	72
Tabela 11 - Resultados analíticos para condutividade (2007-2016).....	76
Tabela 12- Resultados analíticos para DBO5 (2007-2016).....	80
Tabela 13- Resultados analíticos para DQO (2007-2016)	84
Tabela 14 - Resultados analíticos para Fósforo total (2007-2016).....	87
Tabela 15- Resultados analíticos para Nitrato (2007-2016)	91
Tabela 16- Resultados analíticos para Oxigênio dissolvido (2007-2016).....	95
Tabela 17- Resultados analíticos para pH (2007-2016)	99
Tabela 18-Resultados analíticos para Sólidos totais (2007-2016)	103
Tabela 19- Classificação Arroio Mangueirão por ano de coleta conforme Resolução CONAMA 357/2005.....	108
Tabela 20- Classificação Arroio do Salso por ano de coleta conforme Resolução CONAMA 357/2005.....	110
Tabela 21- Classificação Arroio Irapuazinho por ano de coleta conforme Resolução CONAMA 357/2005.....	112
Tabela 22- Correlação de Pearson para os parâmetros físico-químicos entre si....	113
Tabela 23- Precipitação pluviométrica registrada.....	117
Tabela 24- Correlação de Pearson parâmetros x precipitação pluviométrica	117

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABPC - Associação Brasileira dos Produtores de Cal
ABRACAL - Associação Brasileira dos Produtores de Calcário Agrícola
ANA- Agência Nacional de Águas
ANM- Agência Nacional de Mineração
ANEPAC - Associação Nacional das Entidades de Produtores de Agregados para Construção
°C- graus Celsius
CaO – Óxido de cálcio
CaCO₃- Carbonato de cálcio
CETEM- Centro de Tecnologia Mineral
CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
CMPF- Complexo Metamórfico Passo Feio
CM - Código de Mineração
CNRH - Conselho Nacional de Recursos Hídricos
CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente
COT- Carbono orgânico total
CPRM - Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais
CRH- Conselho de Recursos Hídricos
DBO- Demanda bioquímica de oxigênio ou demanda biológica de oxigênio
DNPM - Departamento Nacional da Produção Mineral
DQO- Demanda química de oxigênio
DRH – Departamento de Recursos Hídricos
FEPAM- Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luiz Roessler
IBAMA - Instituto Brasileiro de Meio Ambiente e Recursos Naturais Renováveis
IBRAM - Instituto Brasileiro de Mineração
IN- Instrução normativa
IP1- Irapuazinho principal 1
IPEA- Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada
LD- Limite de detecção
MgO – Óxido de magnésio
MAPA - Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento

MC1- Mangueirão contribuinte 1
MC2- Mangueirão contribuinte 2
mg/LO₂ - Miligramas por litro de oxigênio
mm- Milímetros
MMA- Ministério do Meio Ambiente
MME - Ministério de Minas e Energia
MP1- Mangueirão principal 1
MP2- Mangueirão principal 2
MP3- Mangueirão principal 3
MP4- Mangueirão principal 4
ND- Não detectável
OD- Oxigênio dissolvido
pH- potencial de hidrogênio
PRNT- Poder Relativo de Neutralização Total
PVC- Policloreto de polivinila
r- coeficiente de correlação Pearson
SC1- Salso contribuinte 1
SC2- Salso contribuinte 2
SDA - Secretaria de Defesa Agropecuária
SGM - Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral
SEMA – Secretaria do Ambiente e Desenvolvimento Sustentável
SGCS – Suíte Granítica Caçapava do Sul
SP1- Salso principal 1
SP2- Salso principal 2
SP3- Salso principal 3
SP4- Salso principal 4
t - toneladas
UPGs- Unidades de Planejamento e Gestão
μS/cm- Micro Siemens por centímetro.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	19
1.1 Objetivos	20
1.1.1 Objetivos Gerais	20
1.1.2 Objetivos Específicos	21
1.2 Justificativa.....	21
2. ESTADO DA ARTE	22
2.1 O que é calcário?	22
2.2 Formação dos calcários	23
2.3 O calcário e seu beneficiamento.....	24
2.4 Principais aplicações do calcário	25
2.4.1 Uso do calcário na Agricultura	25
2.4.2 Uso do calcário na Indústria de cal	27
2.4.3 Uso do calcário no tratamento da água	28
2.4.4 Uso do calcário na construção civil	28
2.4.5 Uso do calcário na indústria de cimento.....	29
2.4.6 Uso do calcário na indústria de plásticos.....	29
2.4.7 Uso do Calcário na Indústria de vidros	30
2.5 Panorama da Mineração de calcário no Brasil	30
2.6 Panorama da Mineração de calcário no Rio Grande do Sul	31
2.7 Impactos Ambientais na Mineração de calcário	33
2.8 Aspectos legais: mineração e meio ambiente	36
2.9 Recursos hídricos e mineração	37
2.9.1 Parâmetros para avaliação da qualidade da água.....	38
2.9.1.1. Alcalinidade	38
2.9.1.2. Carbono orgânico.....	39
2.9.1.3. Condutividade	39

2.9.1.4 DBO ₅	40
2.9.1.5. DQO	41
2.9.1.6. Fósforo Total	41
2.9.1.7. Nitrato.....	42
2.9.1.8. Oxigênio dissolvido	42
2.9.1.9. pH.....	43
2.9.1.10 Sólidos Totais.....	44
2.10 Resolução CONAMA 357/2005	45
3. MATERIAIS E MÉTODOS	47
3.1 Caracterização da área de estudo	47
3.1.1. Localização e acesso	47
3.1.2 Histórico da mineração de calcário em Caçapava do Sul	48
3.1.3 Clima.....	50
3.1.4 Balanço Hídrico	51
3.1.5 Geologia local.....	53
3.1.6. Hidrografia	54
3.1.7 Enquadramento fitogeográfico	60
3.2 Produção de calcário	61
3.3 Pontos de Monitoramento do estudo	62
3.4 Parâmetros de qualidade da água	65
3.5 Coeficiente de Correlação de Pearson.....	66
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	67
4.1 Alcalinidade	68
4.2 Carbono orgânico	72
4.3 Condutividade	75
4.4 DBO ₅	79
4.5 DQO	83

4.6 Fósforo	86
4.7 Nitrato.....	90
4.8 Oxigênio dissolvido	94
4.9 pH	99
4.10 Sólidos Totais.....	103
4.11 Classificação dos cursos d'água por ano conforme Resolução CONAMA 357/2005	107
4.12 Aplicação do Coeficiente de Correlação de Pearson para os parâmetros avaliados	112
4.12.1 Coeficiente de Correlação de Pearson entre os parâmetros físico- químicos avaliados	112
4.12.2 Aplicação do Coeficiente de Correlação de Pearson parâmetros físico-químicos avaliados com a precipitação pluviométrica	116
5. CONCLUSÃO	121
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	124
APÊNDICE A- Gráficos de correlação de Pearson entre os parâmetros físico-químicos avaliados.....	132
APÊNDICE B- Gráficos de correlação de Pearson dos parâmetros físico- químicos avaliados com a precipitação pluviométrica.....	138

1. INTRODUÇÃO

No mundo moderno fica cada vez mais evidente a importância decisiva da mineração para o desenvolvimento, visto que, os elementos extraídos da natureza estão presentes direta ou indiretamente em todos os produtos utilizados pelo homem (KOPEZINSKI, 2000). Não se poderia arquitetar o atual nível de desenvolvimento, conforto e bem-estar disponibilizados ao homem, sem reconhecer a ampla participação e importância dos recursos minerais neste processo.

Para o atendimento dos padrões de vida da sociedade atual, necessitamos de uma adequada oferta de bens minerais, visto que, estes são essenciais não apenas as cadeias produtivas, mas também as manifestações culturais da humanidade, como por exemplo: o avião, o carro, o computador, as igrejas, as esculturas, os instrumentos musicais e tantos outros nada mais, nada menos que bens minerais transformados (IBRAM; ANA, 2006).

O município de Caçapava do Sul tem como base de sua economia o setor primário na pecuária, agricultura, indústria e mineração, que é responsável pela produção de mais de 85% do calcário do Estado do Rio Grande do Sul, conforme dados disponibilizados pela prefeitura municipal. Esse calcário do tipo dolomítico, é destinado à produção de argamassa e cal, tendo seu uso em diversas áreas tais como construção civil e agricultura onde é usado na correção de acidez dos solos.

A maioria das minas de calcário, em todo o mundo, são lavradas a céu aberto, principalmente por motivos de custos mais reduzidos, sendo habitualmente chamadas de pedreiras. 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 (SILVA, 2009a).

Ainda, conforme Silva (2009a), no que diz respeito ao uso da água na mineração e no beneficiamento do calcário, não há significativo uso direto no processo, desta forma, a demanda sobre os recursos hídricos é pouca. No entanto, 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.

Em ambientes completamente naturais à qualidade química, física e biológica das águas fluviais apresenta grande variabilidade sendo 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 meteóricas. Além dos fatores naturais, as diversas atividades humanas (agrícolas, urbano-industriais e energético-mineradoras) também alteram a sua qualidade sendo comum principalmente em bacias mais antropizadas (FRITZSONS et al, 2009).

A poluição da água é qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas que possa importar em prejuízo à saúde, bem-estar das populações e, ainda, afetar seu uso para fins agrícolas, industriais, comerciais, recreativos e, especialmente, a existência da fauna aquática (CONAMA, 2005). Ainda, Sperling (1996) define por poluição das águas o acréscimo de qualquer substância ou forma de energia que, direta ou indiretamente, modifiquem a natureza do corpo d'água vindo a prejudicar os legítimos usos que dele são feitos.

Padrões foram estabelecidos com o intuito de se avaliar a qualidade da água, determinando, assim, a máxima concentração de elementos ou compostos que podem estar presentes na água de forma a não comprometer sua utilização para um determinado fim. No Brasil, o Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA classifica as águas segundo seus usos predominantes, e para cada classe estabelece os requisitos de qualidade que o manancial deve obedecer (BENETTI e BIDONE, 2001).

Diante do exposto, este trabalho buscou avaliar a qualidade das águas em área de influência da mineração de calcário ao longo de um período de dez anos, através de amostras coletadas anualmente, procurando diagnosticar se a referida atividade está alterando a qualidade dos cursos d'água em seu entorno ao longo do tempo. Para isto as os cursos d'água foram classificados conforme Resolução CONAMA nº 357/2005.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivos Gerais

O objetivo geral do presente estudo é analisar a influência das atividades de mineração de calcário na alteração da qualidade de águas fluviais no período 10 anos (2007-2016).

1.1.2 Objetivos Específicos

A fim de se alcançar o objetivo geral, são propostos os seguintes objetivos específicos:

- a. Avaliar a variação dos parâmetros em cada ponto de coleta ao longo dos anos estudados;
- b. Determinar a correlação linear entre os parâmetros avaliados entre si e com a precipitação pluviométrica;
- c. Verificar se as alterações dos parâmetros estudados ao longo do período podem estar relacionadas à atividade minerária;
- d. Classificar os cursos d'água conforme classes de uso segundo Resolução CONAMA 357/2005;

1.2 Justificativa

Há muitos estudos que buscam analisar a influência das atividades minerárias na alteração da qualidade dos cursos hídricos, porém normalmente estes estudos são realizados em um curto período o que não demonstra a real influência da atividade ao longo do tempo.

Sabendo-se que o monitoramento de qualidade das águas é um dos mais importantes instrumentos da gestão ambiental e consiste, basicamente, no acompanhamento sistemático dos aspectos qualitativos das águas, sendo um elemento primordial na conservação do meio ambiente, o presente trabalho justifica-se tendo em vista a necessidade de uma avaliação mais minuciosa sobre qual o real impacto da mineração de calcário nos padrões de qualidade dos cursos hídricos ao longo de um espaço temporal mais significativo.

Diante do exposto e da necessidade de se preservar os recursos hídricos, a compreensão da dinâmica e da interação existente entre o ser humano e o meio ambiente constitui, atualmente, um grande desafio, ao mesmo tempo em que possibilita o reconhecimento da real fragilidade do meio quando exposto a atividades potencialmente poluidoras.

2. ESTADO DA ARTE

2.1 O que é calcário?

De forma genérica conceitua-se calcário como sendo a rocha de origem sedimentar formada predominantemente de carbonato de cálcio podendo, em razão da estrutura e/ou presença de outro composto, receber denominações diversas. Quando metamorfizado passam a denominar-se mármore (PARAHYBA, 2009).

O termo calcário refere-se a qualquer rocha que contenha mais de 50% de carbonato de cálcio ou de cálcio e magnésio. Ainda, pode conter também outros carbonatos como a siderita (FeCO_3) e magnesita (MgCO_3), além de impurezas como a matéria orgânica, silicatos, fosfatos, sulfetos, sulfatos, entre outros (SAMPAIO; ALMEIDA, 2008).

Conforme Sampaio e Almeida (2008) as principais rochas carbonatadas mais comercializadas, em todo mundo, são calcário e dolomito. Os calcários são rochas sedimentares compostas, principalmente por calcita (CaCO_3), enquanto os dolomitos são também rochas sedimentares compostas, essencialmente, pelo mineral dolomita ($\text{CaCO}_3\text{MgCO}_3$).

A calcita e a dolomita quando puros são minerais claros ou brancos, porém devido às impurezas como a areia, argila, óxido e hidróxido de ferro e material orgânico a rocha pode assumir expressiva variedade de cores. (NAHASS; SEVERINO, 2003).

As rochas carbonáticas são classificadas em cinco classes conforme o teor de óxido de magnésio (MgO) presente em sua composição segundo Pettijohn (1957) e Bigarella e Salamuni (1956), evidenciado na Tabela 1:

Tabela 1- Classificação das rochas carbonáticas com base na porcentagem de MgO.

Denominação	% MgO (Pettijohn)	% MgO (Bigarella & Salamuni)
Calcário calcítico	0,0 a 1,1	0,0 a 1,1
Calcário magnesiano	1,1 a 2,1	1,1 a 4,3
Calcário dolomítico	2,1 a 10,8	4,3 a 10,5
Dolomítico calcítico	10,8 a 19,5	10,5 a 19,1
Dolomito	19,5 a 21,7	19,1 a 22,0

Fonte: Fonte: Pettijohn (1957) e Bigarella e Salamuni (1956).

Representando aproximadamente 15% de todas as rochas sedimentares as reservas de calcário, ou rochas carbonatadas, são praticamente intermináveis, no entanto, sua ocorrência com elevada pureza corresponde a menos de 10% das reservas de carbonatos lavradas mundialmente (FREAS; HAYDEN; PYOR, 2006).

2.2 Formação dos calcários

O calcário é uma rocha sedimentar formada pela deposição de materiais carbonáticos, através da precipitação química ou pelo acúmulo de agentes biogênicos.

Conforme Sampaio e Almeida (2008) o cálcio é um dos elementos mais comuns da crosta terrestre, estimado em 3 a 4%, estando presente nas rochas ígneas. Os processos intempéricos acabam por conduzir esse elemento para as águas, de modo que quando chega até o oceano parte do carbonato de cálcio dissolvido precipita-se devido a sua baixa solubilidade formando assim o calcário, cabe evidenciar que fatores tais como evaporação e as variações de temperatura podem aumentar esta precipitação. O carbonato de cálcio oriundo deste procedimento resulta em um calcário de alta pureza química.

Outro mecanismo capaz de formar depósitos de calcário é a deposição biogênica, que por sua vez representa a maior parcela do calcário existente atualmente. Diversas variedades de vidas marinhas (moluscos, corais, equinodermos, etc.) formam conchas e esqueletos que são estruturas praticamente de carbonato de cálcio puro, sendo depositados no fundo do mar, dando origem com o passar do tempo, às rochas carbonáticas. Os sedimentos de calcário derivados desse processo podem contaminar-se durante a deposição afetando a sua composição química e conseqüentemente a natureza do calcário resultante (SAMPAIO; ALMEIDA, 2008).

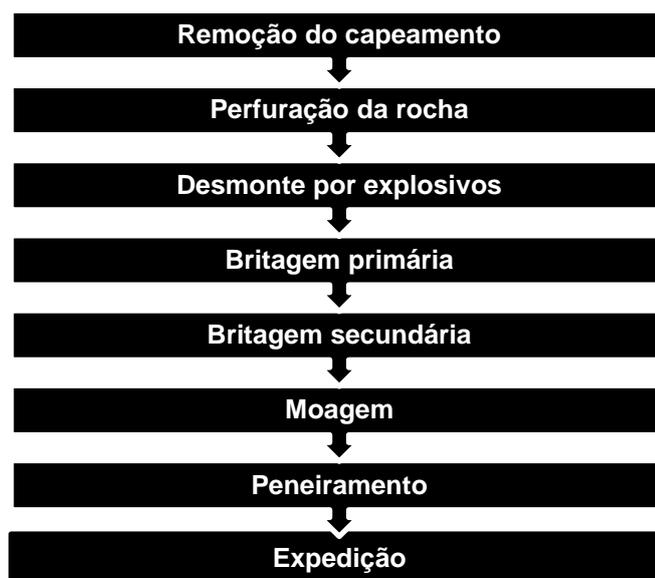
O dolomito é uma rocha normalmente mais dura e densa que o calcário contendo em sua composição principalmente carbonato de cálcio e magnésio. Acredita-se que os calcários magnesianos ou dolomíticos foram formados pelo próprio calcário calcítico através da dolomitização, um processo diagenético envolvendo a substituição de cálcio por magnésio. Isto pode ocorrer tanto depois da deposição do calcário (troca com água do mar), ou após a litificação pela troca com soluções com elevado teor de magnésio (NAHASS; SEVERINO, 2003).

2.3 O calcário e seu beneficiamento

A maior parte das minas de calcário, em todo o mundo, é lavrada a céu aberto, conhecidas popularmente como pedreiras (SILVA, 2009a).

Evidencia-se que primeira etapa do processo de exploração de calcário diz respeito ao pedido de concessão de lavra realizado junto a Agência Nacional de Mineração (ANM), agência esta que substituiu o Departamento Nacional da Produção Mineral (DNPM) na regulação e fiscalização do setor de mineração. Ainda, são necessárias as respectivas licenças ambientais junto aos Órgãos Ambientais competentes para operação do empreendimento. A Figura 1 ilustra as principais etapas do processo produtivo realizado na lavra a céu aberto de calcário.

Figura 1- Principais etapas lavra a céu aberto de calcário



Fonte: Autor (2018), modificado de Sampaio e Almeida (2008).

O decapeamento caracteriza-se pela retirada do solo vegetal e do solo residual é considerada o elemento-chave no custo da lavra a céu aberto de acordo com Sampaio e Almeida (2008).

A britagem é a fase grosseira de redução de tamanho dos minerais, consistindo na operação que fragmenta os blocos obtidos na lavra, podendo ser repetida diversas vezes por diferentes tipos de equipamentos, até se obter um material de granulometria compatível para utilização direta ou para posterior processamento. (LUZ; SAMPAIO; ALMEIDA, 2004).

A moagem é o último estágio do processo de fragmentação. Neste estágio as partículas são reduzidas, pela combinação de impacto, compressão, abrasão e atrito, a um tamanho apropriado à liberação do mineral. Cada minério possui uma malha adequada para ser moído. (LUZ; SAMPAIO; ALMEIDA, 2004).

Cabe evidenciar que a escolha dos equipamentos varia com as peculiaridades de cada operação, capacidade produtiva, dimensão e características do depósito, distância de transporte, vida útil da mina além de localização das aglomerações urbanas (SAMPAIO; ALMEIDA, 2008).

Conforme Sampaio e Almeida (2008) e Silva (2009a) o tratamento das rochas carbonatadas, especialmente o calcário, está sujeito ao uso e especificações do produto final. A lavra seletiva, a catação manual, a britagem e o peneiramento são os métodos habituais utilizados para obtenção de produtos que não dependem de rígido controle de qualidade como é o caso do calcário agrícola.

2.4 Principais aplicações do calcário

Segundo Silva (2009a) o calcário possui inúmeras aplicações, desde uso como matéria prima para aplicação civil na fabricação de cal e cimento, ingrediente em diversos setores da indústria de papel, plásticos, química, siderúrgica, de vidro, alimentos, purificação do ar e tratamento de água e esgoto assim como corretivo de acidez do solo. Ainda assim, o calcário representa um produto relativamente barato, exceto em suas formas beneficiadas mais sofisticadas, de elevado valor agregado.

Mesmo que a calcita e dolomita possam ser utilizadas da mesma forma em diversas aplicações, seus usos podem ser mais restritos para os casos em que as características químicas são essenciais, devido a quantidade de impurezas presentes. Assim, a composição química da rocha demonstra-se mais importante do que a mineralógica (SAMPAIO;ALMEIDA, 2008).

A seguir serão especificados alguns dos principais usos do calcário.

2.4.1 Uso do calcário na Agricultura

Os solos brasileiros, em sua grande maioria, são originalmente ácidos, o que acaba sendo intensificado em decorrência da utilização dos sistemas de irrigação de

forma contínua. As culturas de maneira em geral são tolerantes à acidez, porém, num ambiente de neutralidade as plantas adquirem máxima produtividade. A calagem é uma das técnicas mais usuais de se corrigir a acidez do solo, através da utilização do calcário (PARAHYBA, 2009).

O calcário agrícola é um dos principais usos do calcário produzido no Brasil e no mundo, sendo que no Brasil o calcário utilizado para este fim representa mais de 21% do total produzido no Brasil (SILVA, 2009b).

Conforme DNPM (2010) a qualidade do calcário agrícola depende, principalmente, do teor e do tipo de elementos que reduzem a acidez, assim como o tempo necessário para fazer efeito no solo. Por sua vez, a qualidade é mensurada por um índice denominado “Poder Relativo de Neutralização Total” – PRNT.

A Instrução Normativa nº 35 de 4 de julho de 2006 da Secretaria de Defesa Agropecuária- SDA do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento- MAPA, estabelece normas para os corretivos de acidez do solo, estes de acordo com as suas características próprias, deverão ter as especificações e garantias mínimas conforme Tabela 2.

Tabela 2-Especificações e garantias mínimas dos corretivos de acidez do solo

Material corretivo de acidez	PN* (% E CaCO₃) Mínimo	SOMA** % CaO + %MgO Mínimo	PRNT*** Mínimo
Calcário agrícola	67	38	45
Calcário calcinado agrícola	80	43	54
Cal hidratada agrícola	94	50	90
Cal virgem agrícola	125	68	120
Dolomito	67	38	45

*Poder de neutralização (PN): capacidade potencial total de bases neutralizantes contidas em corretivo de acidez, expressa em equivalente de Carbonato de Cálcio puro (% E CaCO₃);

**Soma (%CaO + %MgO): esse valor corresponde a soma das porcentagens de óxido de cálcio e de óxido de magnésio presentes na amostra;

***Poder relativo de neutralização total (PRNT): conteúdo de neutralizantes contidos em corretivo de acidez, diz respeito a reatividade de um corretivo em um período máximo de três meses.

Fonte: IN 35 MAPA (2006).

Para efeito dessa Instrução Normativa, os calcários agrícolas terão a seguinte classificação quanto ao teor de Óxido de Magnésio (MgO):

- calcítico: teor de MgO menor que 5%;
- calcário magnesiano: teor de MgO entre 5% e 12%;
- dolomítico: teor de MgO maior que 12%.

O Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) estabelece quatro faixas de classificação de PRNT, sendo elas: Faixa A: com PRNT entre 45,0 e 60,0%; Faixa B: com PRNT entre 60,1 e 75,0%; Faixa C: com PRNT entre 75,1 e 90,0%; Faixa D: com PRNT maior que 90,0%. Portanto, para se corrigir a acidez do solo, deve-se usar tanto menos calcário quanto maior for o seu PRNT conforme necessidade do solo onde ocorrerá a aplicação (DNPM, 2010).

Os corretivos de solo são aplicados para se obter valor de pH entre 6 e 7, faixa ótima para desenvolvimento das plantas. O calcário, principalmente o dolomítico, proporciona cálcio e magnésio, dois importantes nutrientes para os solos, além de elementos-traço contidos na rocha calcária. Além disso, o calcário também neutraliza a acidez gerada pelos fertilizantes nitrogenados, tais como nitrato, amônio e sulfatos, aumentando o cultivo e o conteúdo orgânico do solo (SILVA, 2009a).

2.4.2 Uso do calcário na Indústria de cal

A cal ou óxido de cálcio (CaO) é um produto derivado da calcinação do calcário ou do dolomito, produzida com base em calcário com elevado teor de cálcio ou de magnésio (SAMPAIO; ALMEIDA, 2008). O produto desse processo é classificado, conforme o óxido predominante, em:

- cal virgem cálcica - com óxido de cálcio entre 90% e 100% do óxido total presente;
- cal virgem magnesiana – com teores de óxido de cálcio entre 65% e 90% do óxido total presente;
- cal virgem dolomítica – com óxido de cálcio entre 58% e 65% do óxido total presente.

A qualidade comercial de uma cal depende das propriedades químicas do calcário e da qualidade da queima. Todavia, as cales cálcicas têm seu uso direcionado principalmente à indústria química, que exige um produto de maior qualidade. Já as cales magnesianas e dolomíticas tem seu emprego direcionado principalmente a construção civil (PEREIRA; FERREIRA, 2009).

A cal virgem e hidratada são as mais comuns, uma vez que, a cal virgem, também chamada de cal viva, com óxido de cálcio entre 100% e 90% é o principal produto de calcinação de rochas cálcio-carbonatadas (calcários/dolomitos). Já cal hidratada é formada pelo acréscimo de água à cal virgem, formando hidróxido de cálcio e outros compostos (MME,2017).

Ainda conforme dados do MME (2017), necessita-se e média de 1,7 – 1,8 toneladas de rocha calcária para a fabricação de uma tonelada de cal virgem. Com uma tonelada de cal virgem obtém-se cerca de 1,3 t de cal hidratada (MME, 2017).

2.4.3 Uso do calcário no tratamento da água

Segundo Sampaio e Almeida (2008) a dureza é uma característica conferida à água pela presença de sais de metais alcalinos e alcalino-terrosos (cloro, cálcio, magnésio, sódio, potássio e outros) e alguns metais, em menores concentrações.

Os compostos responsáveis pela dureza da água respondem pelo seu custo elevado nas indústrias de bebidas, tintas, têxtil, operações de lavagem, consumo doméstico, entre outros, além da formação de incrustações nas tubulações. Nestes casos, faz-se necessária a remoção dos compostos que provocam a dureza da água.

A cal hidratada Ca(OH)_2 é um dos reagentes mais usados para remoção dos íons cálcio e magnésio da água, a partir de reações que precipitam estes compostos, impedindo sua disponibilidade na água e deposição como incrustações.

2.4.4 Uso do calcário na construção civil

Grande parte do consumo de calcário do mundo é utilizado para a construção civil como matéria prima empregada diretamente na construção, ou como rochas utilizadas na construção de estradas e outras obras.

No Brasil, a Associação Nacional das Entidades de Produtores de Agregados para Construção Civil (ANEPAC), estima que de todos os tipos de rochas utilizadas na produção de pedra britada para a construção civil, o calcário responde por cerca de 10% (CETEM, 2009).

2.4.5 Uso do calcário na indústria de cimento

O cimento é produzido a partir de uma mistura de calcário com argilas, e pequenas quantidades de outros materiais. Proporcionalmente, o calcário apresenta maior participação na combinação de substâncias exigidas para a produção de cimento (4:1/ calcário:argila), calculando-se uma relação da ordem de 1,4 toneladas de rochas calcíticas para cada tonelada de cimento produzida conforme informações de Sampaio e Almeida (2008).

Para Rodrigues e Fonseca (2009) os dolomitos, excepcionalmente para fabricação de cimento, podem resultar em um fenômeno indesejável, pois, quando em contato com a água no concreto ou argamassa, ao se hidratar, expandem seu volume, gerando tensões internas suficientes para provocar trincas e fissuras. No Brasil o limite máximo é de 6,5% para o teor de óxido de magnésio, com exceção para o tipo CP III – Cimento *Portland* de alto-forno, que pela presença da escória não tem limite para o MgO.

O cimento *Portland* – assim designado devido à textura semelhante às rochas da ilha de *Portland*, sul da Inglaterra – é um produto resultante da combinação de insumos de base mineral: calcário e argila, em maior proporção, e outras substâncias adicionais tais como ferro e gipsita (RODRIGUES; FONSECA, 2009).

2.4.6 Uso do calcário na indústria de plásticos

Segundo Sampaio e Almeida (2008) na indústria de plásticos o calcário é adicionado para aperfeiçoar as propriedades físicas e seu processamento, de modo que sua adição resulta em:

- confere aos compostos de PVC (policloreto de polivinila) dureza, tensão, textura e brilho aos compostos de PVC;
- auxilia no controle da viscosidade e no seu coeficiente de expansão térmica durante a moldagem das placas;
- atribui resistência e reduz o custo do produto final e;
- favorece a manufatura de poliéster, possibilitando que este possa ser utilizado na indústria automobilística, permitindo a obtenção de produtos competitivos com o aço e o alumínio.

2.4.7 Uso do Calcário na Indústria de vidros

A dolomita ocupa o terceiro lugar como insumo básico na fabricação do vidro, ficando atrás apenas da areia de quartzo e da barrilha (Na_2CO_3). Esses produtos podem ser usados como fonte de cal na composição soda-cal-sílica, dependendo do tipo de vidro a ser fabricado. A cal atua como material fundente sobre a areia de quartzo, acrescentando a insolubilidade e a resistência, além de reduzir a fragilidade do vidro (SAMPAIO; ALMEIDA, 2008).

A proporção ideal de um calcário dolomítico é a razão 3:2 de CaO/MgO , pois com esta composição a dolomita facilita a mistura dolomita/calcário. O calcário representa 4% do total, enquanto a dolomita representa 13% dentre os principais insumos da mistura para fabricação de vidro plano (SAMPAIO; ALMEIDA, 2008).

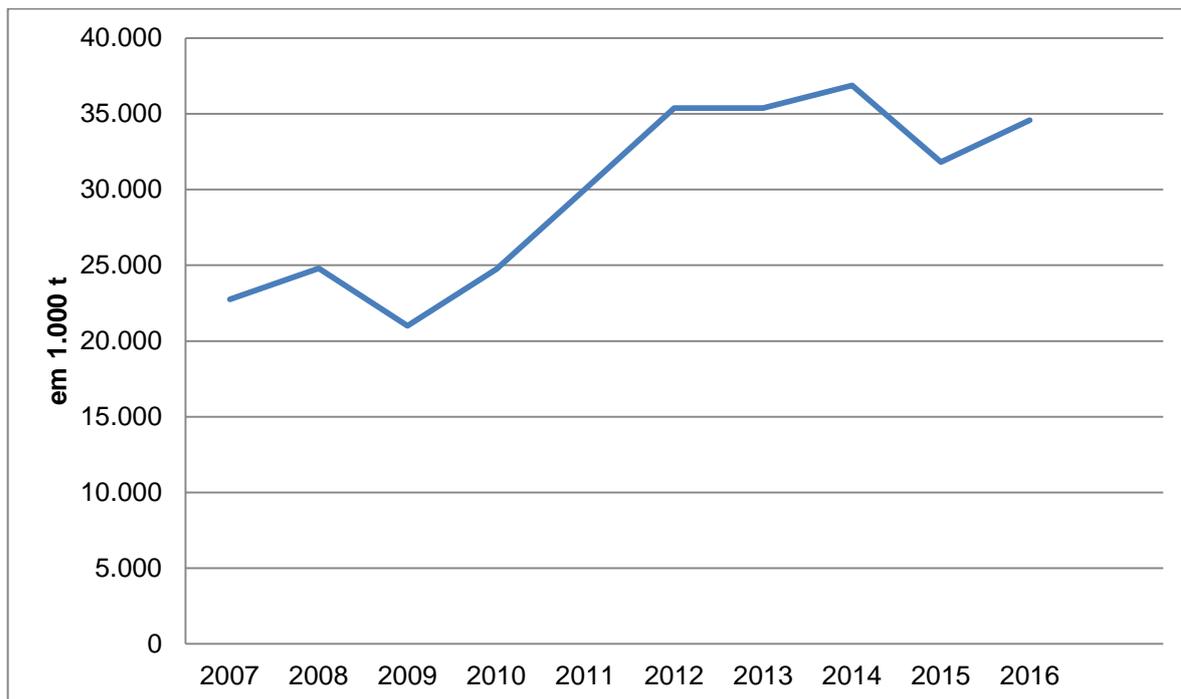
2.5 Panorama da Mineração de calcário no Brasil

No Brasil, o termo calcário agrícola é definido como a rocha calcária moída ou pó calcário e seus produtos derivados tais como: calcário calcinado agrícola, cal virgem e hidratada agrícola, escoria e outros (FRANCO; SOUZA JUNIOR, 2000).

As reservas brasileiras de calcário agrícola podem ser consideradas como as mesmas reservas brasileiras de calcário, independentemente de sua aplicação. Representando centenas de anos de produção em níveis atuais, as reservas lavráveis brasileiras de calcário estão de uma maneira geral bem distribuídas. Os estados de maior destaque no contexto brasileiro são: Minas Gerais, Mato Grosso do Sul, Paraná e Goiás, que juntos detêm quase 60% das reservas medidas de calcário do país, além de São Paulo, Bahia, Ceará, Mato Grosso e Rio de Janeiro. (DNPM, 2018a).

Conforme Figura 2, a produção de calcário agrícola vem crescendo ao longo dos anos. A média anual ao longo do período analisado é de 29.736 milhões de toneladas/ano.

Figura 2-Produção de calcário agrícola no Brasil no período de 2007-2016.



Fonte: Autor (2018), a partir de dados de ABRACAL.

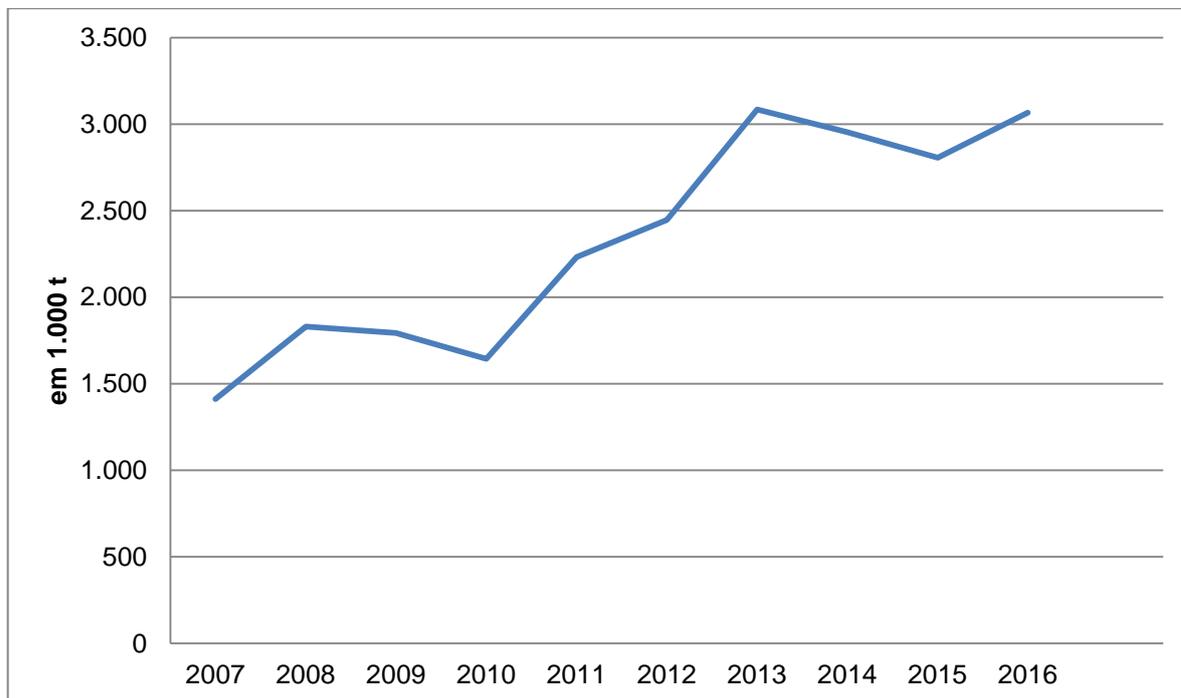
DNPM (2018a) aponta que o consumo nacional de calcário agrícola historicamente é inferior ao de fertilizantes, pois segundo informações da Associação Brasileira dos Produtores de Calcário Agrícola (ABRACAL) uma correção ideal do solo demandaria uma produção de 90 milhões de toneladas de calcário agrícola por ano, o que expandiria a produtividade em torno de 60%.

2.6 Panorama da Mineração de calcário no Rio Grande do Sul

No Estado do Rio Grande do Sul a maior parte da produção de calcário é oriunda do Sudeste do Estado (ROHDE et al, 2012).

Assim como no Brasil, o estado do Rio Grande do Sul também acompanhou o crescimento na produção de calcário agrícola ao longo dos anos, conforme evidenciado na Figura 3.

Figura 3-Produção de calcário agrícola no Rio Grande do Sul no período de 2007-2016.



Fonte: Autor (2018), a partir de dados de ABRACAL.

Conforme levantamento efetuado pela ABRACAL, o estado do Rio Grande do Sul produziu entre os anos de 2007 e 2016, uma média de 2.326,7 mil toneladas de calcário agrícola por ano, enquanto que o consumo do produto teve uma média de 2.477,9 mil toneladas por ano (Tabela 3). Com isso, podemos observar que a demanda do produto no estado é maior que sua produção, ou seja, há necessidade de se importar a diferença de outros estados.

Tabela 3- Produção e consumo do calcário agrícola no estado do Rio Grande do Sul (2007-2016)

Ano	Consumo (em 1000 t)	Produção (em 1000 t)
2007	1.561,0	1.411,0
2008	1.963,0	1.830,1
2009	1.876,8	1.792,9
2010	1.779,6	1.644,4
2011	2.435,9	2.232,8
2012	2.632,8	2.447,0
2013	3.251,2	3.084,8
2014	3.095,0	2.953,0
2015	2.985,0	2.805,3
2016	3.199,0	3.065,2
TOTAL	24.779,3	23.266,5

Fonte: Modificado de ABRACAL (2017)

2.7 Impactos Ambientais na Mineração de calcário

No Brasil a definição de impacto ambiental é dada segundo o artigo 1º da Resolução Nº 001 CONAMA, de 23 de janeiro de 1986:

Considera-se impacto ambiental qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente, causada por qualquer forma de matéria ou energia resultante das atividades humanas que, direta ou indiretamente, afetam: I - a saúde, a segurança e o bem-estar da população; II - as atividades sociais e econômicas; III - a biota; IV - as condições estéticas e sanitárias do meio ambiente; V - a qualidade dos recursos ambientais. (CONAMA, 1986, p. 1).

Sánchez (2008) define impacto ambiental como sendo “[...] a alteração da qualidade ambiental que resulta da modificação de processos naturais ou sociais provocada por ação humana” (SÁNCHEZ, 2008, p. 32). Evidencia-se que esta alteração pode ser tanto benéfica (positiva) quanto adversa (negativa) e isso deverá ser considerado durante a avaliação do impacto.

Bacci, Landim e Eston (2006) demonstram que os efeitos ambientais estão associados, de modo geral, às diversas fases de exploração dos bens minerais, como: a abertura da cava (retirada da vegetação, escavações, movimentação de terra e modificação da paisagem local); o uso de explosivos no desmonte de rocha (sob repressão atmosférica, vibração do terreno, ultra lançamento de fragmentos,

gases, poeira, ruído); e o transporte e beneficiamento do minério (geração de poeira e ruído), afetando, assim, os meios físico, biótico e antrópico.

Para Cunha (2007), a atividade mineral é causadora de degradação ambiental, todavia estes impactos se comparados com outras atividades que alteram o uso do solo tais como, agricultura, exploração madeireira, construção de estradas resultam em áreas impactadas relativamente pequenas se comparadas com as demais. Porém, estes impactos são intensos e podem resultar em processos erosivos, alterações do regime hídrico, supressão da vegetação nativa e afugentamento da fauna, além de provocarem a desestruturação do solo e do subsolo.

Mesmo com a existência de normas ambientais para desenvolvimento das atividades mineiras, as áreas exploradas sofrem grandes transformações, muitas delas irreversíveis, como alteração do relevo, supressão da cobertura vegetal, assoreamento de cursos d'água e lançamento de substâncias tóxicas nos recursos hídricos (IBRAM, 1992).

Em relação às emissões de gases de efeito estufa (CO₂, metano, etc.) na mineração de calcário, estas são oriundas principalmente do funcionamento de equipamentos de extração e movimentação do minério, movidos a óleo e diesel (SILVA, 2009a).

Na mineração os dois principais tipos de resíduos sólidos gerados são os estéreis e os rejeitos. Os rejeitos são resíduos resultantes dos processos de beneficiamento, já o resíduo estéril compreende os materiais escavados que não tem valor econômico agregado e ficam dispostos em pilhas (IPEA, 2012). Segundo Silva (2009a), devido ao calcário ser um produto de valor agregado relativamente baixo, não há índices elevados de remoção ou produção de estéril, pois uma alta proporção estéril/minério pode vir a inviabilizar a lavra.

Em relação aos impactos positivos da atividade minerária, destaca-se que esta é uma das bases da economia da cidade de Caçapava do Sul, gerando emprego, renda e tributos, desenvolvimento à economia local e regional, além da garantia do fornecimento de insumo mineral para a sociedade.

A Tabela 4 ilustra a quantidade de trabalhadores diretos do setor mineral no município de Caçapava do Sul de 2012 a 2016. Saliencia-se que Caçapava do Sul, ocupa o ranking de segundo lugar no estado do Rio Grande do Sul na quantidade de

empregados no setor mineral ficando atrás apenas da cidade de Ametista do Sul, conforme Anuário Mineral Estadual (DNPM, 2018b).

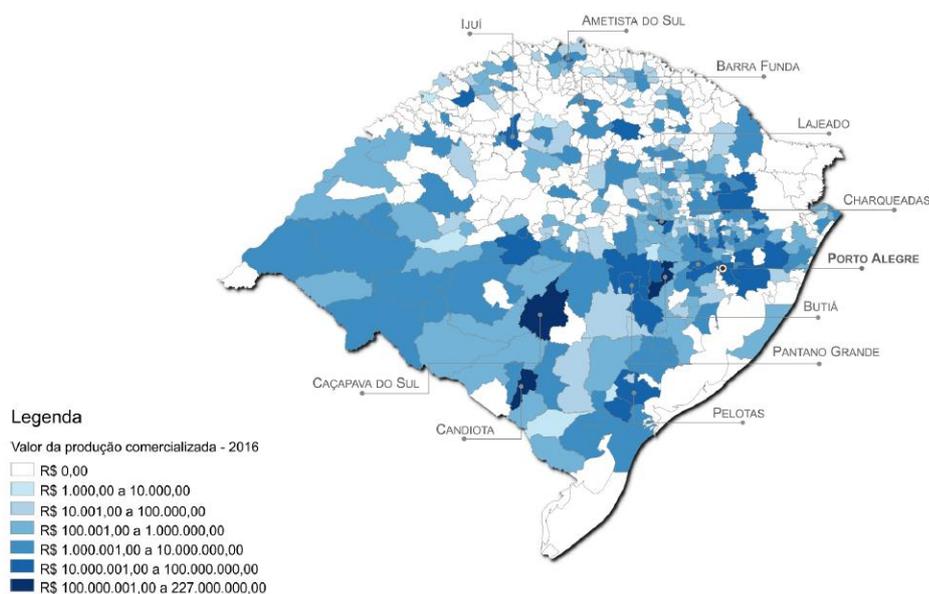
Tabela 4- Quantidade média de trabalhadores empregados na produção mineral no município de Caçapava do Sul– 2012 a 2016

Município	Quantidade de empregados				
	2012	2013	2014	2015	2016
Caçapava do Sul	795	884	942	966	936

Fonte: DNPM (2018b)

Cabe destacar que o município de Caçapava do Sul registrou no ano de 2016 um das maiores valores de produção comercializada de produtos minerais do estado do Rio Grande do Sul, conforme Anuário Mineral Estadual (DNPM, 2018b), Figura 4. Dentre os produtos minerais comercializados neste período no município estão o calcário com 3.144.943 toneladas e o talco com 359 toneladas.

Figura 4-Dez municípios que registraram os maiores valores da produção mineral comercializada no Rio Grande do Sul no ano de 2016.



Fonte: DNPM (2018b).

2.8 Aspectos legais: mineração e meio ambiente

O Código de Mineração de 1967, sancionado pelo Decreto-Lei 227, de 28 de fevereiro 1967, atualizado pelo Decreto nº 9.406, de 12 de junho de 2018, estabelece normas para funcionamento da mineração no país, assim toda atividade minerária deve seguir sua estrutura legal além das demais legislações e regulamentações correlatas existentes aplicadas ao setor mineral.

Segundo Bomfim (2017) por muito tempo a exploração de minérios ocorreu de maneira ilegal, sem nenhum tipo de preocupação ambiental, de forma que o impacto ambiental adverso era apenas admitido quando se tornava visível, devido à degradação da paisagem das áreas onde as jazidas minerais eram exploradas. Com o surgimento das leis ambientais e órgãos fiscalizadores cada vez mais atuantes, as questões ambientais atualmente estão presentes desde o planejamento, discussão até a implantação de projetos mineiros.

Em meados da década de 1970 surgiram no Brasil às primeiras exigências legais de controle de poluição. Desde então as mineradoras passaram a dispor de licenças ambientais com obrigações específicas; planos para recuperar as áreas degradadas; seus dirigentes estão sujeitos a sanções penais em caso de descumprimento da lei; estudos de impacto ambiental, diagnósticos, e uma série de outros estudos que se fizerem necessários (SILVA, 2009a).

Conforme art. 10 da Lei Federal 6.938/81 que institui a Política Nacional do Meio Ambiente, “a construção, instalação, ampliação e funcionamento de estabelecimentos e atividades utilizadores de recursos ambientais, efetiva ou potencialmente poluidores ou capazes, sob qualquer forma, de causar degradação ambiental dependerão de prévio licenciamento ambiental”, portanto as atividades minerárias estão sujeitas a prévio licenciamento ambiental. A Resolução CONAMA n.º 237/1997 reconhece diferentes níveis de competência para a realização do licenciamento, podendo ser de competência federal, estadual ou municipal, conforme regulamentação específica.

No Brasil, os três níveis de poder estatal têm responsabilidade de definir as diretrizes e regulamentações, bem como atuar na concessão, fiscalização e cumprimento da legislação mineral e ambiental. Em nível federal, os órgãos responsáveis são os seguintes: Ministério do Meio Ambiente – MMA, Ministério de Minas e Energia - MME, Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação

Mineral –SGM, Agência Nacional de Mineração- ANM, Serviço Geológico do Brasil – CPRM, Agência Nacional de Águas – ANA, Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA, Conselho Nacional de Recursos Hídricos – CNRH e Instituto Brasileiro de Meio Ambiente Recursos Naturais Renováveis – IBAMA.

2.9 Recursos hídricos e mineração

A qualidade da água de um corpo hídrico pode ser definida como um conjunto de características química, física e biológica. Até mesmo uma bacia hidrográfica livre de ações humanas apresentará alterações de suas características devido à composição do substrato, solo e da vegetação. No entanto, as atividades antrópicas contribuem na introdução de compostos na água, afetando suas características naturais (SPERLING, 2007).

A atividade da mineração provoca, como várias outras atividades econômicas, problemas ambientais, de modo que os impactos aos recursos hídricos podem ser caracterizados da seguinte maneira: a) químicos relacionados ao pH, alterando a concentração de metais dissolvidos e compostos sintéticos; b) físicos pelo aumento da concentração de sólidos em suspensão, causando turbidez e adsorção de metais; c) biológicos quando ocorre migração e morte de espécies, além degradação do solo, vegetação e afugentamento da fauna; d) ecológico devido a alterações do habitat, bioacumulação de metais na cadeia alimentar, extinção de espécies e produtividade primária reduzida (BOMFIM, 2017).

Tanto na extração quanto no beneficiamento do calcário não há significativo uso direto de água, deste modo, à demanda sobre os recursos hídricos é baixa, porém a preocupação se dá principalmente em relação à possível alteração da qualidade da água dos recursos hídricos na região da área de lavra, devido ao assoreamento ou à suspensão de sólidos, por conta da grande movimentação de minério e estéril (SILVA, 2009a).

As características que representam a qualidade das águas podem ser traduzidas na forma de parâmetros de qualidade das águas e seus respectivos valores limites. No Brasil, o Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA classifica as águas segundo seus usos predominantes, e para cada classe estabelece os requisitos de qualidade que o manancial deve obedecer.

A Política Nacional de Recursos Hídricos, também conhecida como Lei das Águas, instituída pela Lei Federal 9.433 de 08 de janeiro de 1997 tem como um dos

seus objetivos, conforme art. 2º, inciso I: “assegurar à atual e às futuras gerações a necessária disponibilidade de água, em padrões de qualidade adequados aos respectivos usos”.

Deste modo, o monitoramento de qualidade das águas é um dos mais importantes instrumentos da gestão ambiental, consistindo no acompanhamento sistemático dos aspectos qualitativos das águas, visando à produção de informações e o auxílio na tomada de decisão sobre os recursos hídricos, além de indicar quais atividades humanas causam ou podem causar degradação, bem como, medidas de controle de poluição.

2.9.1 Parâmetros para avaliação da qualidade da água

2.9.1.1. Alcalinidade

Conforme Richter (2009) a alcalinidade é a capacidade de neutralizar ácidos, enquanto a acidez, em contrapartida, é a capacidade de neutralizar bases (RICHTER, 2009).

Caracterizada como parâmetro químico, a alcalinidade indica a quantidade de íons na água que reagem para neutralizar os íons hidrogênio. Deste modo, a medição da capacidade da água de neutralizar os ácidos, servindo assim para expressar a habilidade de tamponamento da água, ou seja, sua condição de resistir a alterações do pH. Os principais constituintes da alcalinidade são os bicarbonatos (HCO_3^-), carbonatos (CO_3^{2-}) ou hidróxidos (OH^-) (RICHTER e NETTO, 1991).

Segundo Manual de controle da qualidade da água para técnicos que trabalham em ETAS (BRASIL, 2014) a distribuição entre as três formas de alcalinidade na água (bicarbonatos, carbonatos e hidróxidos) é função do seu pH: pH > 9,4 (hidróxidos e carbonatos); pH entre 8,3 e 9,4 (carbonatos e bicarbonatos); pH entre 4,4 e 8,3 (apenas bicarbonatos).

Ainda, conforme disposto no referido manual supracitado valores elevados de alcalinidade estão relacionados a processos de decomposição da matéria orgânica e à alta taxa respiratória de micro-organismos, com liberação e dissolução do gás carbônico (CO_2) na água. A maioria das águas naturais apresenta valores de alcalinidade na faixa de 30 a 500 mg/L de CaCO_3 (BRASIL, 2014).

Águas alcalinas e com alto teor de cálcio e magnésio podem ocasionar em problemas de formação de depósitos, formando incrustações nas canalizações de distribuição de água, especialmente quando essas águas são aquecidas (FRITZSONS et al, 2009).

A principal fonte de alcalinidade em águas naturais provém da descarga de efluentes industriais, onde se empregam bases fortes como soda cáustica e cal hidratada.

2.9.1.2. Carbono orgânico

O carbono orgânico total é uma expressão que denomina toda a matéria orgânica em uma amostra aquosa. Diferentes processos químicos, físicos e biológicos dão origem à dinâmica da matéria orgânica em águas naturais. Lançamentos de efluentes por fontes pontuais, e o escoamento superficial de áreas urbanas são as principais fontes antropogênicas de matéria orgânica (KNAPIK et al., 2009).

O carbono orgânico, especialmente na forma dissolvida, assume importante papel para o desenvolvimento da comunidade de algas no ecossistema aquático. Ele se insere na cadeia trófica das bactérias e algas como agente precipitador de nutrientes e ainda atua no processo de fotossíntese bloqueando a penetração dos raios solares no corpo d'água (LIBÂNIO et al., 2000).

De acordo com Parron, Muniz e Pereira (2011, p. 18), o carbono orgânico é um excelente indicador de qualidade de água, além de complexar metais, é mensurado através da oxidação do carbono, servindo como “medida direta da diversidade de compostos orgânicos em vários estados de oxidação em uma amostra de água”. Assim, quanto menores os índices, melhor a qualidade da água.

2.9.1.3. Condutividade

A condutividade elétrica se refere à capacidade que a água possui de conduzir corrente elétrica. Este parâmetro relaciona-se com a presença de íons dissolvidos na água, que são partículas eletricamente carregadas. Quanto maior for

à quantidade de íons dissolvidos, maior será a condutividade elétrica na água (SILVA; HERMES, 2004).

Conforme Manual de controle da qualidade da água para técnicos que trabalham em ETAS (BRASIL, 2014), enquanto as águas naturais apresentam teores de condutividade na faixa de 10 a 100 $\mu\text{S}/\text{cm}$, em ambientes poluídos os valores podem chegar a 1.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

O cálcio, magnésio, potássio, sódio, carbonatos, carbonetos, sulfatos e cloretos são íons diretamente responsáveis pelos valores da condutividade. A avaliação da condutividade elétrica contribui para possíveis reconhecimentos de impactos ambientais que ocorram na bacia hidrográfica, principalmente os ocasionados por lançamentos de resíduos que contenham esses elementos químicos. Outro fator que favorece o aumento da condutividade é o carreamento de partículas de solo, visto que estas podem conter diferentes minerais em sua composição (MORAES, 2001).

2.9.1.4 DBO₅

A DBO da água é definida como a quantidade de oxigênio necessária para oxidar a matéria orgânica por decomposição microbiana aeróbia para uma forma inorgânica estável. É definida como a quantidade de oxigênio consumido durante um determinado período de tempo, numa temperatura de incubação específica. Este cálculo se pauta na quantidade de oxigênio consumido durante 5 dias em temperatura de 20°C, denominada DBO₅ (CETESB, 2015).

Os mais elevados aumentos em termos de DBO, num corpo d'água, são ocasionados por despejos de origem predominantemente orgânica. A presença de um alto teor de matéria orgânica pode causar o completo consumo do oxigênio da água, impactando assim os organismos aquáticos que necessitam do oxigênio para sobreviver, além disso, podem produzir odores desagradáveis (CETESB, 2015).

Macintyre (1996) caracteriza a DBO como voracidade de oxigênio para demanda do metabolismo das bactérias e a transformação da matéria orgânica.

2.9.1.5. DQO

A diferença entre DBO e DQO está no tipo de matéria orgânica estabilizada. Enquanto a DBO refere-se exclusivamente à matéria orgânica decomposta por micro-organismos, a DQO abrange, também, a estabilização da matéria orgânica provenientes de processos químicos. Desta forma, o valor da DQO é sempre maior do que o da DBO. Além do mais, a relação entre os valores de DQO e DBO demonstra a parcela de matéria orgânica que pode ser estabilizada por via biológica segundo Manual de controle da qualidade da água para técnicos que trabalham em ETAS (BRASIL, 2014)

A elevação da concentração de DQO num corpo d'água deve-se principalmente a despejos de origem industrial (CETESB, 2015).

2.9.1.6. Fósforo Total

A presença de fósforo na água pode ser ocasionada por processos naturais (dissolução de rochas, carreamento do solo, decomposição de matéria orgânica, chuva) ou antropogênicos (lançamento de esgotos, detergentes, fertilizantes, pesticidas) (BRASIL, 2014).

Conforme CETESB (2015) o fósforo está presente em cursos hídricos devido, principalmente, às descargas de esgotos sanitários. A matéria orgânica fecal e os detergentes em pó empregados em larga escala domesticamente são a principal fonte. Ainda, alguns efluentes industriais, como os de indústrias de pesticidas, fertilizantes, conservas alimentícias, abatedouros, frigoríficos, laticínios e químicas em geral, apresentam fósforo em quantidades excessivas. A drenagem das águas urbanas e de áreas agrícolas também pode provocar a presença excessiva de fósforo em águas naturais.

Devido ao fósforo ser um importante nutriente para o crescimento das plantas aquáticas, quando este ocorre em excesso, acaba por prejudicar os usos da água, processo pelo qual denominamos eutrofização.

2.9.1.7. Nitrato

Os compostos de nitrogênio são macronutrientes para processos biológicos, pois, depois do carbono, o nitrogênio é o elemento mais exigido pelas células vivas. Quando o mesmo é despejado nas águas naturais, juntamente com o fósforo e demais nutrientes presentes nos despejos, há o enriquecimento do meio, tornando-o eutrofizado (CETESB, 2015).

Os íons nitrato (NO^3^-) e nitrito (NO^2^-) podem aparecer como contaminantes da água, um fator preocupante. Dependendo da forma apresentada se pode diagnosticar o estágio da poluição, quando esta é recente, o nitrogênio apresenta-se na forma de nitrogênio orgânico ou amônia. Se a poluição é antiga, o nitrogênio apresenta-se, de maneira geral, na forma de nitrato (SPERLING, 2007).

O nitrato é oriundo principalmente das aplicações de esterco, fertilizantes com nitrogênio, cultivo do solo, esgoto humano e deposição atmosférica que ocorre naturalmente.

A composição química dos explosivos utilizados na mineração possui grande variabilidade. Isto inclui o ANFO (*Ammonium Nitrate Fuel Oil*), explosivo comercial de alto poder destrutivo e baixo custo, amplamente utilizado também na construção civil. Para o preparo do ANFO, são necessários 5,5% em massa de combustível/óleo e 94,5% de nitrato de amônio (NH_4NO_3) (SALATIEL, 2011). Este composto de nitrogênio pode contribuir ao longo do tempo para um aumento das concentrações de nitrato, de forma que, ao serem lixiviados podem depositar-se no solo e na água.

Segundo CETESB (2015) os nitratos são tóxicos, causando uma doença chamada metahemoglobinemia infantil, letal para crianças (o nitrato reduz-se a nitrito na corrente sanguínea, competindo com o oxigênio livre, tornando o sangue azul). Por isso, o nitrato é padrão de potabilidade, sendo 10 mg/L o valor máximo permitido segundo Resolução CONAMA 357/2005.

2.9.1.8. Oxigênio dissolvido

É um dos indicadores principais de qualidade de um ambiente aquático. Sabendo-se que a dissolução de gases na água tem influência de distintos fatores ambientais, estando associados aos processos físicos, químicos e biológicos que ocorrem nos corpos d'água (BRASIL, 2014).

O OD é um parâmetro essencial para a análise de qualidade da água, necessitando ser constantemente monitorado visto que é o principal parâmetro de caracterização da poluição da água (SPERLING, 2005)

A quantidade de oxigênio dissolvido relaciona-se com a própria dinâmica do ecossistema e a com as ações antrópicas desenvolvidas nos ambientes aquáticos, assim como o contexto onde a bacia está inserida.

A disponibilidade de oxigênio dissolvido na água depende do balanço entre a quantidade consumida por bactérias para oxidar a matéria orgânica e a quantidade produzida no próprio corpo d'água, por meio de organismos fotossintéticos e processos de aeração (SILVA; HERMES, 2004). Assim, os níveis de oxigênio dissolvido também indicam a capacidade de manutenção da vida aquática de um curso d'água.

2.9.1.9. pH

O pH representa o equilíbrio entre íons H^+ e íons OH^- , os valores deste parâmetro variam de 0 a 14, onde o pH inferior a 7, indica uma água ácida, o pH igual a 7 água neutra e maior do que 7, refere-se a uma água alcalina (SILVA e HERMES, 2004).

As águas dos rios possuem uma solução de dióxido de carbono, ácido carbônico, íons bicarbonatos, carbonatos sendo que assim compõem um sistema que resiste às mudanças de pH. Os valores mais elevados de pH são encontrados, normalmente em locais em que o balanço hídrico é negativo, onde os mananciais são influenciados pela água do mar, recebendo contribuições significativas de carbonatos e bicarbonatos, e também em regiões cársticas. (FRITZSONS et al, 2009).

O pH da água depende de sua origem e características naturais, porém pode ser modificado devido á introdução de contaminantes. O pH baixo torna a água corrosiva, logo as águas com pH elevado tendem a formar incrustações nas tubulações. Os organismos aquáticos dependem do pH, sendo recomendável para a maioria das espécies a faixa de 6 a 9 (MORAES, 2001).

As águas naturais normalmente têm pH entre 4,0 e 9,0 e, sendo ligeiramente alcalinas, devido principalmente à presença de carbonatos e bicarbonatos. Valores elevados podem estar relacionados com a proliferação de algas, valores muito

distantes da normalidade podem ser estar relacionados à presença de despejos industriais (SPERLING, 2005).

2.9.1.10 Sólidos Totais

A análise de sólidos tem importância no acompanhamento da qualidade de água, pois uma quantidade excessiva contribui negativamente afetando os parâmetros de cor, turbidez e microbiológicos.

Os sólidos presentes na água podem estar distribuídos da seguinte forma: em suspensão (sedimentáveis e não sedimentáveis) e dissolvidos (voláteis e fixos) (BRASIL, 2014).

Sólidos em suspensão podem ser definidos como as partículas (substâncias orgânicas e inorgânicas) passíveis de retenção por processos de filtração. Estas partículas influenciam na diminuição da transparência da água, impedindo a penetração da luz, provocando alterações dos parâmetros de turbidez e alterando também a cor (SILVA; HERMES, 2004).

Sólidos dissolvidos são constituídos por partículas de diâmetro inferior a 10-3 µm e que permanecem em solução mesmo após a filtração. A entrada de sólidos na água pode ocorrer naturalmente (processos erosivos, organismos e detritos orgânicos) ou de forma antropogênica (lançamento de lixo, esgotos, materiais particulados).

Os sólidos totais dissolvidos (STD) são importantes para definir as condições ambientais, visto que estes sólidos podem causar danos à vida aquática em geral. Quanto mais elevada a concentração de sedimentos menor a incidência de luz, destruindo organismos fotossintetizantes (PARRON; MUNIZ; PEREIRA 2011).

O excesso de sólidos dissolvidos na água pode causar alterações no sabor e alguns problemas de corrosão, pois estas substâncias podem conter íons orgânicos e íons inorgânicos (como carbonetos, bicarbonato, cloreto, sulfato, fosfato, nitrato, cálcio, magnésio e sódio) que em concentrações elevadas são prejudiciais à saúde (PARRON; MUNIZ; PEREIRA, 2011).

2.10 Resolução CONAMA 357/2005

Para uma adequada gestão dos recursos hídricos monitorar a qualidade das águas é primordial. Deste modo para cada uso da água são estabelecidos parâmetros para seu enquadramento. Estes parâmetros quando instituídos por Órgãos Oficiais são denominados padrões de qualidade (MOTA, 1995). No Brasil esses padrões são estabelecidos pelo Conselho Nacional de Meio Ambiente – CONAMA.

O enquadramento de corpos d'água estabelece um nível de qualidade da água conforme o uso de interesse, estes parâmetros são estabelecidos na Resolução CONAMA 357/2005.

A referida resolução estabeleceu a classificação das águas sendo elas doces, salinas e salobras, de forma que para cada uma delas, foram estabelecidos indicadores de qualidade relativos ao uso pretendido.

A Tabela 5 demonstra os limites para o enquadramento para os parâmetros analisados no trabalho constantes na Resolução CONAMA 357/2005.

Tabela 5- Limites dos Parâmetros Analisados no trabalho para Enquadramento nas Classes das Águas Doces no Brasil constantes na Resolução CONAMA 357/2005.

Classes de uso	Principais Usos	Limites para o Enquadramento
Classe especial	<p>a) abastecimento para consumo humano, com desinfecção;</p> <p>b) preservação do equilíbrio natural das comunidades aquáticas; e,</p> <p>c) preservação dos ambientes aquáticos em unidades de conservação de proteção integral.</p>	Deverão ser mantidas as condições naturais do corpo de água
Classe I	<p>a) abastecimento para consumo humano, após tratamento simplificado;</p> <p>b) proteção das comunidades aquáticas;</p> <p>c) recreação de contato primário, tais como natação, esqui aquático e mergulho, conforme Resolução CONAMA 274 de 2000;</p> <p>d) 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;</p> <p>e) proteção das comunidades aquáticas em Terras Indígenas.</p>	<p>pH: 6 a 9</p> <p>OD: ≥ 6 mg/L O₂</p> <p>DBO: ≤ 3 mg/L O₂</p> <p>Fósforo: 0,1 mg/L P</p> <p>Sólidos totais: ≤ 500 mg/L</p> <p>Nitrato: 10,0 mg/L N</p>
Classe II	<p>a) abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional;</p> <p>b) proteção das comunidades aquáticas;</p> <p>c) recreação de contato primário, tais como natação, esqui aquático e mergulho, conforme Resolução CONAMA 274 de 2000;</p> <p>d) 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;</p> <p>e) aquicultura e atividade de pesca.</p>	<p>pH: 6 a 9</p> <p>OD: ≥ 5 mg/L O₂</p> <p>DBO: ≤ 5 mg/L O₂</p> <p>Fósforo: 0,1 mg/L P</p> <p>Sólidos totais: ≤ 500 mg/L</p> <p>Nitrato: 10,0 mg/L N</p>
Classe III	<p>a) abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional ou avançado;</p> <p>b) irrigação de culturas arbóreas, cerealíferas e forrageiras;</p> <p>c) pesca amadora;</p> <p>d) recreação de contato secundário;</p> <p>e) dessedentação de animais.</p>	<p>pH: 6 a 9</p> <p>OD: ≥ 4 mg/L O₂</p> <p>DBO: ≤ 10 mg/L O₂</p> <p>Fósforo: 0,15 mg/L P</p> <p>Sólidos totais: ≤ 500 mg/L</p> <p>Nitrato: 10,0 mg/L N</p>
Classe IV	<p>a) navegação;</p> <p>b) harmonia paisagística</p>	<p>pH: 6 a 9</p> <p>OD: ≥ 2 mg/L O₂</p> <p>DBO: -</p> <p>Fósforo: -</p> <p>Sólidos totais: -</p> <p>Nitrato: -</p>

Fonte: Adaptado de Resolução CONAMA 357/2005.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

O desenvolvimento deste trabalho envolveu as seguintes etapas:

- Levantamento de informações para caracterização da área de estudo.
- Revisão bibliográfica a partir de consultas a literatura, artigos e banco de dados públicos.
- Aplicação do Coeficiente de Correlação de Pearson entre os parâmetros físico-químicos avaliados.
- Análise e discussão dos resultados.

Para análise dos dados, cálculo do Coeficiente de Correlação de Pearson, confecção de planilhas e gráficos foi utilizado o programa Microsoft Excel 2010.

3.1 Caracterização da área de estudo

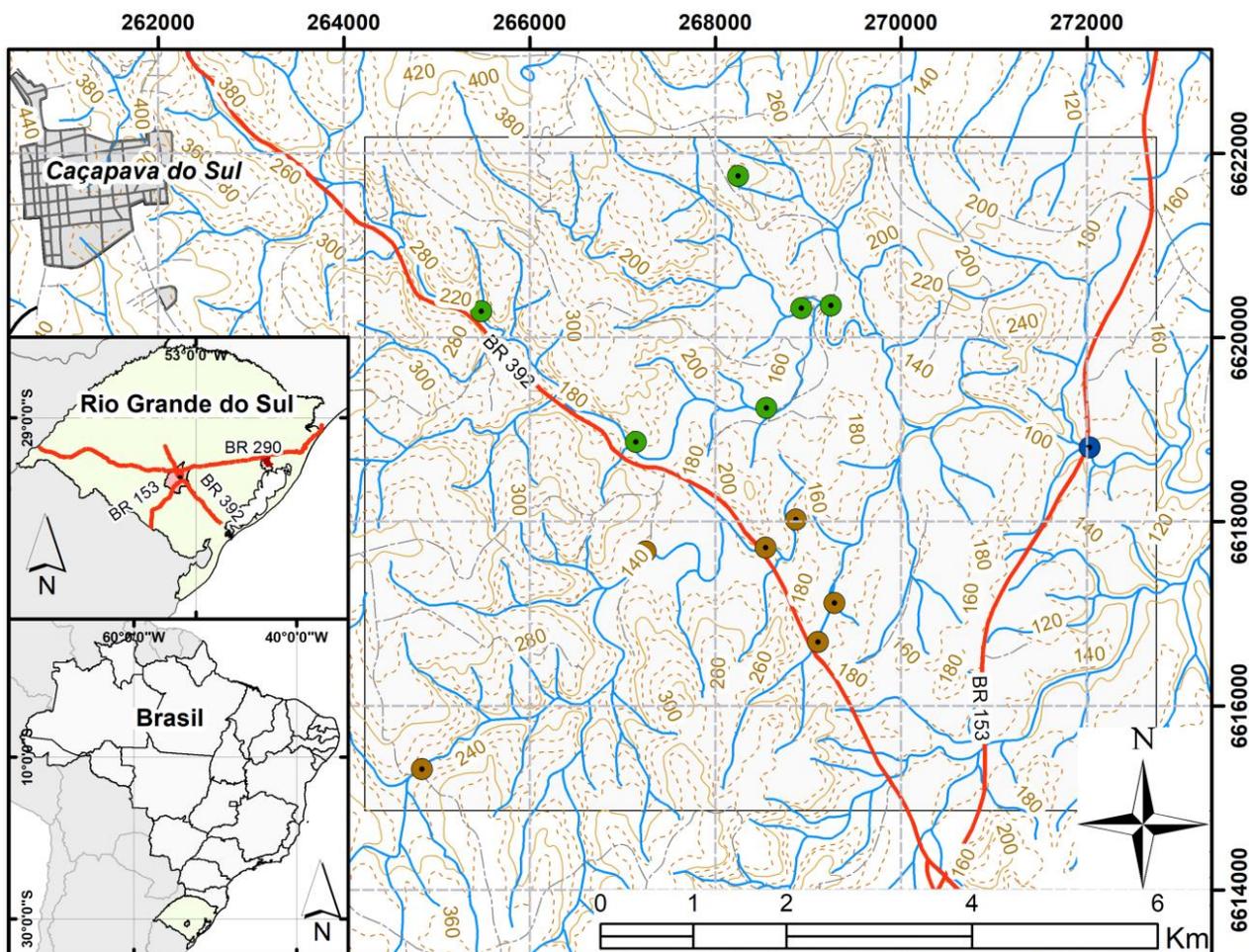
3.1.1. Localização e acesso

O município de Caçapava do Sul, localizado na região centro-sul do Estado do Rio Grande do Sul, latitude 30°30'44" S e longitude 53°29'29" O com altitude de 450 metros e uma área de 3.047,1 km² possui população estimada de 33.702 habitantes conforme dados do IBGE do ano de 2018.

O município tem como base sua economia na agricultura, pecuária e mineração a qual se destaca por ser responsável por 80% do calcário comercializado no Rio Grande do Sul, segundo informações disponibilizadas pela Prefeitura Municipal de Caçapava do Sul.

A área de estudo abrange o 1º Distrito do município, situado no trecho entre os córregos Mangueirão e Salso, local este sob influência da mineração de calcário (Figura 5).

Figura 5 - Localização da área de estudo.



Convenções Cartográficas

	Área de Estudo	Estrada	Pontos de Monitoramento
	Área Urbana	 Federal	 Arroio Irapuazinho
	Hidrografia	 Estadual	 Arroio Mangueirão
Curvas de Nível		 Municipal	 Arroio Salso
	Primárias	 Municipal Rural	
	Secundárias		

Datum: SIRGAS 2000, Zona: 22 J

Fonte: Autor (2018).

3.1.2 Histórico da mineração de calcário em Caçapava do Sul

O município de Caçapava do Sul destaca-se por sua atividade minerária referente à exploração e lavra de mármore dolomítico que comercialmente é denominado calcário, respondendo pela maior parte da produção de calcário do estado do Rio Grande do Sul.

O calcário utilizado principalmente na agricultura como corretivo de acidez dos solos e em diversas áreas da construção civil como na produção de argamassa e cal, é extraído através do método de lavra em mina a céu aberto.

Sete mineradoras de calcário do município estão situadas junto a BR 392, na localidade denominada de Caieiras, interior do município de Caçapava do Sul, sendo estas: Dagoberto Barcellos, Irmãos Ciocari & Cia Ltda- FIDA, Calcário Cruzeiro, Indústria de Calcários Caçapava Ltda- INDUCAL, Indústria de Calcário Vigor, Mineração Mônego e Calcário Razzera.

A Empresa Dagoberto Barcellos S.A., fundada em 1918 é uma das pioneiras na produção de cal para construção e calcário agrícola. Atualmente, a empresa detém 70% do mercado gaúcho de cal e 30% do mercado de calcário, conforme informações disponíveis em seu site institucional.

Em 1954, no município de Caçapava do Sul – RS, nascia a Irmãos Ciocari & Cia Ltda- FIDA. A empresa atua na mineração, produção de cal e argamassas além de ser o único produtor de fertilizante rico em calcário na região sul do Brasil segundo informações do site institucional.

O calcário Cruzeiro é um produto da empresa Mineração Sangali & Cia, fundada em 1976 sendo seu ramo de atividade é a extração de calcário dolomítico, conforme informações disponibilizadas no site da Prefeitura Municipal.

A Indústria de Calcários Caçapava Ltda. – Inducal, nascida em 1959 possui atualmente três unidades industriais em operação, produzindo Calcário Agrícola, Caulim e Brita. Na unidade de Caçapava do Sul é produzido calcário agrícola dolomítico e brita, conforme informações disponibilizadas no site institucional.

Fundada em 1968, a Indústria de Calcário Vigor é uma empresa do ramo de mineração, indústria, transporte e aplicação de Calcário Agrícola, segundo informações do site da Prefeitura Municipal.

A Mineração Mônego iniciou suas atividades em 1973, tendo como produção brita, cascalho e calcário conforme informações do Anuário Mineral Estadual do Rio Grande do Sul ano base 2016 (DNPM 2018b)

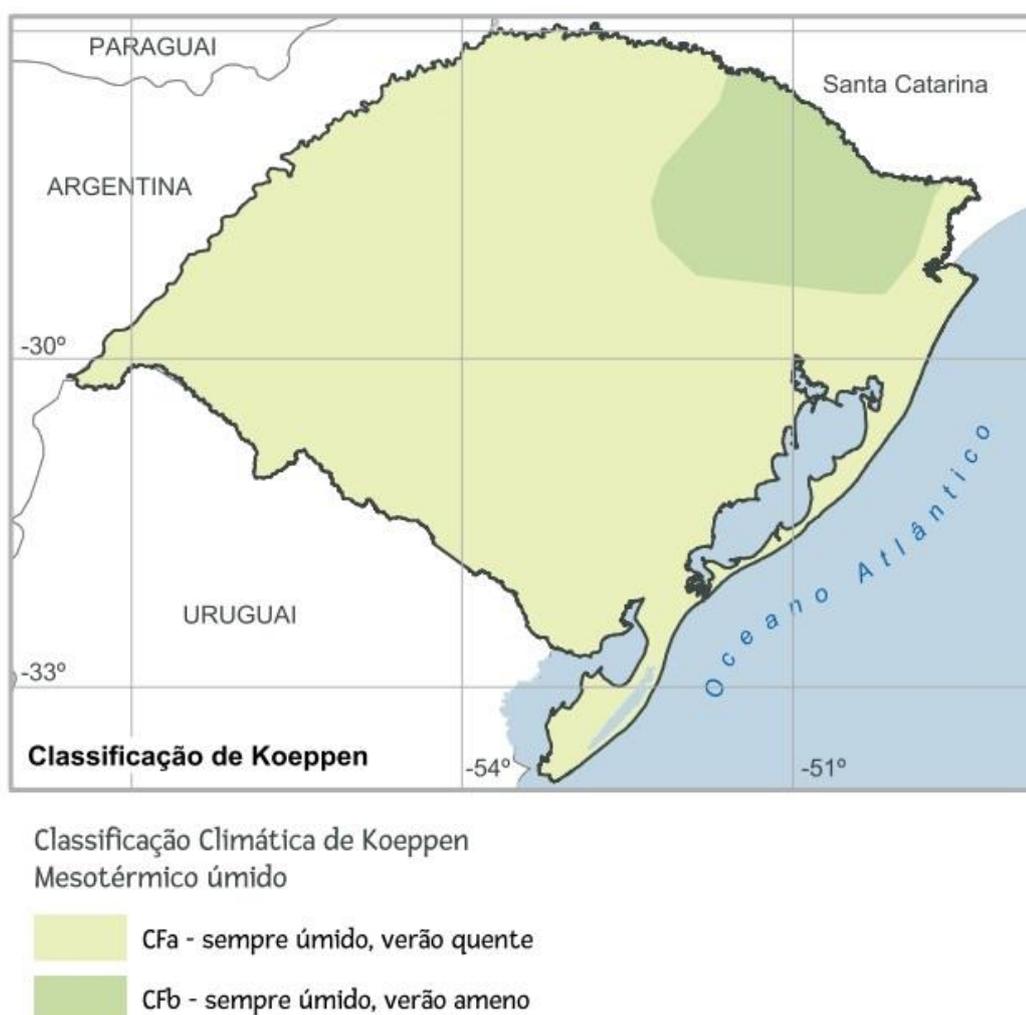
Por fim, a indústria Calcário Razzera, constituiu-se como firma individual em 1967 com fabricação de cal e calcário conforme informações do site institucional.

Nas referidas mineradoras as minas de calcário são lavrada a céu aberto.

3.1.3 Clima

Segundo o sistema de Köppen, o Rio Grande do Sul se enquadra na zona fundamental temperada ou "C" e no tipo fundamental 'Cf' ou temperado úmido. No Estado este tipo "Cf" se subdivide em duas variedades específicas, "Cfa" e "Cfb" (MORENO, 1961), conforme figura 6.

Figura 6- Classificação de Köppen para o Estado do Rio Grande do Sul



Fonte: Adaptado de PESSOA, M. L. (Org.). Clima do RS. In: _____. Atlas FEE. Porto Alegre: FEE, 2017.

Na região de estudo o clima dominante é o mesotérmico úmido do tipo "Cfa", caracterizado por ser sempre úmido e com verões quentes, sem secas marcantes e forte contraste entre as estações (MORENO, 1961).

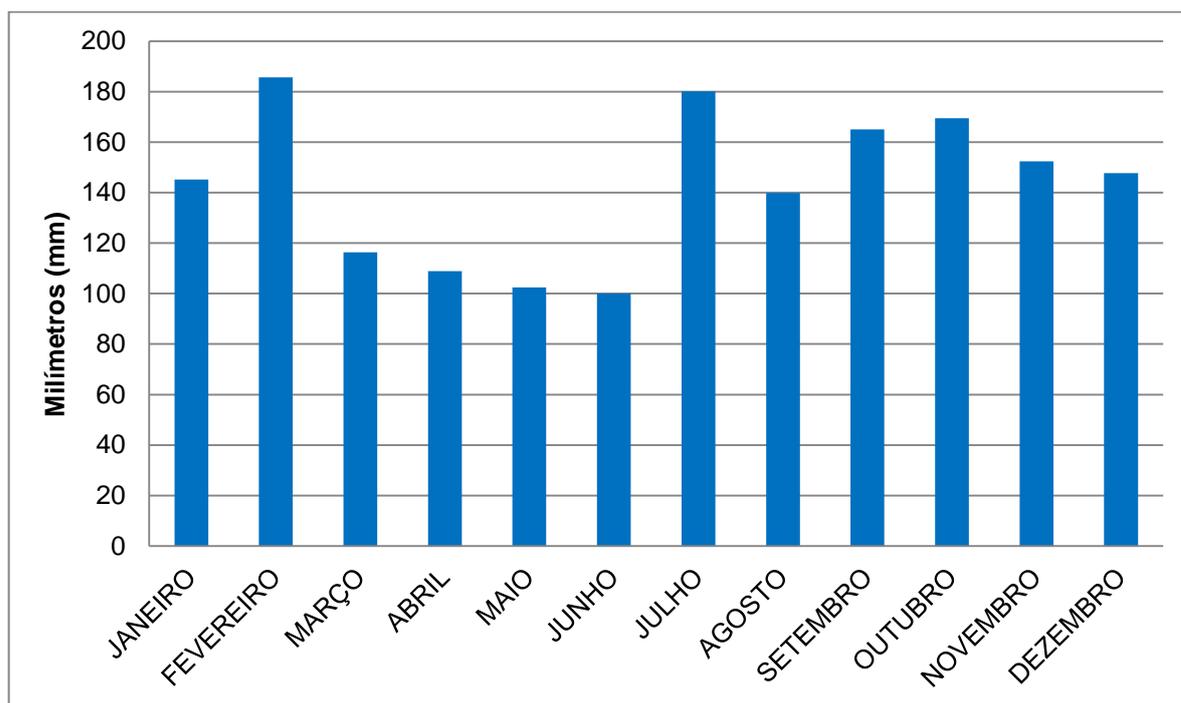
Ainda conforme Macedo (1987) a região é marcada por temperatura média anual de 17,8°C, sendo a média do mês mais quente 23,9°C (janeiro) e do mês mais

frio 12,1°C (julho), podendo ocorrer temperaturas extremas. Os invernos são frios, com temperaturas que chegam a 0°C e no verão registram-se temperaturas elevadas, chegando muitas vezes aos 40°C. As geadas ocorrem principalmente de abril a novembro, com maior incidência nos meses de junho, julho e agosto.

3.1.4 Balanço Hídrico

Para caracterização do balanço hídrico foram utilizados dados meteorológicos mensais e anuais de precipitação pluviométrica, referentes ao período de 2007 a 2016, disponibilizados pela Seção de Armazenamento de Dados Meteorológicos (SADMET) do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) da estação automática instalada em Caçapava do Sul-A812.

Figura 7-Distribuição média mensal da precipitação pluviométrica. Estação automática Caçapava do Sul-A812 (2007-2016).

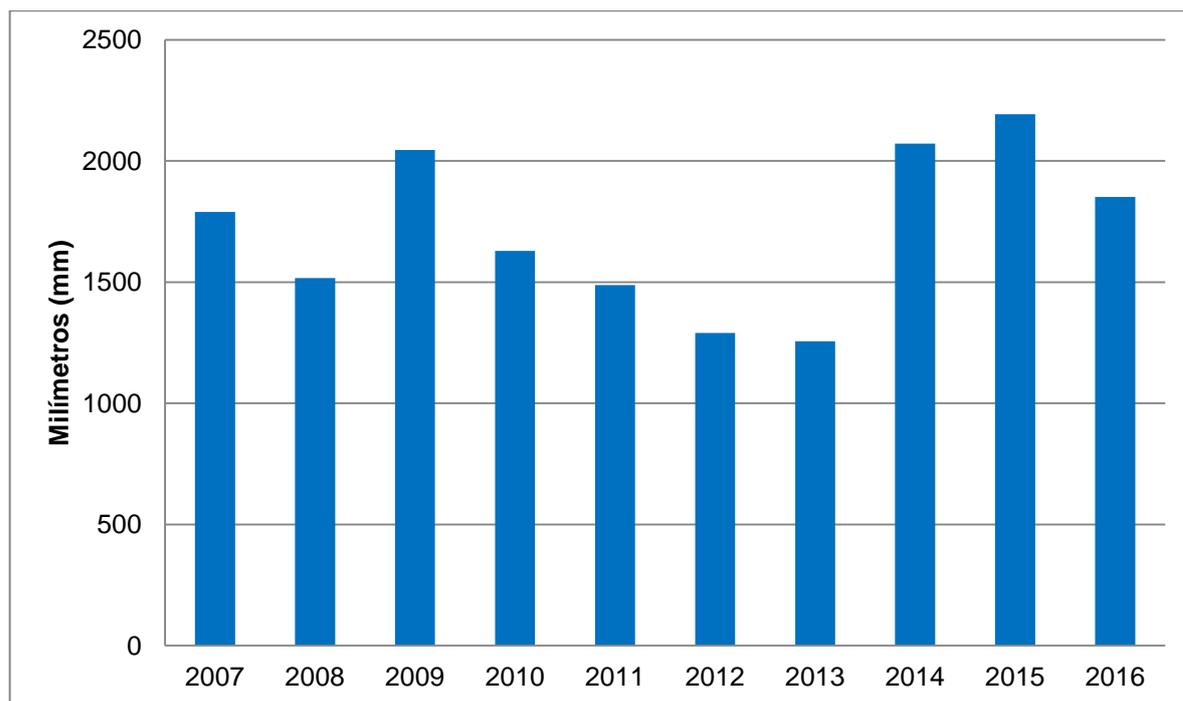


Fonte: Autor (2018).

Conforme Figura 7, é possível observar os efeitos da sazonalidade durante o ciclo hidrológico. O período mais chuvoso foi de julho a outubro, enquanto que o período de maior estiagem se estende de março a junho.

Historicamente, o mês com menor média de precipitação é o de junho com 100,0 mm, e a média histórica ao longo dos dez anos é de 142,7 mm/mês, tendo uma variação de apenas 30,03%, enquanto a média do mês de fevereiro, que registra maior precipitação, é de 185,6 mm, 23,11% superior à média histórica.

Figura 8 -Distribuição anual da precipitação pluviométrica. Estação automática Caçapava do Sul-A812 (2007-2016).



Fonte: Autor (2018).

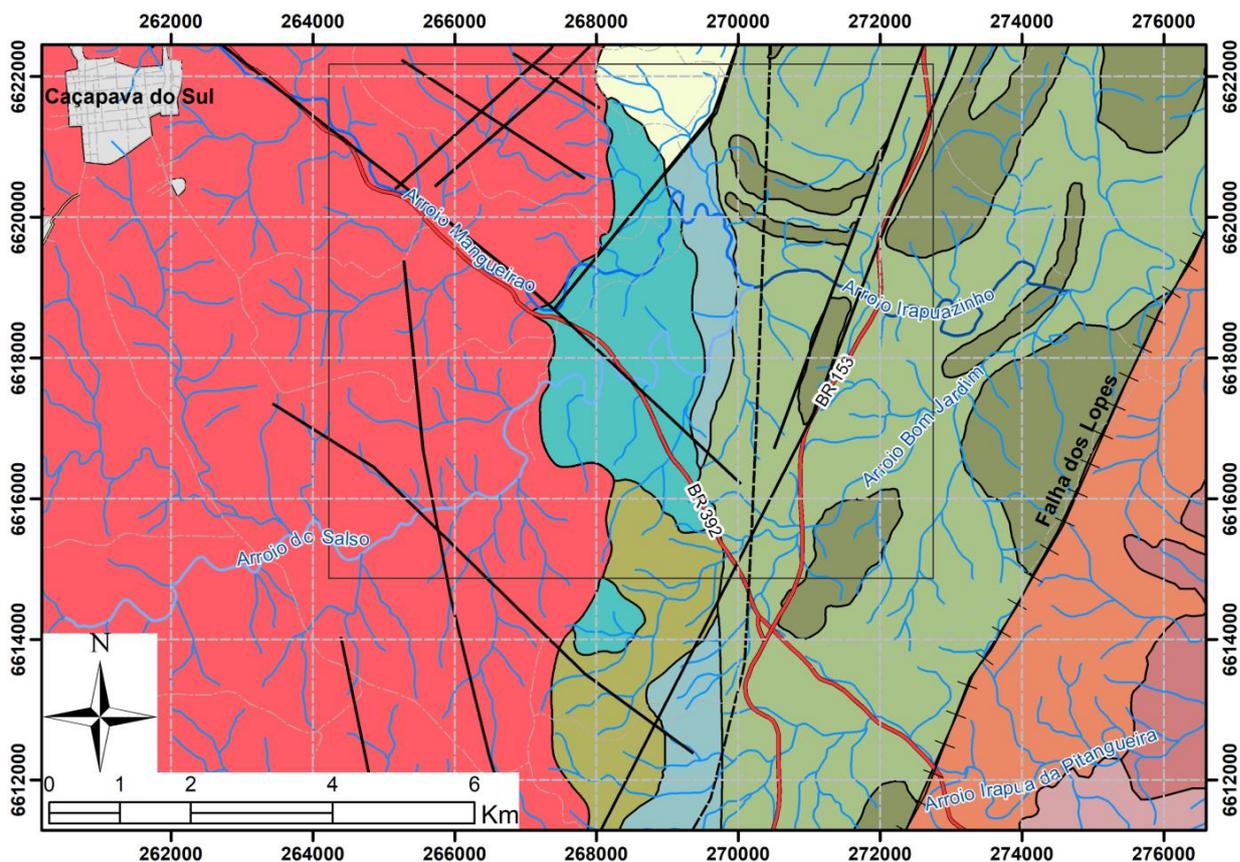
Observando-se os dados apresentados na Figura 8, verificam-se os efeitos da sazonalidade na distribuição das chuvas ao longo dos anos de estudo.

Historicamente, o ano com menor média de precipitação é o de 2013 com 1.255,4 mm, tendo em vista que a média histórica ao longo dos dez anos é de 1.712,9 mm/ano, há uma variação 26,71%. Todavia a média do ano de 2015, que registra maior precipitação, sendo esta de 2.192 mm é 21,86% superior à média histórica.

3.1.5 Geologia local

A área de estudo encontra-se inserida em sua maior parte na Suíte Granítica Caçapava do Sul e no Complexo Metamórfico Passo Feio, conforme mapa geológico da área de estudo, Figura 9.

Figura 9 - Mapa geológico área de estudo.



Convenções Cartográficas

Área de Estudo	Estruturas	Litologia	Formação Arroio dos Nobres
Drenagens	Falha extensional	Depósitos Aluviais	Complexo Passo Feio (metapelitos e xistos)
Estrada	Falha ou Fratura	Formação Varzinha	Complexo Passo Feio (mármore dolomítico)
Federal	Falha ou Fratura encoberta	Formação Pedra Pintada	Complexo Passo Feio (metatufos e metaepiclásticas)
Estadual		Suíte Granítica Caçapava do Sul	Formação Serra dos Lanceiros
Municipal		Formação Hilário	Gnaiss Neto Rodrigues
Datum: SIRGAS 2000, Zona: 22 J			

Fonte: Modificado de CPRM (2017) folha SH.22-Y-A-V Caçapava do Sul.

A suíte granítica de Caçapava também conhecida como Granito Caçapava do Sul, possui em sua composição rochas que variam de sienograníticas a granodioríticas, sendo totalmente envolvido por rochas metassedimentares e

metavulcânicas da Formação Vacacaí. Os calcários são situados na borda leste do Granito Caçapava, deste modo, sofrendo influência do metamorfismo de contato desenvolvendo associações mineralógicas características (RIBEIRO et al., 1966).

Uma extensa área de calcário aflorante pertence ao Complexo Passo Feio, bordejando o Granito Caçapava do Sul, segundo Bortolotto (1987), o mármore é uma rocha metamórfica que possui entre 50% e 95% de carbonatos formados a partir de calcários e dolomitos submetidos a pressões e temperaturas elevadas compreendendo uma sequência de metapelitos, anfibolitos, rochas metavulcanoclásticas, metavulcânicas, mármore, rochas calcissilicáticas, quartzitos xistos magnesianos e rochas quartzo-feldspáticas metamorfizada (BITENCOURT, 1983).

Bortolotto (1987) em seu trabalho denominado “Petrografia dos Mármore de Caçapava do Sul”, definiu os mármore do Complexo Metamórfico Passo Feio como mármore dolomíticos. Ainda, testes colorimétricos realizados por Remus et al., 2000, revelam uma composição predominantemente dolomítica dos mármore inseridos neste complexo, de modo que nos halos de alteração hidrotermal há presença de calcita.

3.1.6. Hidrografia

No Rio Grande do Sul, as bacias hidrográficas foram agrupadas em três Regiões Hidrográficas para fins de gerenciamento, sendo elas: a região do rio Uruguai que coincide com a bacia nacional do Uruguai, a região do Guaíba e a região do Litoral.

A área de estudo integra à Região Hidrográfica do Guaíba que possui uma área aproximada de 84.751,48 km², correspondendo a cerca de 30% da superfície estadual. A sua população total foi estimada em 6.884.253 habitantes, distribuída em 257 municípios, incluindo os pertencentes à Região Metropolitana de Porto Alegre. Divide-se em nove bacias hidrográficas, que drenam direta ou indiretamente para o Lago Guaíba e este para a Laguna dos Patos, quais sejam: Alto Jacuí, Baixo Jacuí, Caí, Gravataí, Lago Guaíba, Pardo, Sinos, Taquari-Antas e Vacacaí e Vacacaí-Mirim (SEMA/DRH, 2008).

No que diz respeito à Bacia Hidrográfica a área de estudo insere-se no Baixo Jacuí (G070), situada na porção centro-sul da Região Hidrográfica do Guaíba

(Figura 10). A Bacia do Baixo Jacuí abrange total ou parcialmente 40 municípios, ocupando uma área de 17.345,15 km² com população estimada de 385.496 habitantes. Seus principais corpos hídricos são: os arroios Irapuá, Capané, Botucacaí, Capivari, do Conde, dos Ratos, dos Cachorros, Ibacurú e o rio Jacuí (SEMA/DRH, 2008).

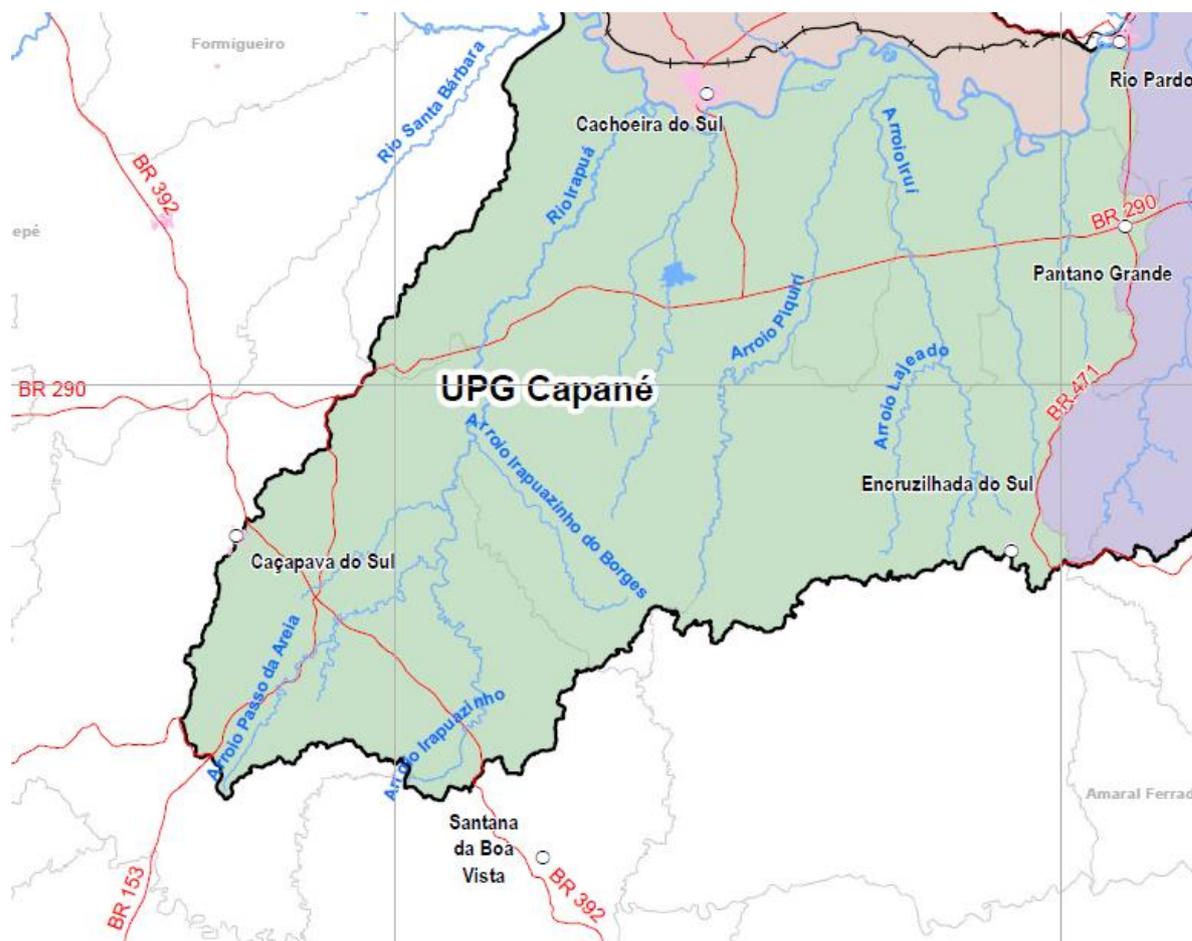
Figura 10 - Localização da Bacia Hidrográfica do Baixo Jacuí



Fonte: SEMA/ DRH (2014).

A referida bacia possui 04 Unidades de Planejamento e Gestão – UPGs sendo elas: Soturno, Capané, Capivari e dos Ratos, de modo que, a área estudada está inserida na UPG Capané (Figura 11).

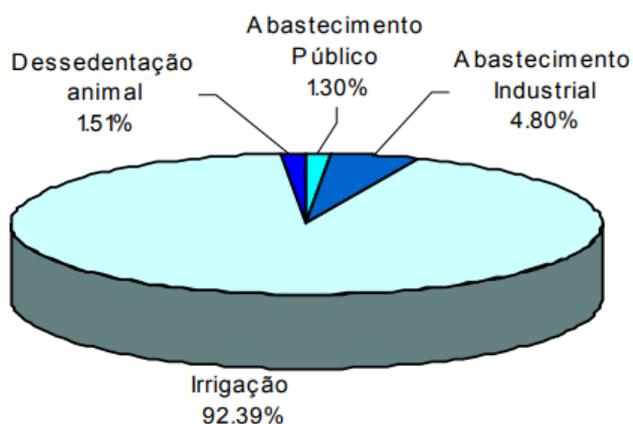
Figura 11 - Detalhamento UPG- Capané



Fonte: SEMA/ DRH (2014).

A água utilizada nesta bacia é voltada principalmente para irrigação seguidos do consumo industrial, humano e animal (Figura 12) conforme SEMA/ DRH (2008). No caráter não consuntivo, é usada para navegação, mineração, turismo/lazer, pesca (SEMA/ DRH, 2014).

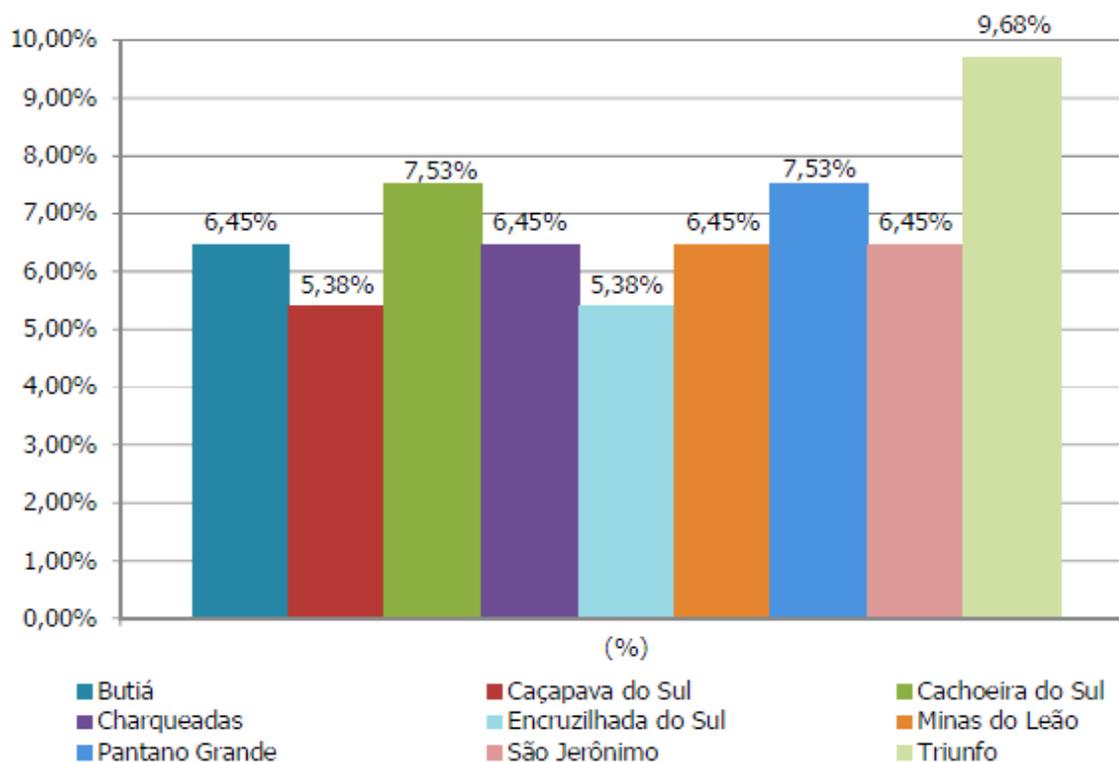
Figura 12 -Estimativas de demandas hídricas superficiais anuais na Bacia do Baixo Jacuí



Fonte: SEMA/DRH (2008).

No que diz respeito à atividade mineral na Bacia do Baixo Jacuí (G070), o município com maior incidência de extração mineral é o de Triunfo enquanto Caçapava do Sul e Encruzilhada do sul ocupam os menores índices (Figura 13).

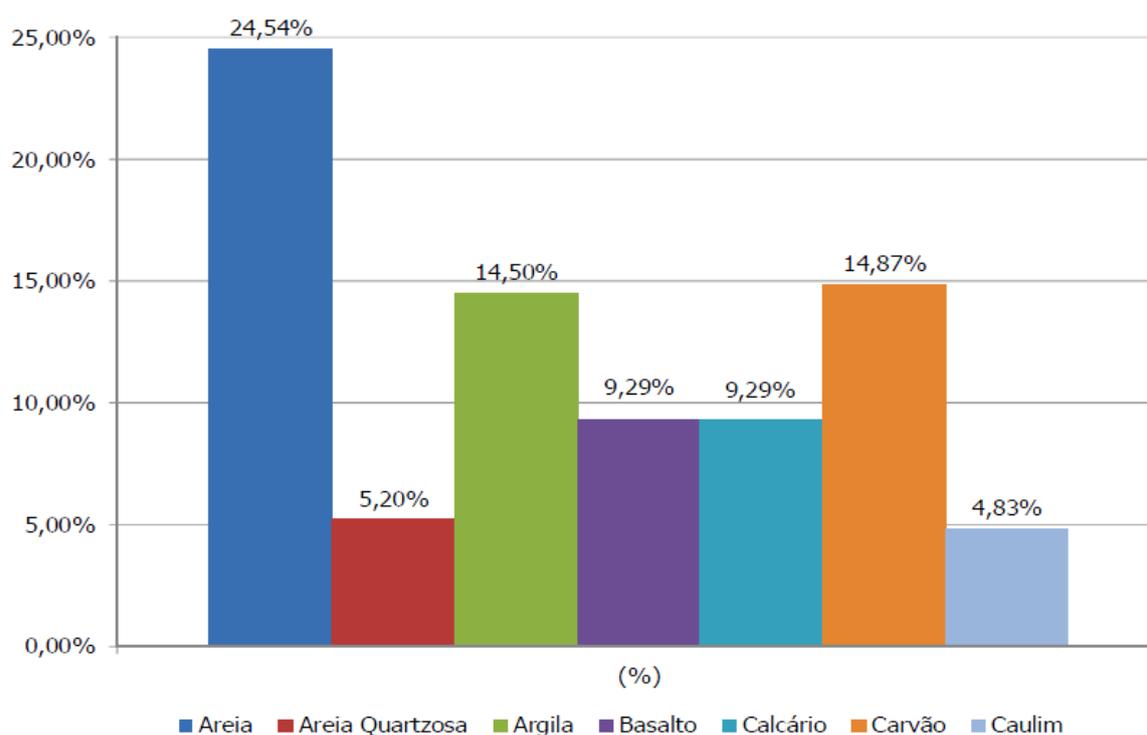
Figura 13 -Municípios com as maiores incidências de extração mineral na Bacia G070



Fonte: SEMA/ DRH (2014)

Em relação às principais substâncias de extração mineral a areia aparece com quase 25% bem acima das demais seguido do carvão, argila, basalto/calcário, areia quartzosa e caulim (Figura 14).

Figura 14 - Principais substâncias de extração mineral na Bacia G070



Fonte: SEMA/ DRH (2014)

Dentro do município de Caçapava do Sul, a bacia do Baixo Jacuí apresenta as seguintes características (Tabela 6):

Tabela 6 -Inserção da Bacia Hidrográfica no município de Caçapava do Sul.

Município	Sede municipal inserida na bacia	Área (km²)		% da área do município na bacia	População total (hab) 2010	População inserida na bacia (hab) 2010		
		Total	Bacia G070			Urbana	Rural	Total
Caçapava do Sul	Parcialmente	3.048,93	1.250,54	41,02	33.690	9.945	3.396	13.341

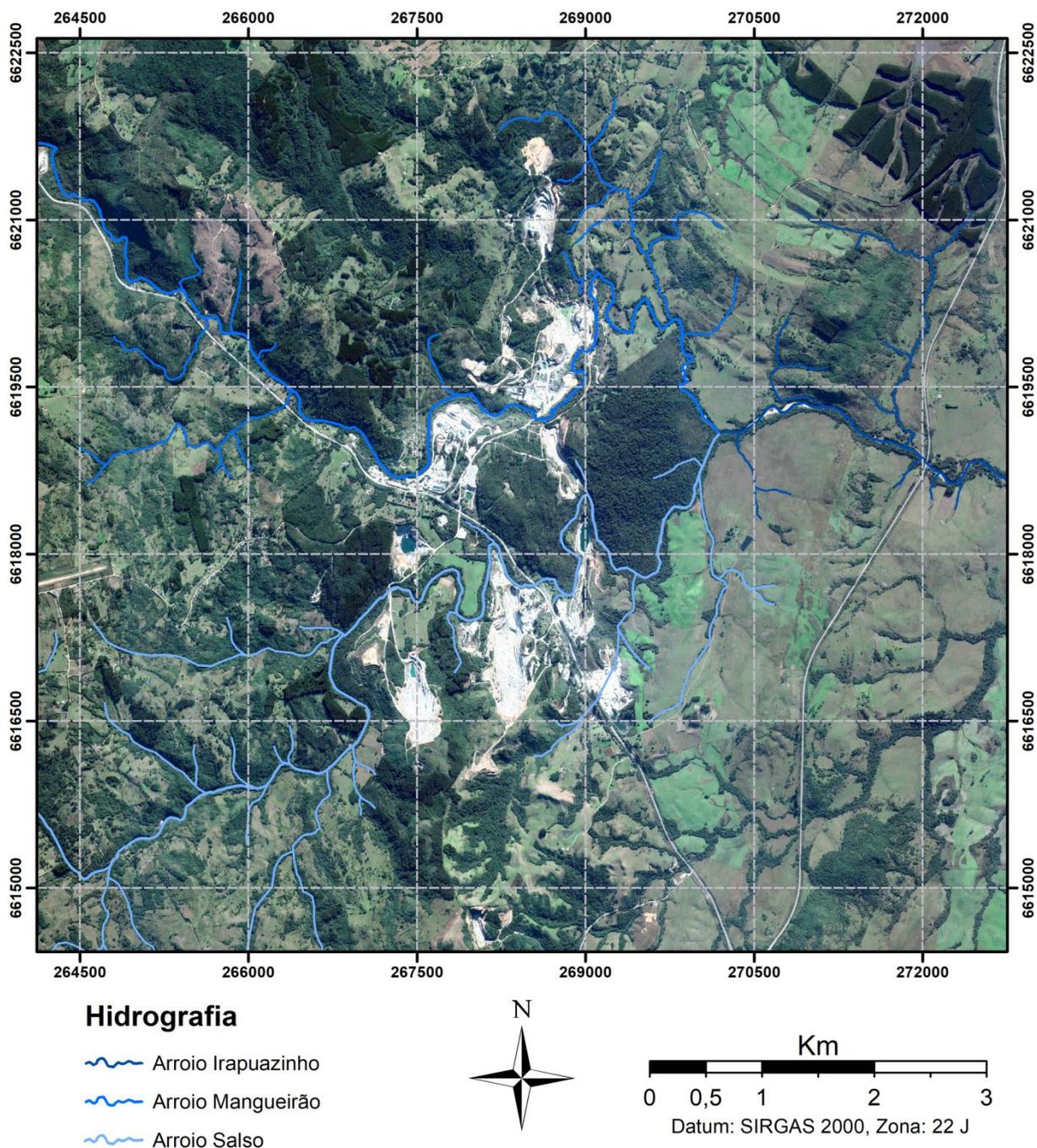
Fonte: Adaptado de SEMA/ DRH (2014).

Deste modo, os Arroios Mangueirão e Salso pertencem a Região Hidrográfica do Guaíba, Bacia Hidrográfica do Baixo Jacuí e estão inclusos ainda na microbacia regional do Rio Irapuá. Estes por sua vez, desaguam no Rio Irapuazinho que é afluente do Rio Irapuá.

O Rio Irapuá foi classificado conforme Enquadramento das Águas Superficiais da Bacia do Baixo Jacuí, deliberado pelo Comitê de Gerenciamento da Bacia Hidrográfica para o horizonte de 20 anos (até 2034) por intermédio da qualidade das águas superficiais como classe 2, conforme disposto na Resolução CRH nº 172/2015.

Através da Figura 15 é possível observar os respectivos cursos d'água presentes na área de estudo.

Figura 15 - Localização dos Arroios Mangueirão, Salso e Irapuazinho na área de estudo.



Fonte: Autor (2018).

3.1.7 Enquadramento fitogeográfico

A área está inserida no Bioma Pampa, bioma brasileiro que está restrito ao estado do Rio Grande do Sul, onde ocupa uma área de 176.496 km² (IBGE, 2004), correspondendo a 63% do território estadual e a 2,07% do território brasileiro.

A área de estudo localiza-se na região fisiográfica da Serra do Sudeste no Escudo Sul-Rio-Grandense. A região da Serra do Sudeste corresponde à unidade de relevo Planalto Sul-Rio-Grandense (HERRMANN; ROSA, 1990).

Teixeira et al. (1986) definiram a do vegetação da Serra Sudeste como Savana, distinguindo apenas nas encostas orientais a Floresta Estacional Semidecídua e no interior a vegetação seria a Savana Arbórea Aberta, a Savana Parque e a Savana Gramíneo-Lenhosa, além de floresta de galeria e raramente de encostas.

Segundo Cordeiro e Hasenack (2009) os campos sul-brasileiros foram nomeados como savanas e estepes, além de savanas estépicas ou estepes savânicas, a fim de se buscar uma concordância com terminologias internacionais, o que acabou por gerar interpretações variadas criando certa confusão em sua classificação. Assim, em 1992 o IBGE propôs um esquema de classificação para as regiões campestres, de modo que, estes foram inclusos em apenas duas regiões fitoecológicas: Savana Estépica e Estepe, sendo o termo Savana, que era anteriormente empregado para denominar grande parte dos campos do Rio Grande do Sul, reservado às formações abertas do Brasil Central e Amazônia.

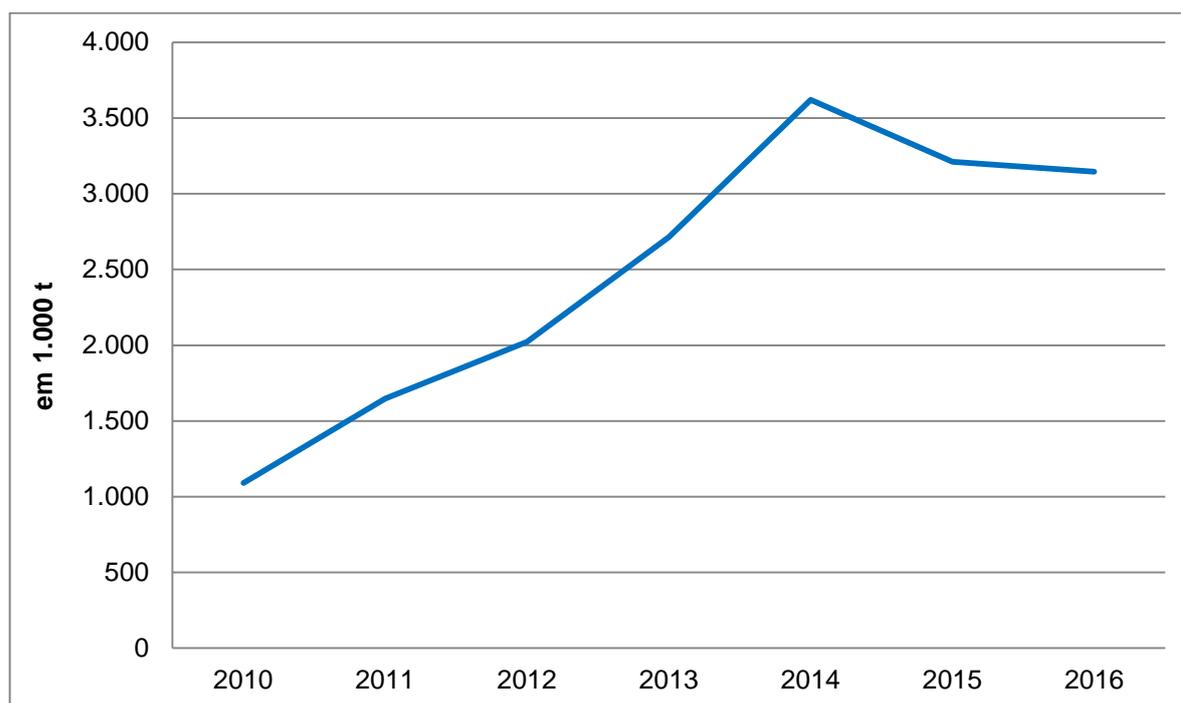
Conforme Manual Técnico da Vegetação Brasileira (IBGE, 2012), a área de estudo encontra-se na vegetação Estepe com a subformação Parque e Gramíneo-Lenhosa. Este tipo de vegetação caracteriza-se pelo predomínio de formações campestres na paisagem, florestas restritas às margens dos cursos d'água, fundos de vale e encostas mais úmidas, com grande ocorrência de endemismos, adaptações fisiológicas e morfológicas das plantas (sistema radicular, pilosidade, espinescência, rusticidade), ocorrência de vegetação rupestre e formação de mosaicos vegetacionais complexos entre campos e florestas.

3.2 Produção de calcário

Conforme Anuário Mineral Estadual (DNPM, 2018b), através de análise dos dados do período disponível para consulta, o município de Caçapava do Sul comercializou um total de 17.449 milhões de toneladas entre os anos de 2010 a 2016.

Tanto no Brasil quanto no estado do Rio Grande do Sul, houve um aumento da produção de calcário ao longo dos anos. Este fato não é diferente no município de Caçapava do Sul, visto que também houve crescimento na produção de calcário, sendo o ano de 2014 o de maior produção com 3.621 milhões de toneladas (Figura 16).

Figura 16 - Produção de calcário no município de Caçapava do sul



Fonte: Autor (2018), a partir de dados de ABRACAL.

3.3 Pontos de Monitoramento do estudo

A área de estudo abrange 13 (treze) pontos de monitoramento localizados em três cursos d'água denominados: Arroio Mangueirão, Arroio do Salso e Arroio Irapuazinho, estes estão sob área de influência da mineração de calcário, cujas coletas de monitoramento são realizadas anualmente por laboratório especializado, conforme exigência do Órgão Ambiental competente.

Os dados do referido monitoramento foram obtidos junto a Prefeitura Municipal de Caçapava do Sul, sendo que o período avaliado foi de 2007-2016, de modo que um destes pontos (SP4) foi incluído a partir do ano de 2011.

Os pontos de monitoramento foram nomeados seguindo o curso d'água e a ordem de coleta conforme Tabela 7:

Tabela 7-Denominação dos pontos de monitoramento

Ponto	Denominação	Coordenadas geográficas (UTM)
MP1	Mangueirão principal 1	22 J, 265480.21 m E, 6620281.30 m S
MP2	Mangueirão principal 2	22 J, 267144.07 m E, 6618861.48 m S
MP3	Mangueirão principal 3	22 J, 268550.19 m E, 6619229.50 m S
MP4	Mangueirão principal 4	22 J, 269243.53 m E, 6620342.38 m S
MC1	Mangueirão contribuinte 1	22 J, 268929.43 m E, 6620315.41 m S
MC2	Mangueirão contribuinte 2	22 J, 268246.37 m E, 6621749.78 m S
SP1	Salso principal 1	22 J, 264839.92 m E, 6615309.58 m S
SP2	Salso principal 2	22 J, 267250.53 m E, 6617669.93 m S
SP3	Salso principal 3	22 J, 268543.24 m E, 6617714.02 m S
SP4	Salso principal 4	22 J, 268867.96 m E, 6618020.33 m S
SC1	Salso contribuinte 1	22 J, 269107.36 m E, 6616690.73 m S
SC2	Salso contribuinte 2	22 J, 269282.33 m E, 6617112.34 m S
IP1	Irapuazinho principal 1	22 J, 272029.86 m E, 6618803.89 m S

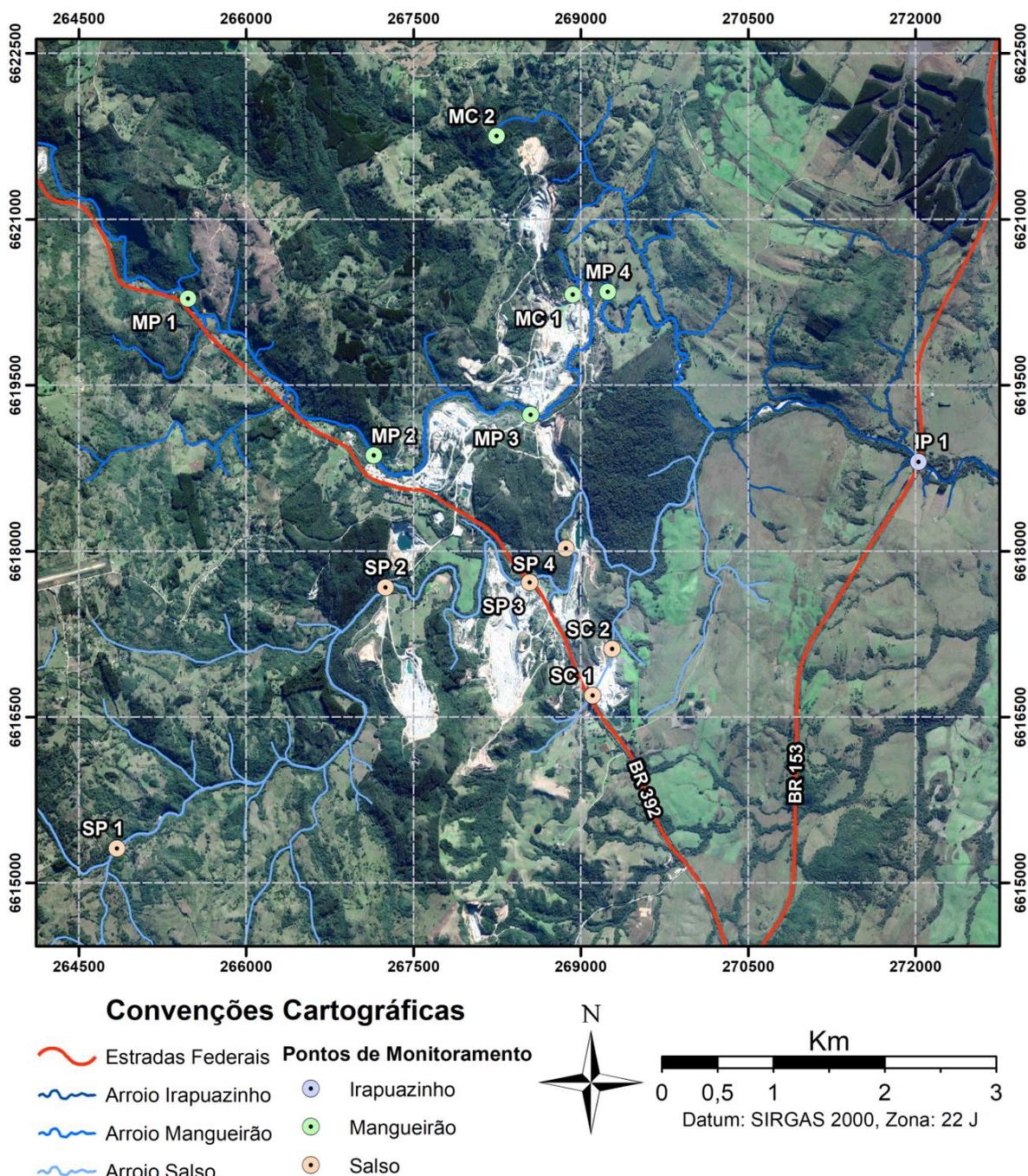
Fonte: Autor (2018).

Destes pontos de monitoramento, seguindo o fluxo d'água dos corpos hídricos estudados, quatro antecedem a mineração (MP1, MP2, SP1 e SP2), oito abrangem a área de mineração (MP3, MP4, MC1, MC2, SP3, SP4, SC1 e SC2), e um deles está localizado após a atividade (IP1).

Cabe destacar que os Arroios Mangueirão e Salso, fluem nas proximidades da zona urbana do município antes de adentrar a área de mineração, de modo que posteriormente ambos desaguam no Arroio Irapuazinho.

Na Figura 17 é apresentado mapa da área de estudo com localização dos pontos de monitoramento.

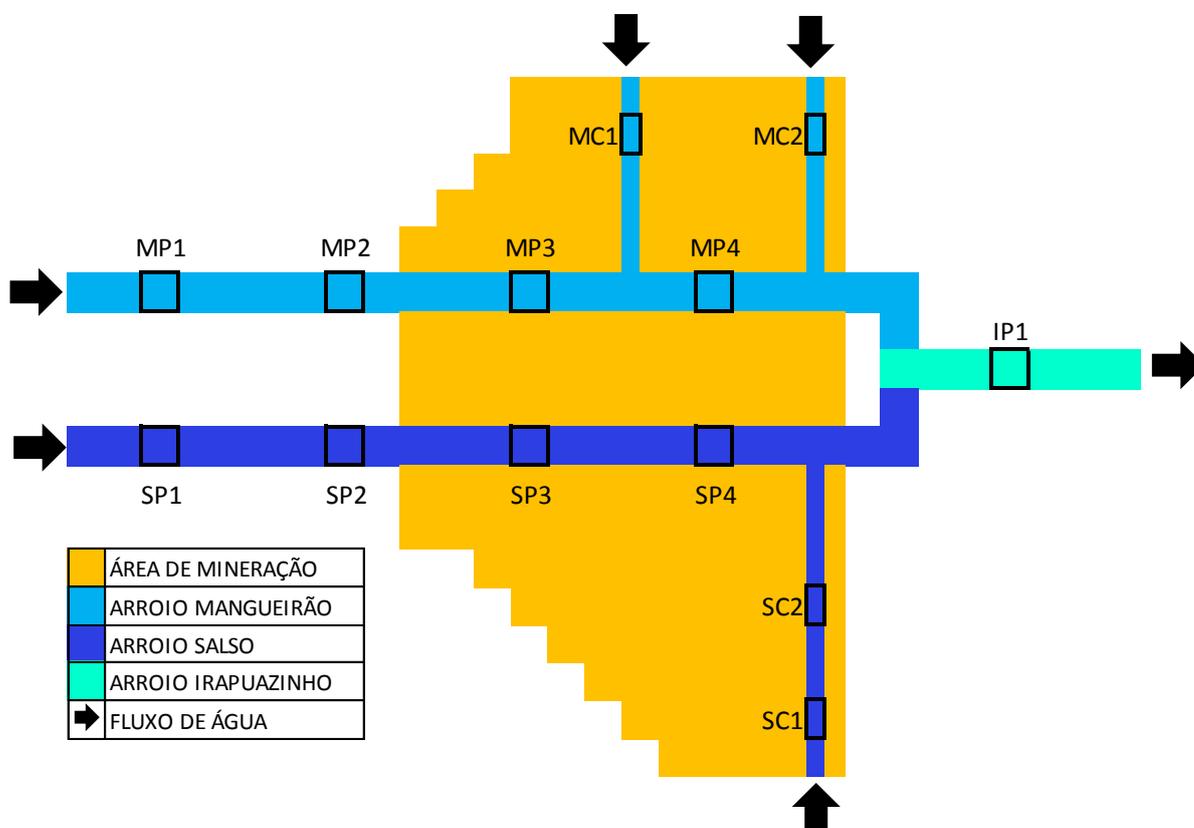
Figura 17 - Mapa de localização dos pontos de monitoramento da área de estudo.



Fonte: Autor (2018).

Com intuito de melhor visualização foi confeccionado um fluxograma evidenciando a distribuição dos pontos de monitoramento ao longo dos cursos d'água conforme Figura 18.

Figura 18 - Fluxograma com a distribuição dos pontos de monitoramento ao longo dos cursos d'água.



Fonte: Autor (2018).

3.4 Parâmetros de qualidade da água

Os parâmetros de qualidade da água avaliados no referido estudo foram: alcalinidade, carbono orgânico, condutividade, DBO5, DQO, fósforo total, nitrato, oxigênio dissolvido, pH e sólidos totais. Estas análises referem-se a monitoramento anual realizado pelas mineradoras de calcário.

As coletas e análises das amostras foram realizadas por laboratório credenciado junto à FEPAM (Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luiz Roessler) para realização de estudos ambientais, devidamente licenciado para análises de águas subterrâneas, superficiais e de efluentes líquidos. Suas análises são reconhecidas pela NBR ISO/EC 17025:2005 pela rede metrológica RS, certificados Nº 22902 e 22903.

Os métodos utilizados para as referidas análises são apresentados na Tabela 8:

Tabela 8 - Métodos utilizados para os referidos ensaios

Ensaio	Unidade	Método
Alcalinidade	mg CaCO ₃ /L	SMEWW 2320B, 22º ed
Carbono orgânico	mg C/L	ABNT NBR 10739, 1989
Condutividade	uS/cm	SMEWW 2510, 22º ed
DBO5	mg O ₂ /L	SMEWW 5210-B, 22º ed
DQO	mg O ₂ /L	SMEWW 5220-B, 22º ed
Fósforo total	mg P/L	SMEWW 4500P-B, E, 22º ed
Nitrato	mg N/L	SMEWW 429E, 14th ed
Óxigênio dissolvido	mg O ₂ /L	SMEWW 4500O C, 22nd ed
pH	-----	SMEWW 4500H+ B, 22º ed
Sólidos totais	mg/L	SMEWW 2540-B, E, 22º ed

Fonte: Autor (2018) a partir de informações do relatórios de ensaio.

A análise temporal utilizada pelo estudo foi de dez anos englobando os anos de 2007 a 2016.

3.5 Coeficiente de Correlação de Pearson

O Coeficiente de correlação linear de Pearson, representado por r , refere-se a como duas variáveis quantitativas se associam linearmente (MARTINS, 2014).

Triola (2005) define coeficiente de correlação da seguinte maneira:

O coeficiente de correlação linear r mede o grau de relacionamento linear entre os valores emparelhados x e y de uma amostra. (...) O coeficiente de correlação linear é chamado às vezes coeficiente de correlação momento-produto de Pearson, em homenagem a Karl Pearson (1857-1936) que o estabeleceu. (TRIOLA, 2005, p. 236).

Ainda segundo Triola (2005, p.235): “Existe uma correlação entre duas variáveis quando uma delas está, de alguma forma, relacionada com a outra”

O coeficiente de correlação Pearson (r) varia de -1 a 1. O sinal indica direção positiva ou negativa do relacionamento e o valor sugere a força da relação entre as

variáveis. Uma correlação perfeita (-1 ou 1) indica que o escore de uma variável pode ser determinado exatamente ao se saber o escore da outra. No outro oposto, uma correlação de valor zero indica que não há relação linear entre as variáveis (FIGUEIREDO FILHO; SILVA JUNIOR, 2009).

Para o respectivo estudo os valores de r encontrados foram classificados conforme Dancey e Reidy (2006):

Se $r = 0,10$ até $0,30$ indicam um coeficiente de correlação fraco;

Se $r = 0,40$ até $0,6$ coeficiente de correlação moderado;

Se $r = 0,70$ até 1 coeficiente de correlação forte;

Quando se tem $r = 0$ ou próximo a este valor, não existe correlação linear entre as variáveis X e Y .

Um valor de r positivo indica uma associação linear positiva entre as duas variáveis, assim, há uma relação diretamente proporcional, de modo que, quando os valores de uma das variáveis aumentam, existe tendência para que os valores da outra variável também aumentem. Um valor de r negativo, isto é, uma associação linear negativa entre as duas variáveis, demonstra uma relação inversamente proporcional, de forma que quando os valores de uma das variáveis aumentam, existe tendência para que os valores da outra variável diminuam (MARTINS, 2014).

Este coeficiente foi calculado a fim de se verificar a correlação dos parâmetros físico-químicos avaliados entre si, bem como a correlação destes parâmetros com a precipitação pluviométrica registrada nos sete dias anteriores à coleta, segundo dados da Estação automática Caçapava do Sul-A812 para o período de 2011 a 2016, visto que as informações do dia da coleta foram disponibilizadas a partir do ano de 2011.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados serão apresentados e discutidos separadamente em subitens para cada parâmetro determinado nos treze pontos de monitoramento ao longo dos dez anos de análise.

4.1 Alcalinidade

Os resultados analíticos para alcalinidade nos pontos de monitoramento estão demonstrados na Tabela 9.

Tabela 9 - Resultados analíticos para alcalinidade (2007-2016)

ALCALINIDADE (mg CaCO ₃ /L)													
ANO	MP1	MP2	MP3	MP4	MC1	MC2	SP1	SP2	SP3	SP4	SC1	SC2	IP1
2007	57	34,8	50,8	59,3	76,1	52,7	26,3	33,9	47	*	133	166	67,7
2008	80,3	40,7	58,3	67,1	47,3	59,4	27,5	34,1	48,4	*	153	188	67,1
2009	41,1	36,7	52,9	76,8	40,9	53,1	26,8	32,3	42	*	126	153	59,9
2010	39,8	36,3	57,6	82,3	49	57,6	27	33,9	48,6	*	162	200	75,4
2011	40,1	29,6	30,8	56,1	42,5	55,5	24,7	29	39,5	38	98,7	136	53,6
2012	95,3	75,7	113	133	104	127	42,1	58,4	72,8	96,7	215	255	110
2013	67	60,2	81,6	89,3	68	81,6	35,4	42,7	57,3	60,7	244	244	81,6
2014	35,2	51,14	46,9	58,1	36,2	45,7	27,2	31	42,7	45,8	114	142	60,2
2015	62,7	65,7	94,5	97,5	69,6	73,6	32,8	37,8	61,7	64,7	161	216	40,8
2016	58,5	45,5	69,6	86,5	60,9	66,9	38,9	40,5	47,1	49	183	221	68,1

* Ponto de monitoramento incluído a partir do ano de 2011.

Fonte: Autor (2018).

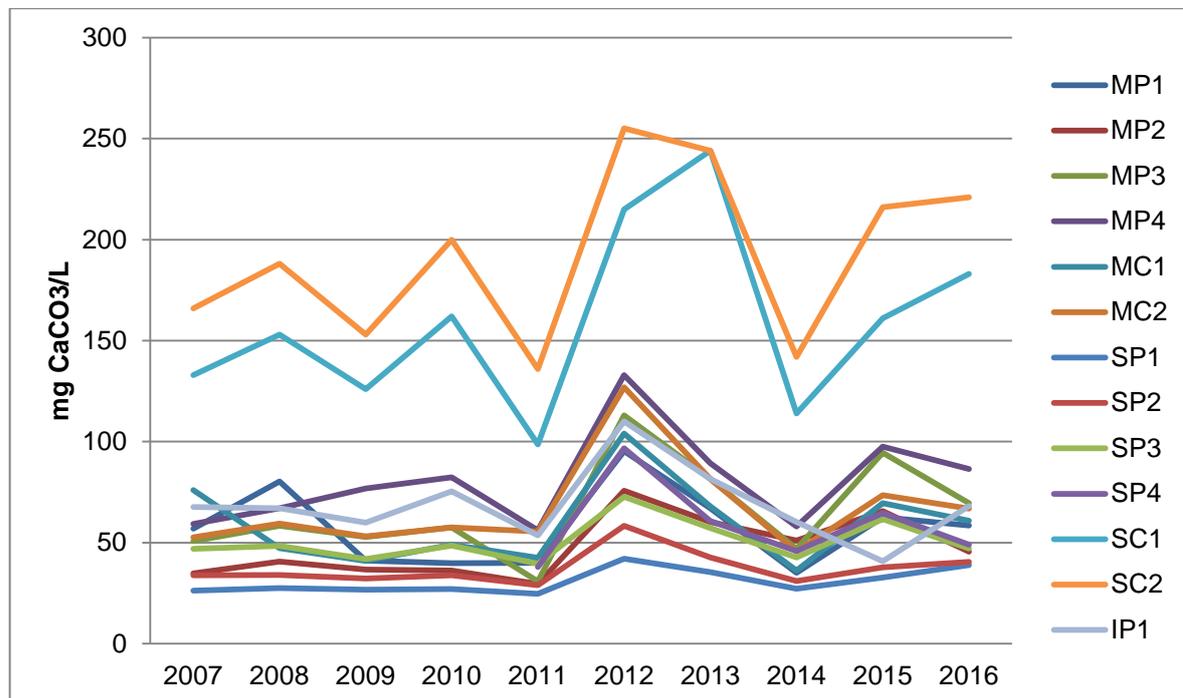
A Resolução CONAMA nº 357/2005 não estabelece valores limites para o parâmetro alcalinidade. Este parâmetro não constitui em padrão de potabilidade, ficando este efeito limitado pelo valor do pH.

Segundo Manual de controle da qualidade da água para técnicos que trabalham em ETAS (BRASIL, 2014) a alcalinidade da maioria das águas naturais apresenta valores na faixa de 30 a 500 mg/L de CaCO₃.

Nos estudos de FRITZSONS et al (2009), estes apresentam que a alcalinidade das águas superficiais raramente excedem os 500 mg/L CaCO₃, de forma que águas de baixa alcalinidade (<24 mg/L CaCO₃) apresentam baixa capacidade de tamponamento e, assim, são suscetíveis às mudanças de pH.

Ao analisarmos a evolução da alcalinidade ao longo dos anos por ponto de monitoramento, percebe-se claramente que os pontos SC1 e SC2 apresentam alcalinidade sempre mais elevada em relação aos demais pontos, porém, estes acompanham as variações ano a ano de forma semelhante quando comparado aos demais, conforme Figura 19.

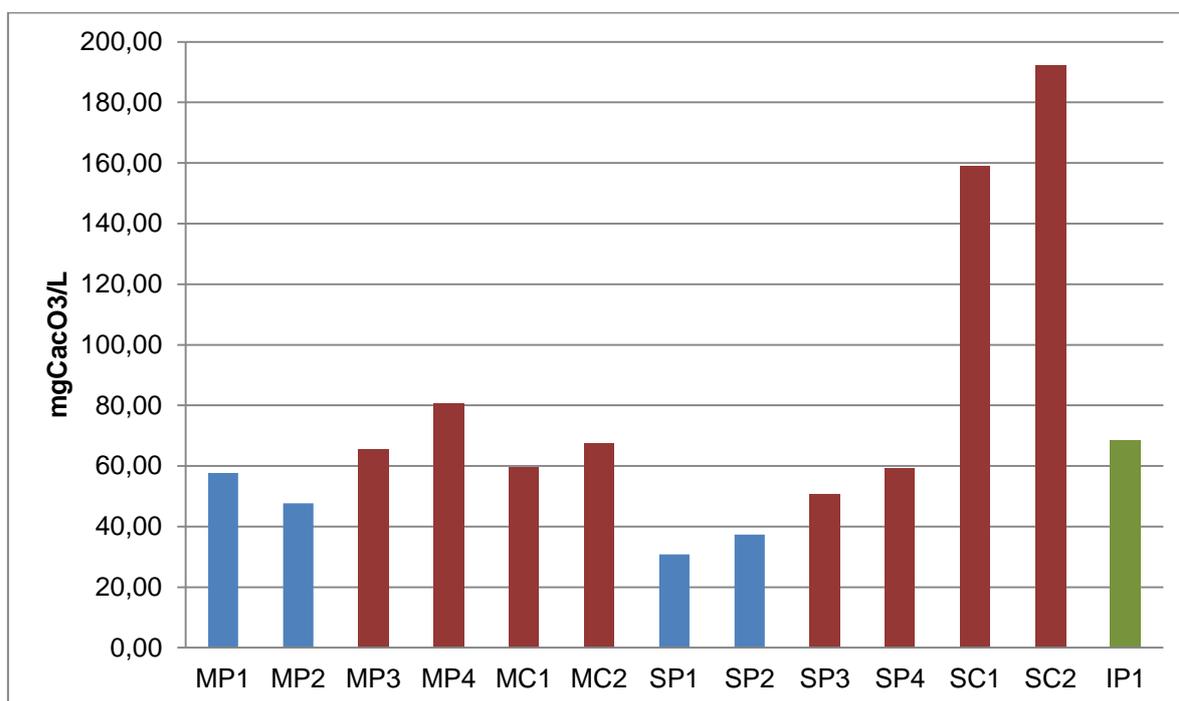
Figura 19 - Evolução da alcalinidade nos anos de estudo por ponto de monitoramento



Fonte: Autor (2018).

A Figura 20 ilustra a média de alcalinidade em cada ponto, com destaque aos pontos antes que o curso d'água adentre na mineração (quatro pontos no curso d'água principal), dentro da área de mineração (oito pontos, quatro cursos d'água principais e quatro contribuintes) e posterior à mineração (um ponto no curso d' água principal).

Figura 20 - Média da alcalinidade nos anos de estudo por ponto de monitoramento



	Coletado antes da área de mineração
	Coletado na área de mineração
	Coletado após área de mineração

Fonte: Autor (2018).

Embora a alcalinidade apresente grande variabilidade de resultados, o menor valor encontrado foi na amostra do ponto SP1 ano de 2011 com valor de 24,7 mg/L CaCO₃ este ponto também registra a menor média ao longo dos anos de estudo com valor médio de 30,87 mg/L CaCO₃. Já o ponto SC2 apresentou os maiores valores tanto na análise isolada que foi de com 255,0 mg/L CaCO₃ no ano de 2012 quanto na média histórica que foi de 192,10 mg/L CaCO₃.

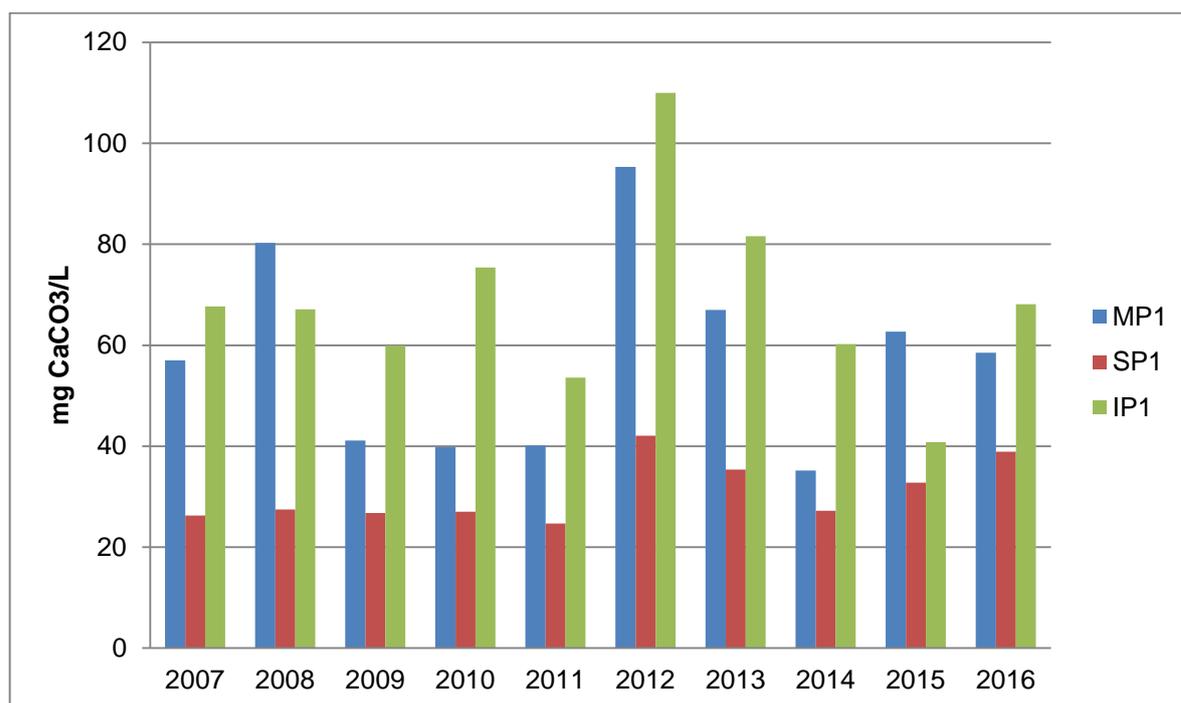
Destaca-se que o ponto SP1 fica distante cerca de 4,5 km da área de mineração, enquanto o ponto SC2 encontra-se dentro da área da mineração em um curso contribuinte de pequeno volume de água comparado ao curso principal. Percebe-se assim que tanto o maior valor, quanto o menor valor encontrado estão dentro faixas de alcalinidade para águas superficiais naturais conforme supracitado.

Ainda, observando a Figura 20 fica visível que a média de alcalinidade do ponto IP1 é um pouco maior que os pontos que antecedem a mineração (MP1, MP2, SP1, SP2), enquanto que os coletados dentro da área da mineração (MP3, MP4,

MC1, MC2, SP3, SP4, SC1, SC2) apresentam valores mais elevados, possivelmente devido à presença de carbonatos na água.

A partir dos dados da Figura 21 é possível visualizar, de maneira isolada, o efeito da alcalinidade nos pontos MP1, SP1 (antes da mineração) e IP1 (após a mineração).

Figura 21- Análise da alcalinidade nos pontos MP1, SP1 e IP1



Fonte: Autor (2018).

Percebe-se que o ponto SP1 apresenta a menor alcalinidade em todos os dez anos de análise. Já o ponto IP1 apresentou maior alcalinidade em oito anos de análise.

Os valores mais elevados de alcalinidade nestes três pontos (MP1, SP1 e IP1) estão registrados no ano de 2012, ano em que a precipitação pluviométrica registrou apenas 0,6 mm, menor registro nos sete dias que antecederam todas as coletas.

Embora tenha ocorrido incremento de alcalinidade no ponto IP1, localizado após a mineração, durante os dez anos de estudo o limite de 500 mg/L de CaCO₃ nunca foi excedido, nem nos valores unitários, nem nos valores médios de alcalinidade nos pontos de monitoramento, ficando sempre abaixo do estipulado.

4.2 Carbono orgânico

Os resultados analíticos para carbono orgânico total (COT) nos pontos de monitoramento estão apresentados na Tabela 10.

Tabela 10- Resultados analíticos para carbono orgânico (2007-2016)

CARBONO ORGÂNICO TOTAL (mg C/L)													
ANO	MP1	MP2	MP3	MP4	MC1	MC2	SP1	SP2	SP3	SP4	SC1	SC2	IP1
2007	1,95	2,5	0,83	0,83	1,39	0,28	0,83	0,83	1,39	*	0,28	1,38	0,28
2008	0,95	0,8	0,84	0,8	0,91	0,69	1,46	1,35	1,13	*	0,69	0,58	1,17
2009	1,12	1,09	1,05	0,94	0,9	0,79	1,24	1,12	1,16	*	0,75	1,5	1,2
2010	0,81	0,67	0,67	ND**	0,55	0,52	0,81	0,55	0,96	*	ND**	0,59	0,52
2011	0,87	0,98	1	0,92	0,8	0,74	1,18	1,25	1,18	1,14	0,78	0,92	1,16
2012	1	0,94	0,79	0,71	0,64	0,49	0,97	0,97	0,86	0,71	0,31	0,57	0,89
2013	1,37	0,98	0,65	0,87	1,01	0,54	1,16	1,09	1,19	1,27	0,4	0,61	1,08
2014	0,68	0,72	0,71	0,64	0,75	0,64	1,53	1,03	2	0,96	0,53	0,93	1,36
2015	1	1,19	1	0,82	1	0,45	1,08	1,26	1,15	1,12	0,59	0,63	0,96
2016	1,34	1,88	1,76	1,19	0,96	0,57	1,38	1,15	0,92	0,76	0,84	0,42	0,92

* Ponto de monitoramento incluído a partir do ano de 2011.

**ND: não detectável

LD: 0,01 mg C/L

Fonte: Autor (2018)

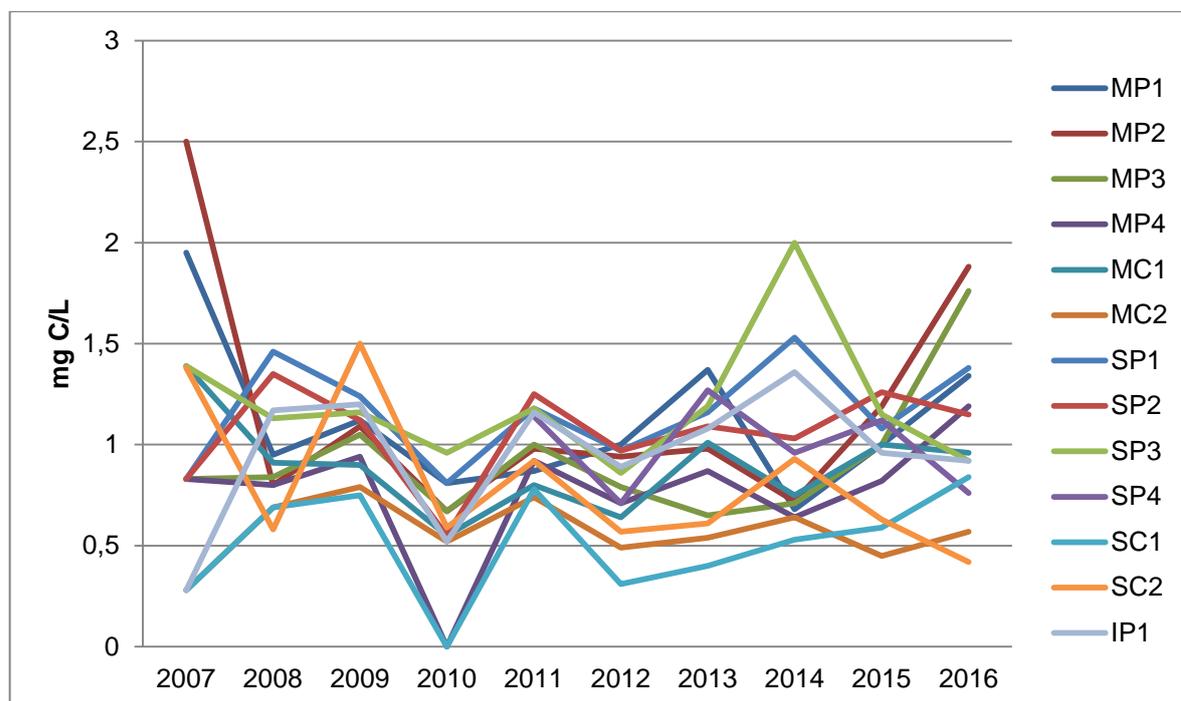
Devido ao LD (limite de detecção da análise) para carbono orgânico ser de 0,01 mg C/L, todos os valores abaixo deste limite não foram detectados.

A Resolução CONAMA nº 357/2005 não estabelece valores limites para o carbono orgânico.

Para Libânio et al. (2000) apesar de não haver parâmetros legais para o limite de carbono orgânico, em águas superficiais o teor de COT varia de 1 a 20 mg/l, elevando-se para até 1000 mg/l nas águas residuárias.

A evolução do parâmetro carbono orgânico ao longo do tempo estudado pode ser observada na Figura 22.

Figura 22- Evolução do carbono orgânico nos anos de estudo por ponto de monitoramento

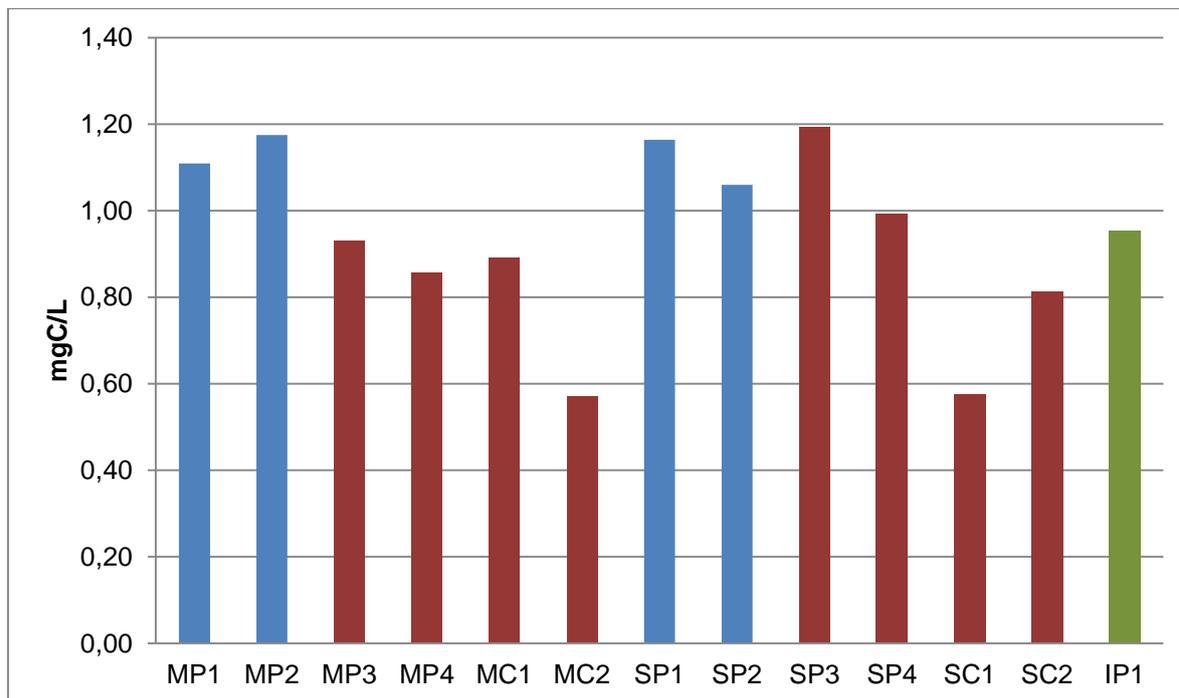


Fonte: Autor (2018).

O menor valor detectado foi registrado ocorre nos pontos MC2, SC1 e IP1 ambos com 0,28 mg C/L no ano de 2007. Já o maior valor detectado foi no ponto MP2 no ano de 2007 com 2,5 mg C/L.

A Figura 23 apresenta a média de carbono orgânico total na área de estudo por ponto de monitoramento, de modo que a maior média é do ponto MP2 com 1,18 mg C/L situado antes da área de mineração, enquanto a menor média é registrada no ponto MC2 sendo de 0,57 mg C/L dentro da área da mineração.

Figura 23 - Média de carbono orgânico total nos anos de estudo por ponto de monitoramento



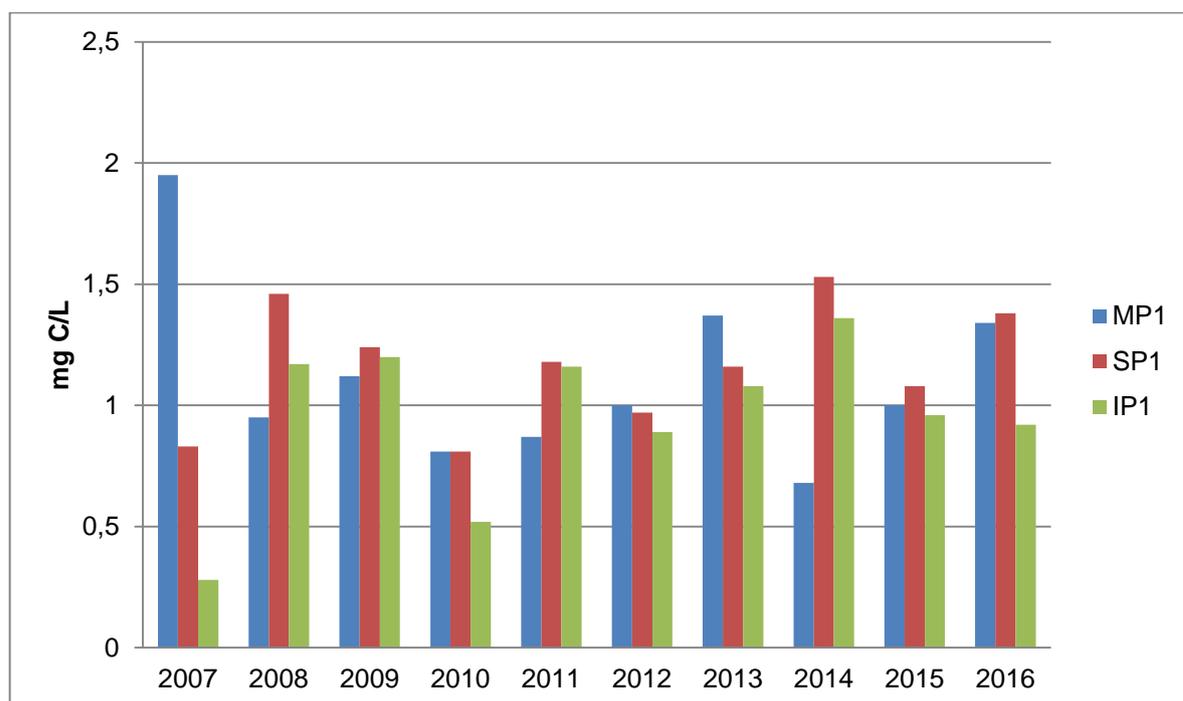
	Coletado antes da área de mineração
	Coletado na área de mineração
	Coletado após área de mineração

Fonte: Autor (2018).

O carbono orgânico total (COT) nada mais é do que a medida direta da quantidade de matéria orgânica presente em água. Assim o lançamento de efluentes por fontes pontuais, e o escoamento superficial de áreas urbanas são as principais fontes antropogênicas de matéria orgânica.

Os dados contidos na Figura 24 demonstram a análise isolada dos pontos MP1, SP1 (antes da mineração) e do IP1 (após a mineração) para o carbono orgânico.

Figura 24- Análise carbono orgânico total nos pontos MP1, SP1 e IP1



Fonte: Autor (2018).

O ponto IP1 apresentou menor valor de carbono orgânico em seis dos dez anos de análises, percebendo-se assim que a atividade minerária não tem significativa influência sob este parâmetro, visto que os valores de saída foram inferiores aos de entrada em alguns pontos.

Cabe destacar que nenhum dos pontos de monitoramento excedeu os limites para o carbono orgânico durante o período de estudo.

4.3 Condutividade

Os resultados analíticos para condutividade nos pontos de monitoramento estão apresentados na Tabela 11.

Tabela 11 - Resultados analíticos para condutividade (2007-2016)

CONDUTIVIDADE (uS/cm)													
ANO	MP1	MP2	MP3	MP4	MC1	MC2	SP1	SP2	SP3	SP4	SC1	SC2	IP1
2007	100,9	77,9	111,5	129	89,2	105,1	61,5	72,3	97,7	*	245	298	130,6
2008	160	92,3	123	136	95,5	116	62,7	72,1	101	*	265	321	134
2009	126,9	90,7	121,8	157,6	86	108,8	64,4	73,1	91,9	*	418	457	124,6
2010	101	78	123	143	90	103	58	68	90	*	242	306	140
2011	107	95,7	129	129	87,5	108	59,4	66,5	88,2	85,1	199	241	115
2012	331	270	296	293	190,9	224	94,8	116,3	146,3	262	342	391	212
2013	283	178,5	237	247	135,7	166	81,13	94,2	124,6	131,4	373	440	185
2014	101,8	97	105	124,3	77,3	93,5	62,5	42,2	82,8	95,5	178	250	148,6
2015	197,6	163	222	234	163,4	165,3	94,6	92,8	140,7	144,2	318	411	176,8
2016	189	141	176	207	135	142	97,4	96,4	111	115	356	423	155

* Ponto de monitoramento incluído a partir do ano de 2011.

Fonte: Autor (2018)

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

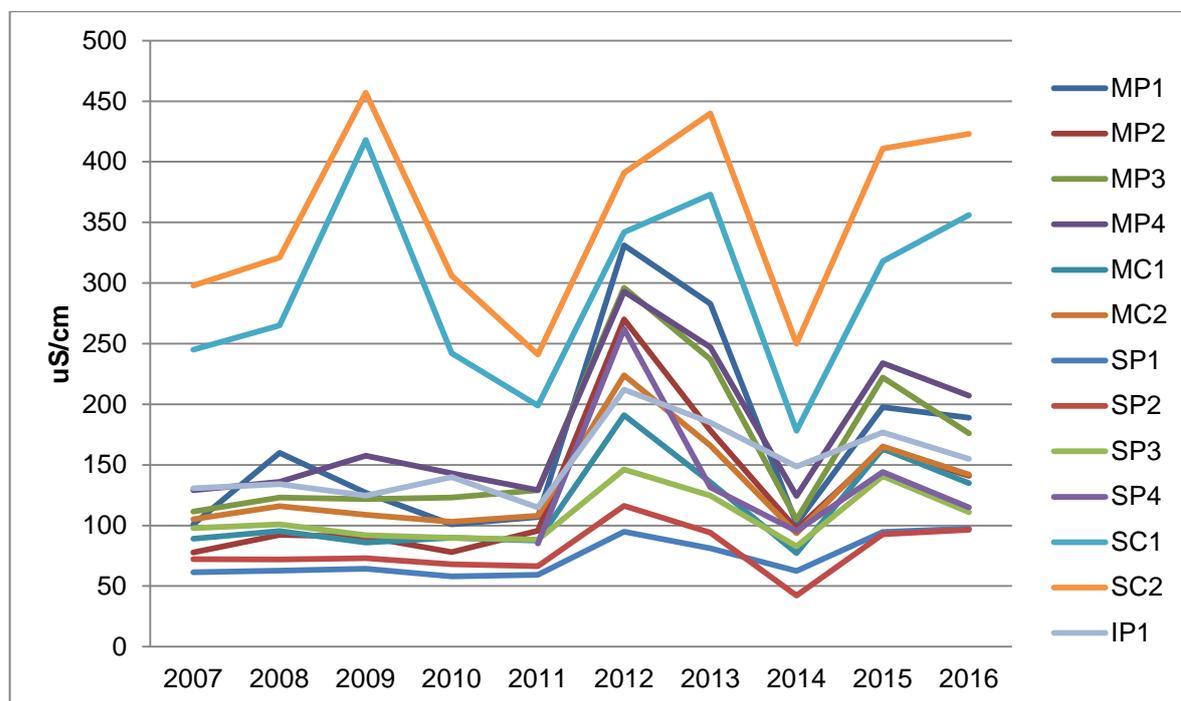
Para Libânio (2005) águas naturais apresentam comumente condutividade elétrica inferior a 100 $\mu\text{S/cm}$, podendo atingir 1000 $\mu\text{S/cm}$ em corpos d'água receptores de elevadas cargas de efluentes domésticos e industriais.

Logan (1965) recomenda que a condutividade da água potável seja inferior a 750 $\mu\text{S/cm}$.

É possível através da Figura 25 acompanhar a evolução da condutividade ao longo dos anos de estudo, evidenciando que a condutividade possui variação muita semelhante com a alcalinidade (presença de íons na água que por sua vez aumentam a condutividade).

Tendo em vista que a condutividade indica o grau de mineralização da água, ou seja, os minerais dissolvidos. Os pontos SC1 e SC2 por estarem localizados dentro da área de mineração e por serem cursos d'água com menor volume de água se comparado aos demais, contêm uma concentração de sólidos dissolvidos mais elevados, principalmente cálcio e o magnésio (presentes na composição dos mármores), de forma que estes minerais são facilmente lixiviados, elevando a condutividade nestes pontos.

Figura 25 - Evolução da condutividade nos anos de estudo por ponto de monitoramento

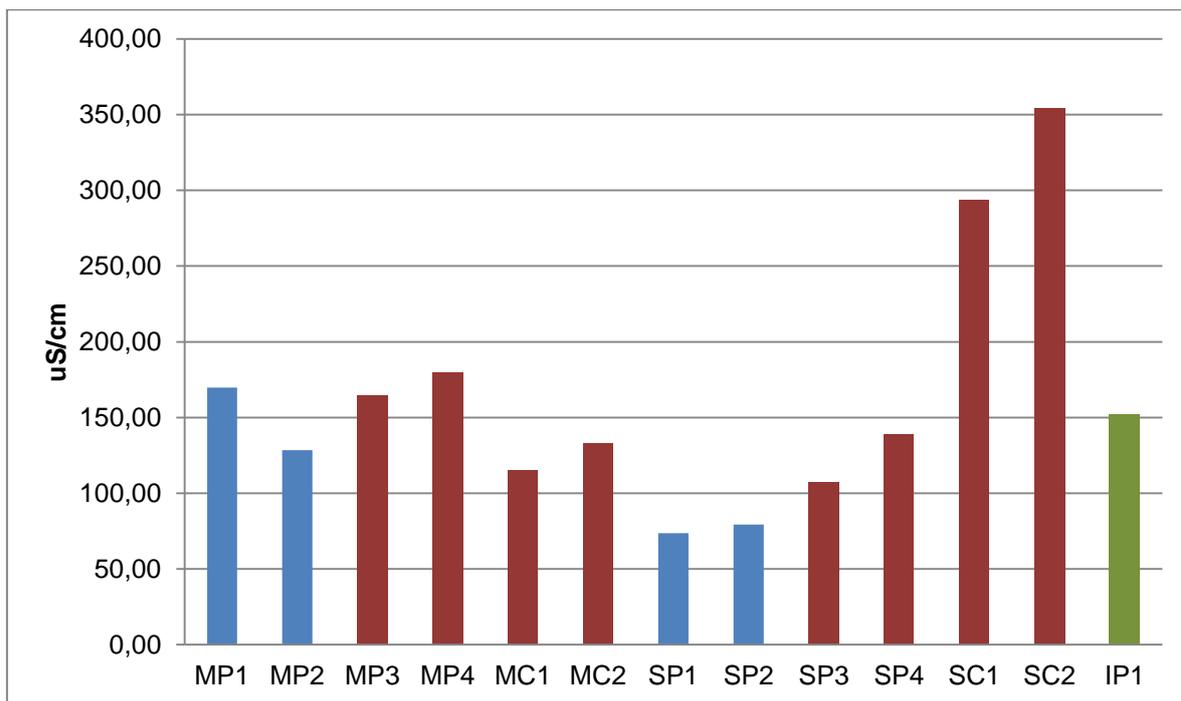


Fonte: Autor (2018).

Quando analisado os valores médios da condutividade ao longo do período de estudo, verifica-se que o ponto SC2 registra a maior média com $353,80 \mu\text{S/cm}$, destaca-se que este mesmo ponto também apresentou o valor mais elevado em todos os anos de coleta, sendo de $457 \mu\text{S/cm}$ em 2009. Todavia, o ponto SP2 apresentou o menor valor na análise isolada sendo de $42,2 \mu\text{S/cm}$ em 2014, enquanto sua média apresentou $79,39 \mu\text{S/cm}$, valor este que ficou acima apenas do ponto SP1 que atingiu a menor média histórica. Assim verifica-se que há incremento nos valores de condutividade nos pontos dentro da área de mineração (Figura 26).

No entanto, embora haja este incremento dentro da atividade mineradora este aumento não se reflete de maneira significativa em IP1 que está localizado após a atividade.

Figura 26- Média de condutividade nos anos de estudo por ponto de monitoramento

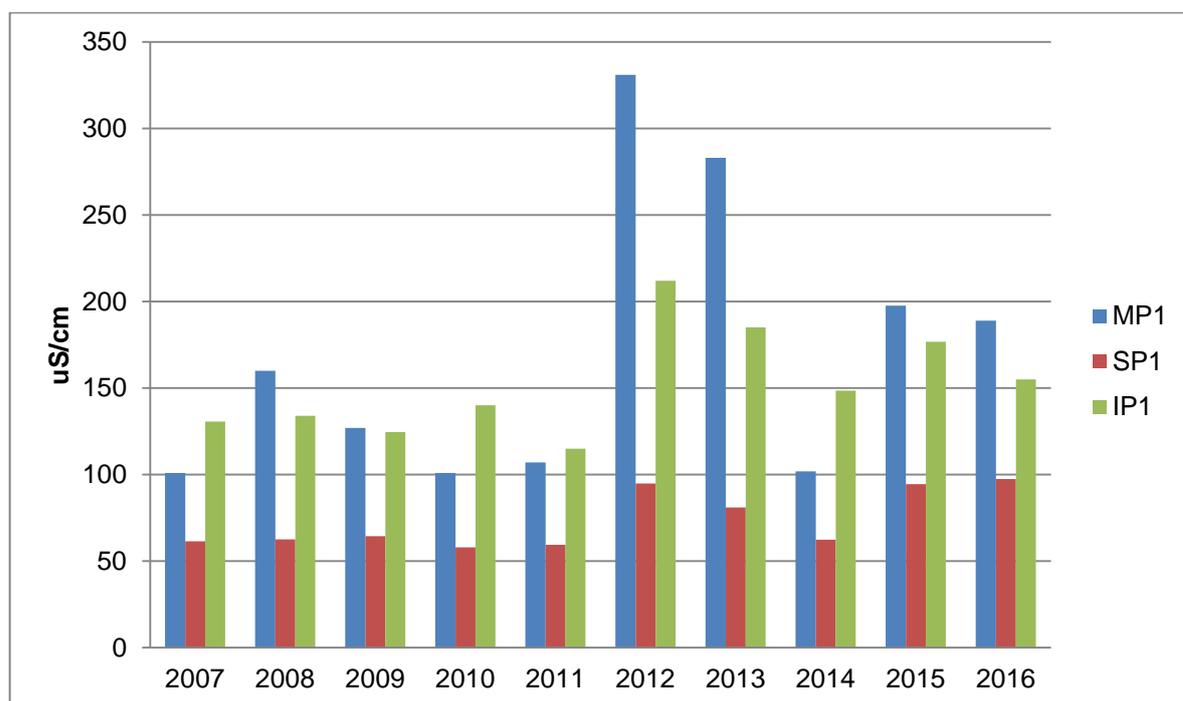


	Coletado antes da área de mineração
	Coletado na área de mineração
	Coletado após área de mineração

Fonte: Autor (2018).

Através dos dados apresentados na Figura 27 é possível avaliar o comportamento dos pontos MP1, SP1 (antes da mineração) e do IP1 (após a mineração) para o parâmetro condutividade.

Figura 27 -Análise condutividade nos pontos MP1, SP1 e IP1



Fonte: Autor (2018)

Observa-se que o ponto SP1 apresenta a menor condutividade em todos os dez anos de análise. Já o ponto MP1 que antecede as atividades minerárias apresentou maior condutividade em seis anos de análise, demonstrando assim que a condutividade já apresentava valores mais elevados a montante da atividade minerária.

Segundo Gomes et al. (2017) além da atividade de mineração, os solos predominantes da área, que contém um grande número de minerais principalmente cálcio e magnésio que possuem grande mobilidade e são facilmente lixiviados também podem acabar por elevar a condutividade da água.

Durante o período estudado o limite de 750 $\mu\text{S}/\text{cm}$ para condutividade nunca foi excedido, nem nos valores unitários, nem nos valores médios dos pontos de monitoramento, ficando sempre abaixo do estipulado.

4.4 DBO₅

Os resultados analíticos para DBO₅ nos pontos de monitoramento estão demonstrados na Tabela 12.

Tabela 12- Resultados analíticos para DBO5 (2007-2016)

DBO5 (mg O ₂ /L)													
ANO	MP1	MP2	MP3	MP4	MC1	MC2	SP1	SP2	SP3	SP4	SC1	SC2	IP1
2007	1	ND**	ND**	ND**	ND**	1	ND**	ND**	ND**	*	ND**	ND**	ND**
2008	ND**	*	ND**	1	ND**								
2009	ND**	*	ND**	1	ND**								
2010	ND**	1	*	ND**	ND**	ND**							
2011	ND**	1	ND**										
2012	1	ND**	ND**	2	ND**	ND**	ND**	ND**	2	2	1	1	2
2013	ND**	ND**	ND**	1	ND**	ND**	1	1	1	ND**	ND**	1	ND**
2014	ND**												
2015	ND**	ND**	1	ND**	ND**	ND**	ND**	1	1	1	ND**	ND**	ND**
2016	1	1	ND**	ND**	ND**	ND**	1	1	ND**	ND**	ND**	ND**	ND**

* Ponto de monitoramento incluído a partir do ano de 2011.

**ND: não detectável

LD: 1 mg O₂/L

Fonte: Autor (2018)

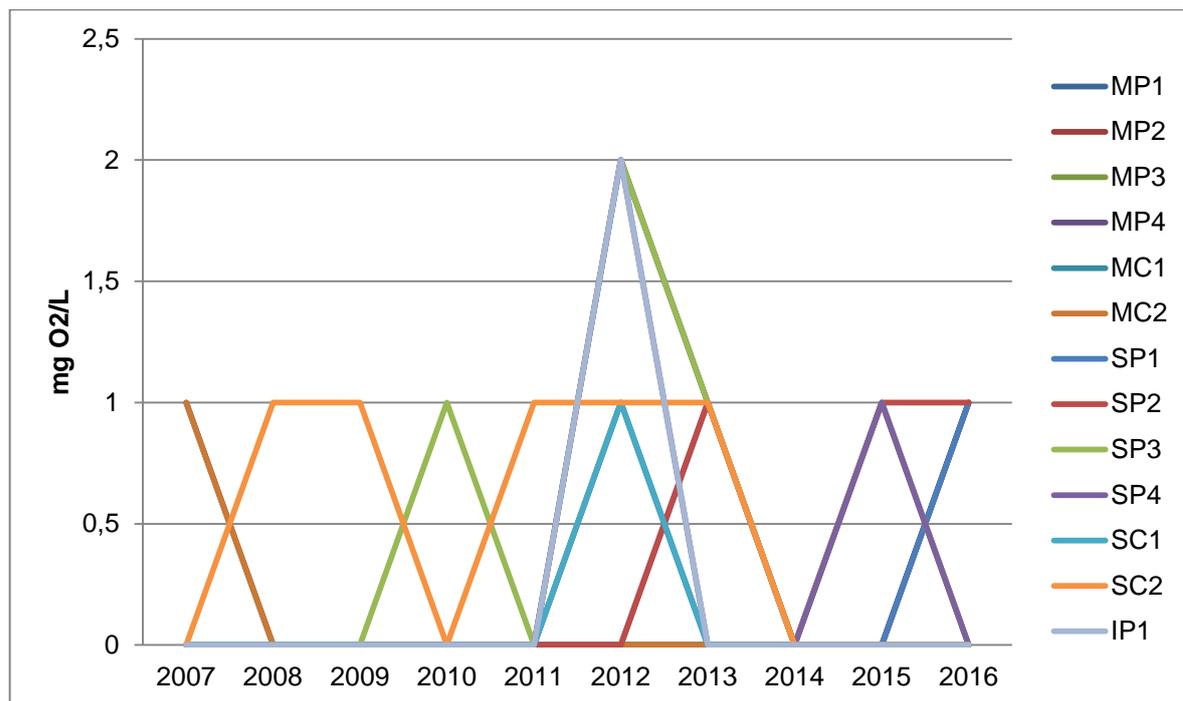
Devido ao LD (limite de detecção da análise) para DBO₅ ser 1, todos os valores abaixo deste limite não foram detectados.

Para este parâmetro, a Resolução CONAMA nº 357/2005 estabelece como valor máximo para águas conforme suas classes os seguintes limites:

- classe 1 até 3 mg O₂/L;
- classe 2 até 5 mg O₂/L;
- classe 3 até 10 mg O₂/L;

A evolução da DBO₅ ao longo do tempo nos anos de estudo pode ser observada na Figura 28.

Figura 28-Evolução da DBO5 nos anos de estudo por ponto de monitoramento

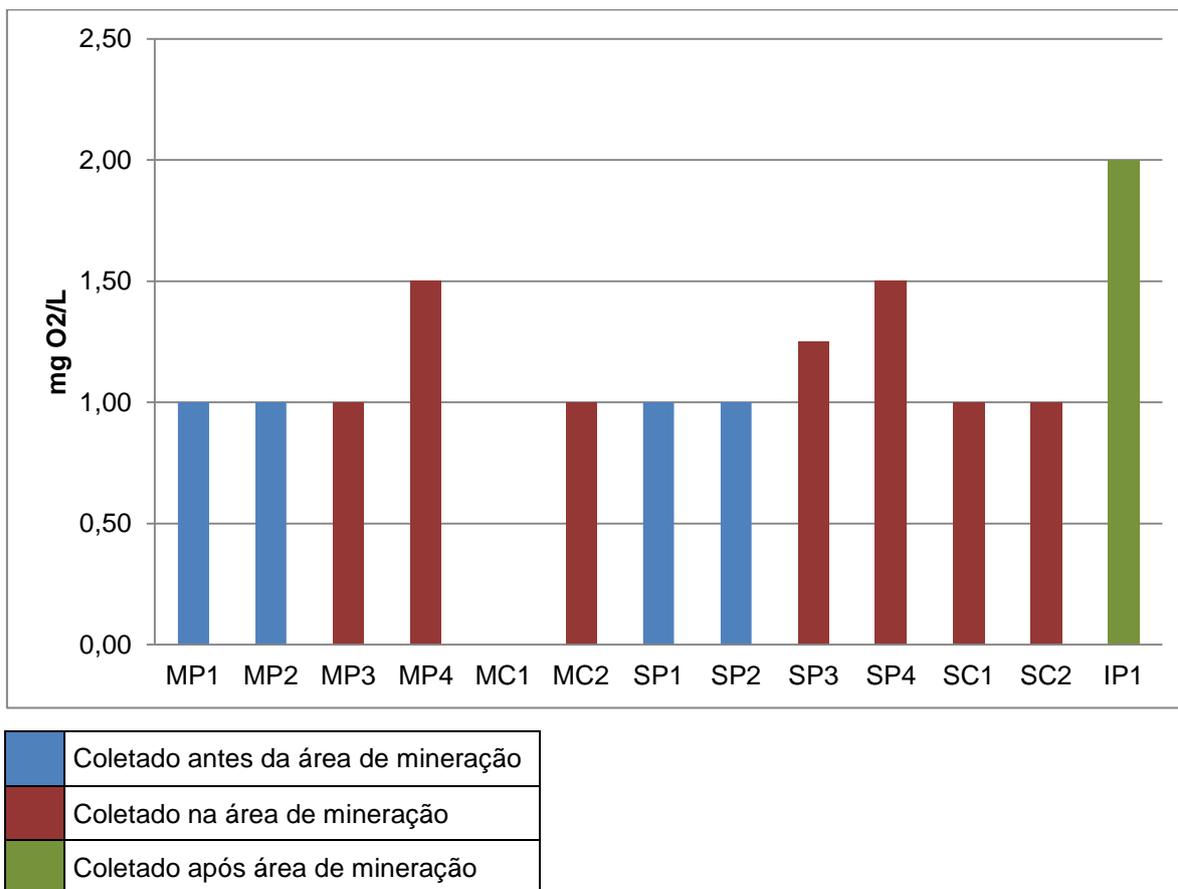


Fonte: Autor (2018).

Observa-se que não há grandes variações nos valores ao longo dos anos, exceção que aconteceu no ano de 2012 para os pontos MP4, SP3, SP4 e IP1. De qualquer forma os valores de DBO5 durante todo período de análise nunca excederam o valor de 3 mg O₂/L (classe 1).

A Figura 29 apresenta a média ao longo dos anos de monitoramento por ponto.

Figura 29- Média da DBO5 nos anos de estudo por ponto de monitoramento



Fonte: Autor (2018).

A maior média foi do ponto IP1 (após a mineração) com 2 mgO₂/L, porém cabe destacar que ao longo dos dez anos de estudo este foi o único valor obtido, registrado, uma vez que, nos demais anos os limites de detecção não foram alcançados para este ponto. O ponto MC1 (dentro da área de mineração) não apresentou nenhum valor detectável ao longo dos anos.

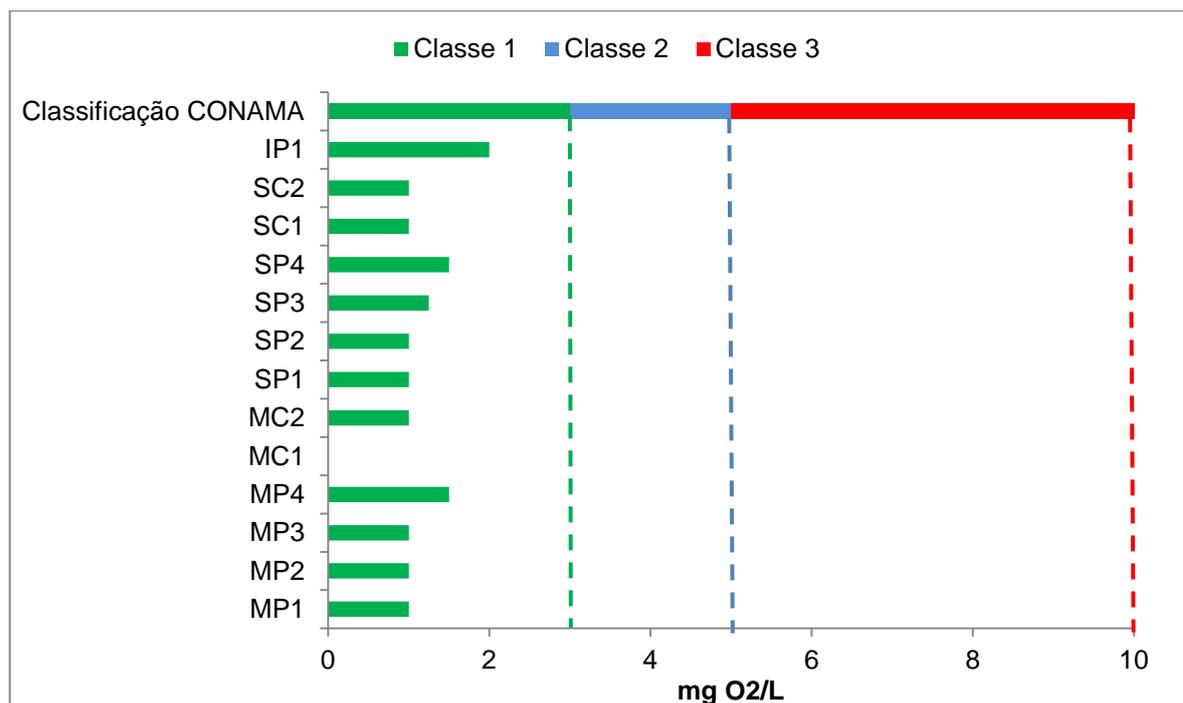
Ao analisar de forma isolada os pontos MP1, SP1 (antes da mineração) e do IP1 (após a mineração) percebe-se que há um pequeno aumento relacionado ao valor médio da DBO₅ em alguns dos pontos chegando em 1,5 mg O₂/L, no entanto, isto representa a metade do valor limite para águas de classe 1 da Resolução CONAMA 357/2005.

Segundo Manual de controle da qualidade da água para técnicos que trabalham em ETAS (BRASIL, 2014) em ambientes naturais não poluídos, a concentração de DBO é baixa (1 mg/L a 10 mg/L), podendo atingir valores bem mais

elevados em corpos d'água sujeitos à poluição orgânica, em geral decorrente do recebimento de esgotos domésticos ou de criatórios de animais.

A Figura 30 apresenta as médias de DBO5 comparadas aos limites estipulados pela Resolução CONAMA 357/2005.

Figura 30 - Média da DBO5 nos pontos de monitoramento comparados com os limites da Resolução CONAMA 357/2005



Fonte: Autor (2018).

Nenhuma das médias ultrapassaram os limites estabelecidos na Resolução CONAMA 357/2015 para classe 1 (até 3 mgO₂/L).

Os baixos valores de DBO evidenciam a pequena necessidade de oxigênio, que, provavelmente, é utilizado apenas para a decomposição da matéria gerada no próprio ambiente.

4.5 DQO

Os resultados analíticos para DQO nos pontos de monitoramento estão demonstrados na Tabela 13.

Tabela 13- Resultados analíticos para DQO (2007-2016)

ANO	DQO (mg O ₂ /L)												
	MP1	MP2	MP3	MP4	MC1	MC2	SP1	SP2	SP3	SP4	SC1	SC2	IP1
2007	14,6	7,8	28,7	14	8,3	22	14,6	29,3	15	*	13,5	29,5	7
2008	ND**	5,48	30,2	11	32,9	8,22	21,9	13,7	ND**	*	8,22	5,48	ND**
2009	10,4	5,42	8,69	10,1	9,69	5,81	13	5,42	6,2	*	10,9	6,59	7,75
2010	5,9	5,9	ND**	5	ND**	ND**	ND**	ND**	5	*	ND**	ND**	ND**
2011	ND**	6,64	5,75	ND**	ND**	ND**	8,15	6,17	9,25	5,29	ND**	12,8	6,61
2012	13,1	10,6	10,6	12,3	8,47	7,63	ND**	10,2	5,38	5,38	ND**	ND**	8,07
2013	8,56	7,7	7,27	7,27	6,85	5,99	11,9	8,56	8,99	9,41	ND**	5,3	8,98
2014	ND**	ND**	ND**	ND**	ND**	ND**	ND**	ND**	6,89	42,9	50,7	51,7	5,74
2015	ND**	7,1	6,3	ND**	6,3	ND**	8,4	5,4	19	8,8	ND**	6,3	5,8
2016	15,3	11,6	11,5	14,3	8,14	7,45	19,2	12,9	14,5	10,1	13,6	9,37	17,5

* Ponto de monitoramento incluído a partir do ano de 2011.

**ND: não detectável

LD: 5 mg O₂/L

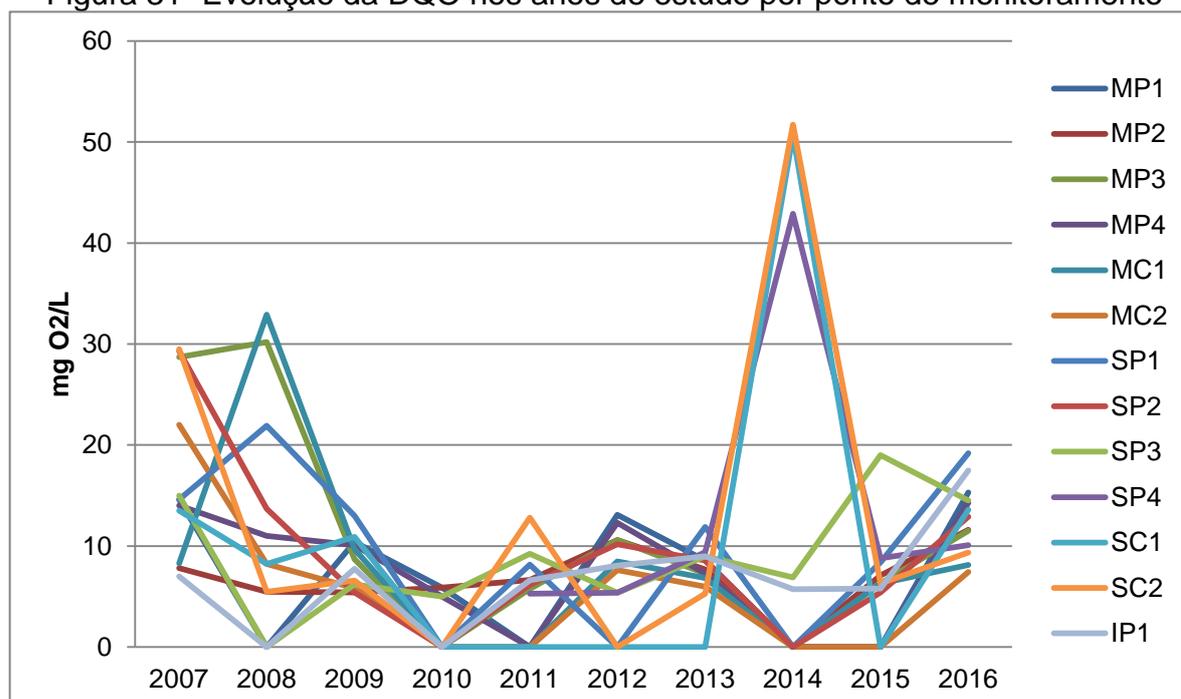
Fonte: Autor (2018)

Devido ao LD (limite de detecção da análise) para DQO ser 5, todos os valores abaixo deste limite não foram detectados.

Mesmo sem ter seu valor regulamentado pela Resolução CONAMA 357/2005 a DQO é um parâmetro de grande importância em estudos sobre a qualidade da água, visto que relaciona a quantidade de oxigênio requerido para estabilização da matéria orgânica através de um agente químico.

A evolução da DQO ao longo do tempo nos anos de estudo pode ser visualizada na Figura 31.

Figura 31 -Evolução da DQO nos anos de estudo por ponto de monitoramento



Fonte: Autor (2018).

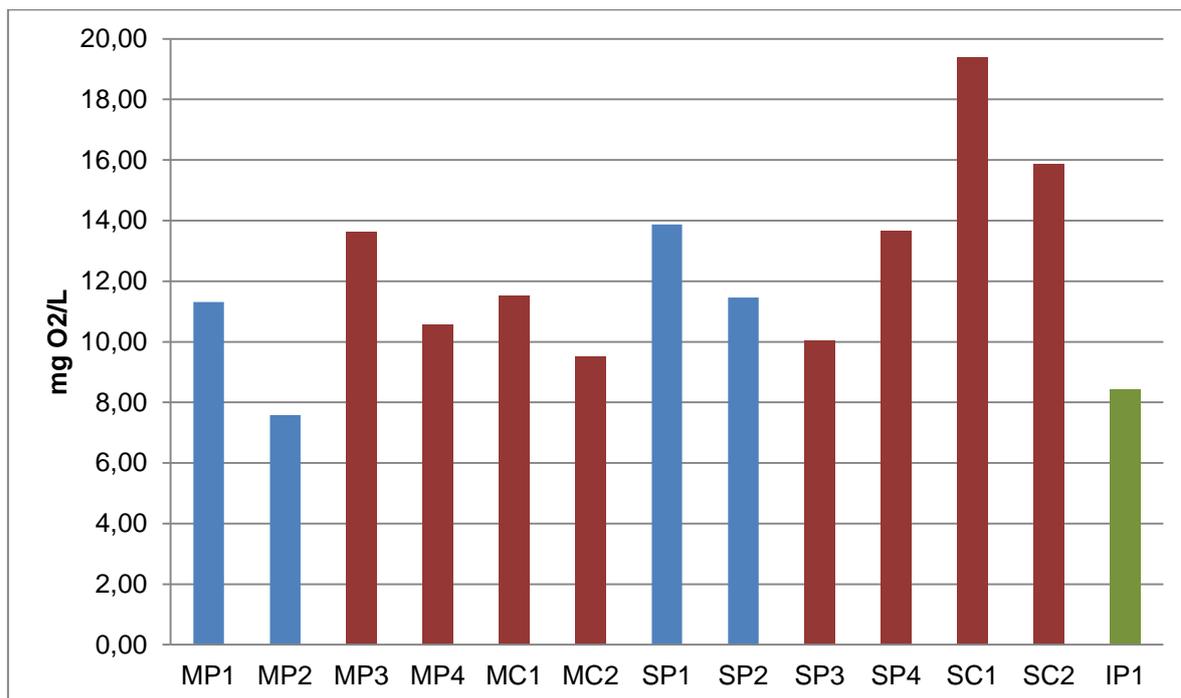
Percebe-se que os pontos SC1, SC2 e SP4, todos dentro da área de mineração, apresentaram um pico no ano de 2014 chegando a 50,7 mgO₂/L, 51,7 mg O₂/L e 42,9 mg O₂/L respectivamente. Mesmo com estes valores acima dos resultados obtidos para os demais anos de coleta, o ponto IP1, único ponto após a mineração de calcário, recebendo as cargas orgânicas destes cursos, apresentou uma DQO de 5,74 mg O₂/L (valor mais baixo detectado neste mesmo ano).

A DQO é muito utilizada em conjunto com a DBO₅ para observar a biodegradabilidade de despejos. Sabe-se que o poder de oxidação de um agente químico (normalmente dicromato de potássio) é maior do que o que resulta mediante a ação de microrganismos, exceto raríssimos casos como hidrocarbonetos aromáticos e piridina. Desta forma, os resultados da DQO de uma amostra são de maneira geral superiores aos de DBO₅. Quanto mais a DBO₅ se aproximar da DQO mais facilmente biodegradável é o efluente (CETESB, 2015).

Assim, analisando o ano de 2014, em nenhum dos pontos foi possível detectar presença de DBO₅ (todos abaixo do limite de detecção 1), porém foram obtidos valores mais elevados de DQO nos três pontos (SC1, SC2 e SP4) em relação aos demais, sugerindo assim, característica de pouca biodegradabilidade da matéria orgânica presente nestes cursos d'água.

A Figura 32 apresenta a média de valores de DQO ao longo do estudo, sendo que o maior valor médio registrado é no ponto SC1 com 19,38 mg O₂/L e o menor valor médio é do ponto MP2 com 7,58 mg O₂/L.

Figura 32 - Média da DQO nos anos de estudo por ponto de monitoramento



	Coletado antes da área de mineração
	Coletado na área de mineração
	Coletado após área de mineração

Fonte: Autor (2018).

Em análise isolada dos pontos MP1, SP1 (antes da mineração) e do IP1 (após a mineração) percebe-se que há uma diminuição do valor médio da DQO, de forma que o ponto IP1 registra a segunda menor média de DQO com 8,43 mg O₂/L.

As concentrações de DQO em águas superficiais podem atingir valores de até 20 mg/L de O₂, sendo que neste intervalo as águas são consideradas menos poluídas. Ainda para valores maiores de 200 mg/L de O₂ considera-se que as águas estão recebendo aporte de efluentes (poluídas) (CHAPMAN; KIMSTACH, 1996).

Conforme valores das análises pode-se constatar que os valores do parâmetro DQO para as águas em estudo estão em conformidade com os níveis considerados aceitáveis para águas menos poluídas.

4.6 Fósforo

Os resultados analíticos para fósforo total nos pontos de monitoramento estão demonstrados na Tabela 14.

Tabela 14 - Resultados analíticos para Fósforo total (2007-2016)

FÓSFORO TOTAL (mg P/L)													
ANO	MP1	MP2	MP3	MP4	MC1	MC2	SP1	SP2	SP3	SP4	SC1	SC2	IP1
2007	0,079	0,036	0,03	0,028	0,02	0,031	0,028	0,026	0,021	*	0,021	0,028	0,018
2008	0,14	0,07	0,07	0,04	ND**	0,04	0,03	0,03	0,02	*	ND**	ND**	0,03
2009	0,08	0,06	0,05	0,03	0,04	0,04	0,2	0,03	0,03	*	0,02	0,02	0,04
2010	ND**	ND**	ND**	ND**	ND**	ND**	ND**	ND**	ND**	*	ND**	ND**	ND**
2011	0,09	0,08	0,05	0,05	0,03	0,06	0,06	0,06	0,05	0,03	0,05	0,09	0,07
2012	0,37	0,14	0,1	0,07	0,04	0,04	0,05	0,03	0,05	0,03	0,07	0,05	0,04
2013	0,14	0,11	0,12	0,09	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	ND**	0,02
2014	0,04	0,02	0,02	0,01	0,01	ND**	ND**	0,07	0,01	0,02	ND**	0,01	ND**
2015	0,18	0,15	ND**	0,06	0,1	ND**	0,06	0,11	0,06	0,06	0,07	0,07	0,06
2016	ND**	0,11	ND**	0,105	ND**	ND**	0,123	0,071	ND**	ND**	ND**	ND**	ND**

* Ponto de monitoramento incluído a partir do ano de 2011.

**ND: não detectável

LD: 0,01 mg P/L

Fonte: Autor (2018)

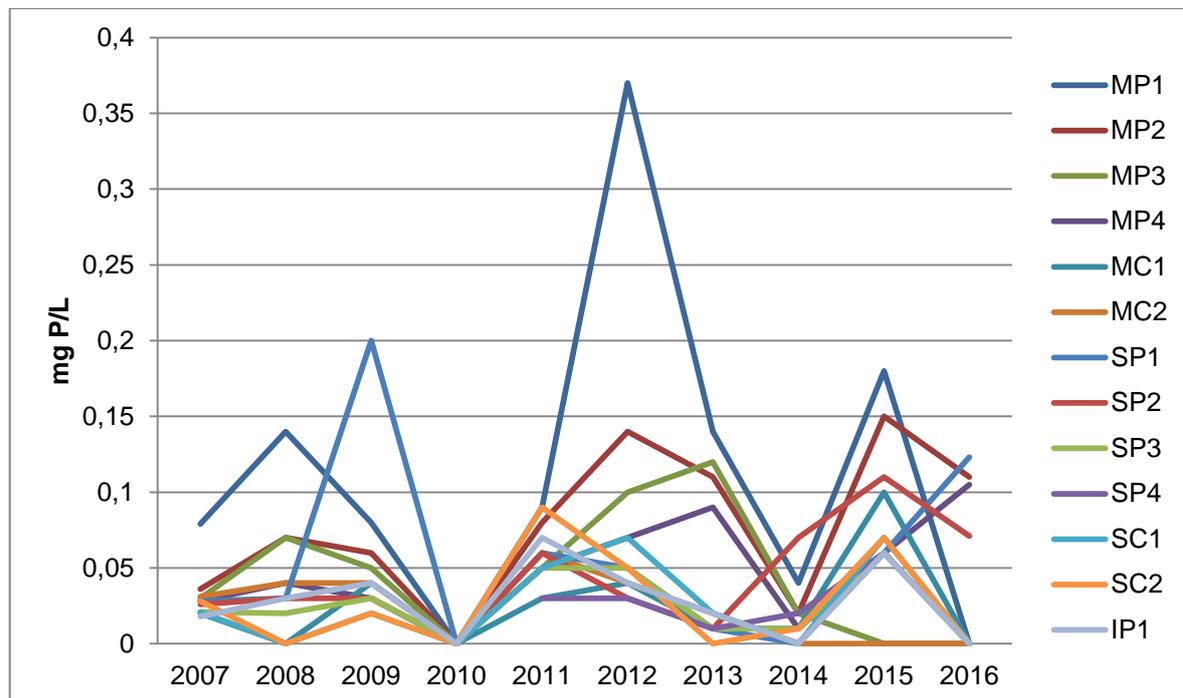
Para este parâmetro, a Resolução CONAMA nº 357/2005 estabelece como valor máximo para ambientes lênticos conforme suas classes os seguintes limites:

- classe 1 e 2 até 0,1 mg P/L
- classe 3 até 0,15 mg P/L;

Devido ao LD (limite de detecção da análise) para o Fósforo total ser 0,01 mg P/L, todos os valores abaixo deste limite não foram detectados.

Os dados da Figura 33 apresentam a evolução do fósforo total ao longo do tempo nos anos de estudo. Os únicos pontos que excederam os limites da classe 3 conforme CONAMA 357/2005 foram os pontos SP1 em 2009 (0,2 mg P/L), MP1 ano de 2012 (0,37 mg P/L), 2015 (0,18 mg P/L), ambos os pontos antecedem a atividade minerária. O fato de o rio fluir em área urbanizada antes de chegar até a área de estudo, pode explicar esta elevação do fósforo, visto que umas das principais fontes são os efluentes domésticos e a drenagem de áreas urbanas.

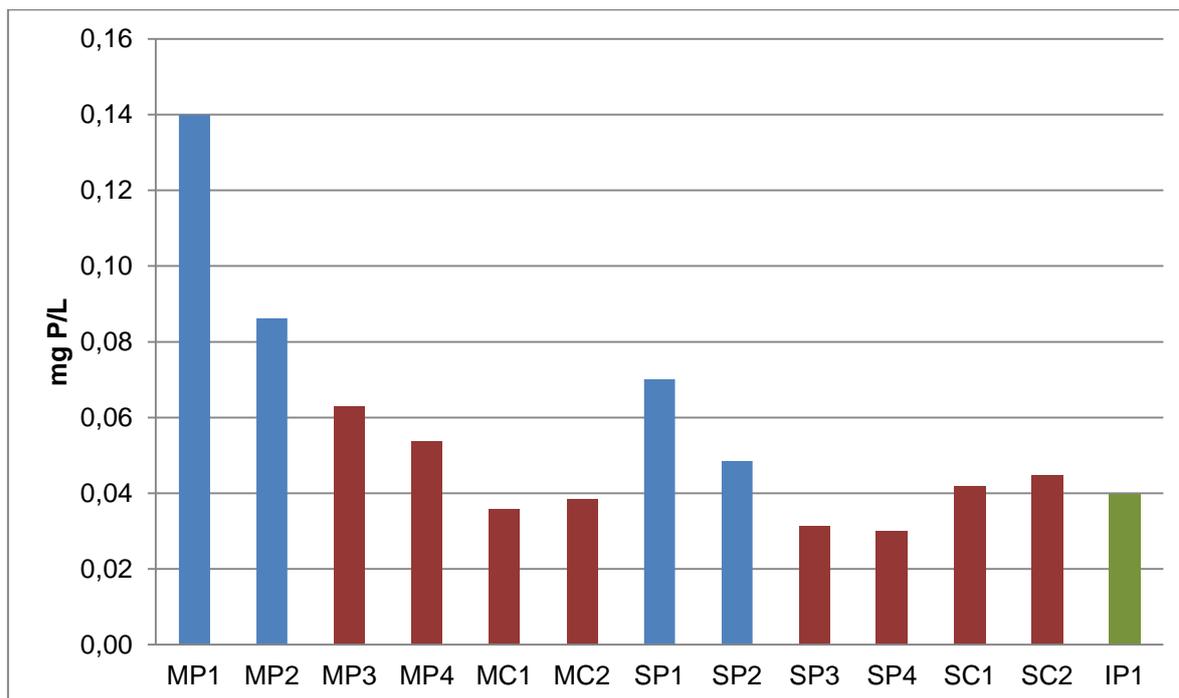
Figura 33- Evolução do Fósforo total nos anos de estudo por ponto de monitoramento



Fonte: Autor (2018).

A Figura 34 exibe a média de fósforo ao longo dos anos de monitoramento por ponto. É possível visualizar que a maior média é do ponto MP1 (antes da mineração) com 0,14 mg P/L, enquanto a menor média são dos pontos SP3 e SP4 (na área de mineração) com 0,03 mg P/L de fósforo.

Figura 34-Média do Fósforo total nos anos de estudo por ponto de monitoramento



	Coletado antes da área de mineração
	Coletado na área de mineração
	Coletado após área de mineração

Fonte: Autor (2018).

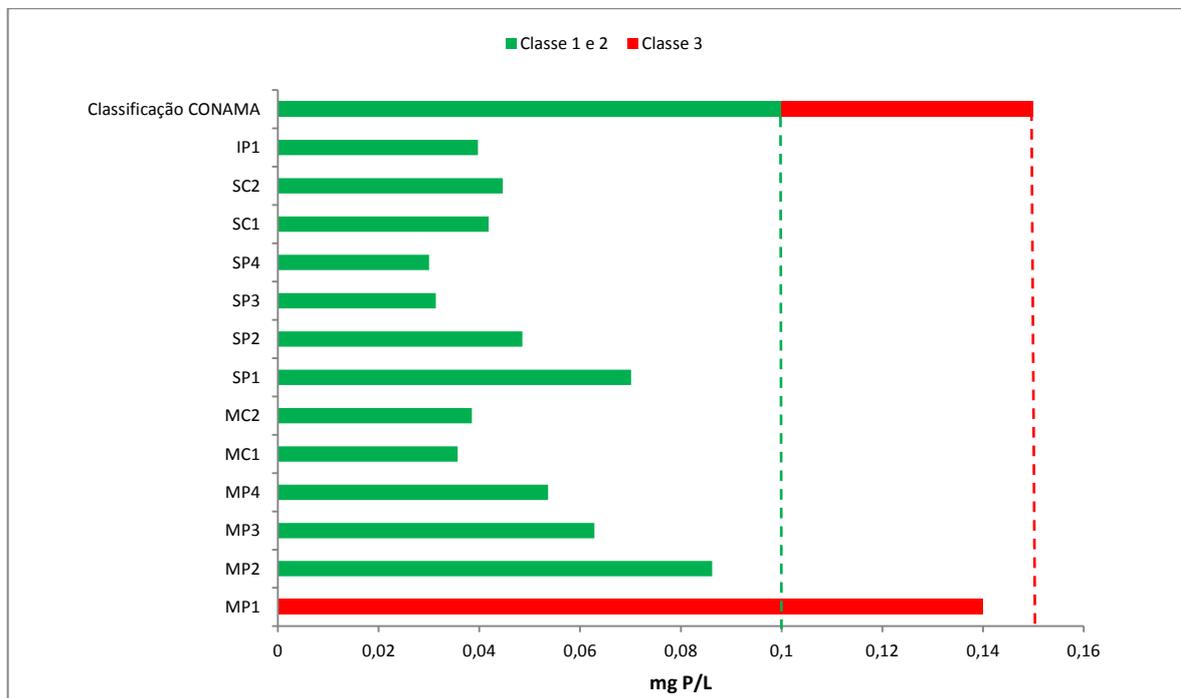
O fato dos maiores valores médios antecederem a área de mineração pode estar associado ao fósforo estar diretamente relacionado a processos antropogênicos tais como lançamento de esgoto, detergentes, fertilizantes, pesticidas, intimamente relacionados a locais com maior urbanização.

Em análise isolada dos pontos MP1, SP1 (antes da mineração) e do IP1 (após a mineração) percebe-se que há uma diminuição do valor médio de fósforo, de forma que o ponto IP1 registra a segunda menor média sendo 0,04 mg P/L, este fato demonstra que a atividade minerária não contribui para o incremento de fósforo nos cursos d'água.

Em águas naturais (não poluídas), as concentrações de fósforo situam-se na faixa de 0,01 mg/L a 0,05 mg/L segundo Manual de controle da qualidade da água para técnicos que trabalham em ETAS (BRASIL, 2014).

As médias de fósforo total comparadas aos limites estipulados pela Resolução CONAMA 357/2005 estão apresentadas na Figura 35.

Figura 35- Média do Fósforo total nos pontos de monitoramento comparados com os limites da Resolução CONAMA 357/2005



Fonte: Autor (2018).

Todas as médias dos os pontos de monitoramento com exceção do ponto MP1(classe 3) estão dentro dos limites da classe 1.

Ao analisarmos os dados anuais de forma isolada, os pontos MP1 e SP1 apresentam valores excedentes a 0,15 mg P/L.

4.7 Nitrato

Os resultados analíticos para nitrato nos pontos de monitoramento estão apresentados na Tabela 15.

Tabela 15- Resultados analíticos para Nitrato (2007-2016)

NITRATO (mg N/L)													
ANO	MP1	MP2	MP3	MP4	MC1	MC2	SP1	SP2	SP3	SP4	SC1	SC2	IP1
2007	1,01	0,65	0,61	0,47	0,25	0,31	0,27	0,38	0,26	*	0,14	0,13	0,23
2008	0,19	0,56	0,62	0,35	0,16	0,28	0,37	0,22	0,35	*	0,23	0,14	0,3
2009	0,82	0,77	1,5	0,31	0,13	0,18	0,48	0,43	0,38	*	0,21	0,22	0,37
2010	0,92	0,66	0,01	0,45	0,37	0,35	0,65	0,55	0,74	*	0,46	0,36	0,41
2011	0,54	0,49	0,53	0,33	0,1	0,17	0,26	0,22	0,29	0,22	0,1	0,29	0,28
2012	3,04	1,88	0,84	0,65	0,06	0,15	0,41	0,11	0,09	0,83	0,35	0,05	0,07
2013	0,84	0,61	0,49	0,44	0,13	0,26	0,31	0,28	0,37	0,36	0,31	0,29	0,29
2014	0,5	0,48	0,38	0,32	0,29	0,61	0,34	0,25	0,38	0,32	0,18	0,2	0,3
2015	0,99	0,77	0,89	0,62	0,2	0,48	0,35	0,42	0,46	0,4	0,36	0,32	0,5
2016	1,02	0,85	0,7	0,59	0,16	0,29	0,47	0,23	ND**	0,13	ND**	ND**	0,17

* Ponto de monitoramento incluído a partir do ano de 2011.

**ND: não detectável

LD: 0,05 mg N/L

Fonte: Autor (2018)

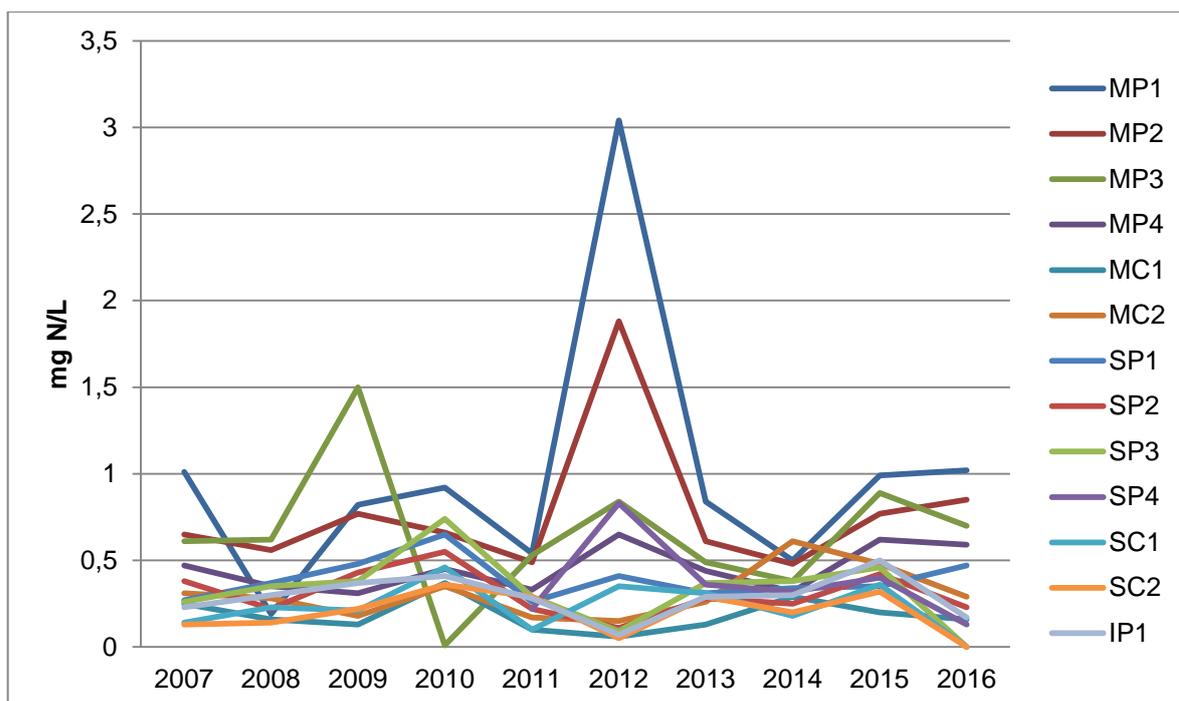
Devido ao LD (limite de detecção da análise) para nitrato ser 0,05 mg N/L, todos os valores abaixo deste limite não foram detectados.

Para este parâmetro, a Resolução CONAMA nº 357/2005 estabelece como valor máximo para águas conforme suas classes os seguintes limites:

- classe 1, 2 e 3 até 10 mg N/L.

A partir da Figura 36 é possível visualizar a evolução do nitrato ao longo do tempo nos anos de estudo.

Figura 36 - Evolução do Nitrato nos anos de estudo por ponto de monitoramento



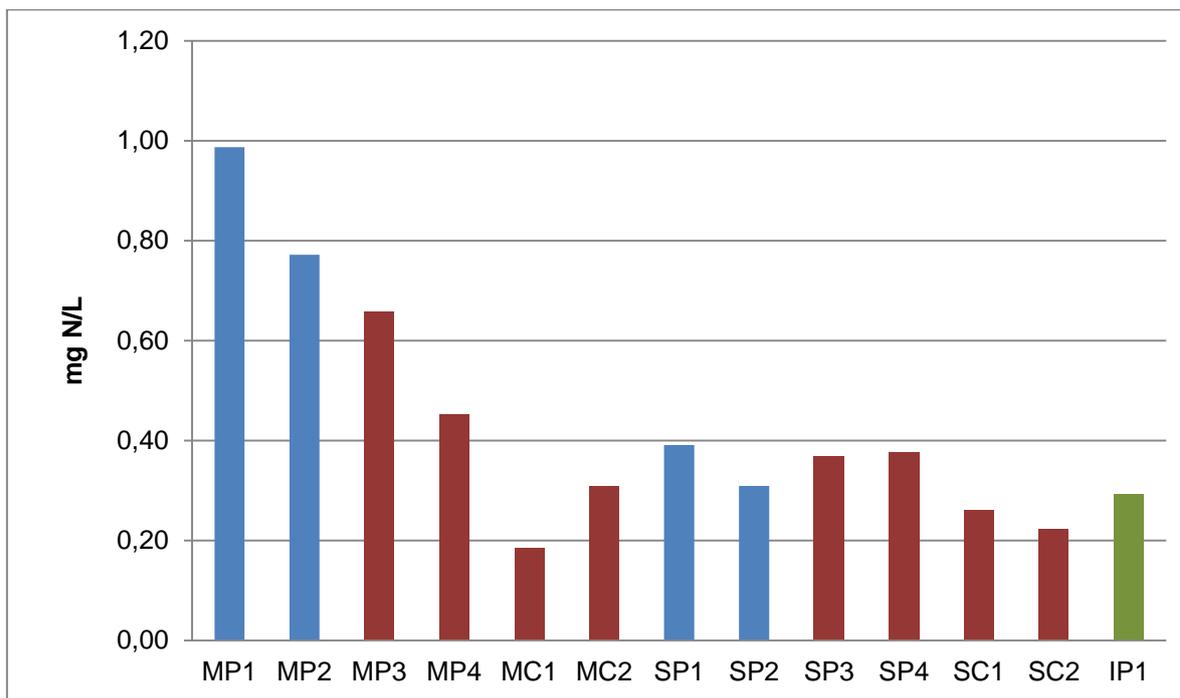
Fonte: Autor (2008).

É possível observar que de maneira geral, os pontos de monitoramento não sofrem significativas alterações ao longo dos anos, exceção esta ocorreu nos pontos MP1, MP2 (após a mineração) e MP3 (posterior aos pontos MP1 e MP2 já dentro dos limites da mineração) que sofreram oscilações mais significativas em determinados anos, porém bem abaixo dos limites estipulados pela Resolução CONAMA 357/2005.

O ano de 2012 demonstra um pico de nitrato e também de fósforo nos pontos MP1 e MP2 (antecedem a mineração) estes compostos minerais inorgânicos têm como principais origens os adubos utilizados na fertilização do solo, efluentes domésticos, industriais e dejetos de animais. Devido ao curso d'água fluir na área urbanizada do município antes de chegar até a área de estudo, estes parâmetros podem estar associados ao despejo de efluentes domésticos, de modo que este pico tem influência direta do uso e ocupação do solo na região.

A partir da Figura 37 é possível visualizar que a maior média de nitrato é proveniente do ponto MP1 (antes da mineração) com 0,99 mg N/L, enquanto a menor média é do ponto MC1 (na área de mineração) com 0,19 mg N/L.

Figura 37 - Média do Nitrato nos anos de estudo por ponto de monitoramento



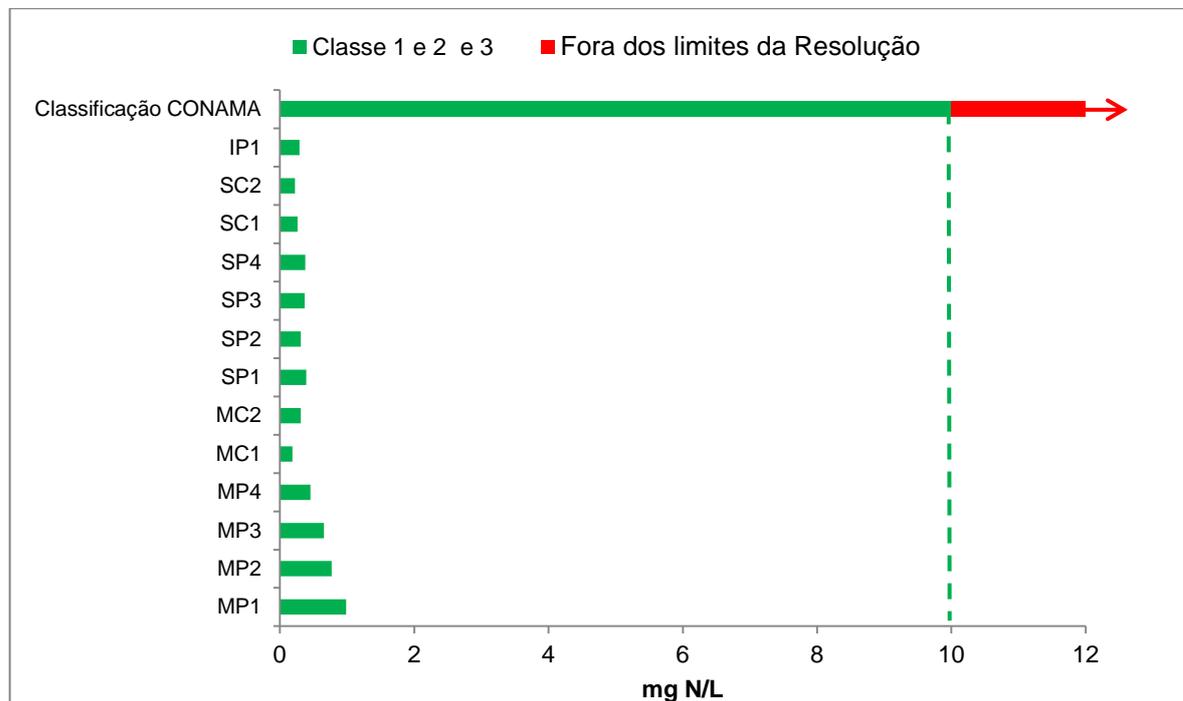
■	Coletado antes da área de mineração
■	Coletado na área de mineração
■	Coletado após área de mineração

Fonte: Autor (2018).

Em análise isolada dos pontos MP1, SP1 (antes da mineração) e do IP1 (após a mineração) percebe-se que há uma diminuição do valor médio de nitrato no ponto IP1 registrando 0,29 mg N/L, ou seja, a carga recebida de nitrato é maior nos pontos que antecedem a atividade minerária, de forma que esta carga vai sendo reduzida ao longo do fluxo do curso d'água, demonstrando o não incremento de nitrato oriundo da atividade.

As médias de nitrato comparadas aos limites estipulados pela Resolução CONAMA 357/2005 estão apresentadas na Figura 38.

Figura 38- Média do Nitrato nos pontos de monitoramento comparados com os limites da Resolução CONAMA 357/2005



Fonte: Autor (2018).

Todas as médias encontram-se dentro dos limites estabelecidos na Resolução CONAMA 357/2015 (até 10 mg N/L).

Nenhum dos pontos de monitoramento excedeu ao longo dos dez anos de estudo os limites estabelecidos pela Resolução CONAMA 357/2005, de forma que todos ficaram muito abaixo do valor permissível para as classes.

4.8 Oxigênio dissolvido

Os resultados analíticos para oxigênio dissolvido (OD) nos pontos de monitoramento estão exibidos na Tabela 16.

Tabela 16- Resultados analíticos para Oxigênio dissolvido (2007-2016)

OXIGÊNIO DISSOLVIDO (mg O ₂ /L)													
ANO	MP1	MP2	MP3	MP4	MC1	MC2	SP1	SP2	SP3	SP4	SC1	SC2	IP1
2007	9,1	9,8	10,1	9,8	9,6	9,6	9,3	9,6	9,6	*	7,8	9,9	9,6
2008	6,2	7,9	8	7,6	7,4	7,4	7,6	7,7	8,1	*	7	7,6	7,3
2009	9	9,9	8,9	9	9	9,9	9	8,5	8,6	*	8,4	8,4	10
2010	9,6	9,5	10,1	10	9,3	9,3	9,5	9,4	9,6	*	9,3	9,3	10,1
2011	9,8	10,1	10,2	10	10	9,8	10,1	9,7	10	9,9	9,2	9,7	10
2012	9,4	9,7	10,5	11	9,6	9,2	8,8	9,3	10	10,1	8,4	8,8	8,7
2013	9,7	10,1	10,1	9,8	9,5	9,4	9,5	9,8	9,2	9,9	8,9	9,1	9,4
2014	9,7	9,8	9,9	9,7	9,5	9,5	9,8	9,6	9,4	9,3	9,3	9,4	9,7
2015	10,2	10,2	10,4	9,7	9,6	10	9,9	10	9,9	10,5	9,9	9,7	9,8
2016	7,7	7,6	7,9	7,6	7,7	7,8	7,2	7,9	7,5	7,5	7,1	9,6	7,2

* Ponto de monitoramento incluído a partir do ano de 2011.

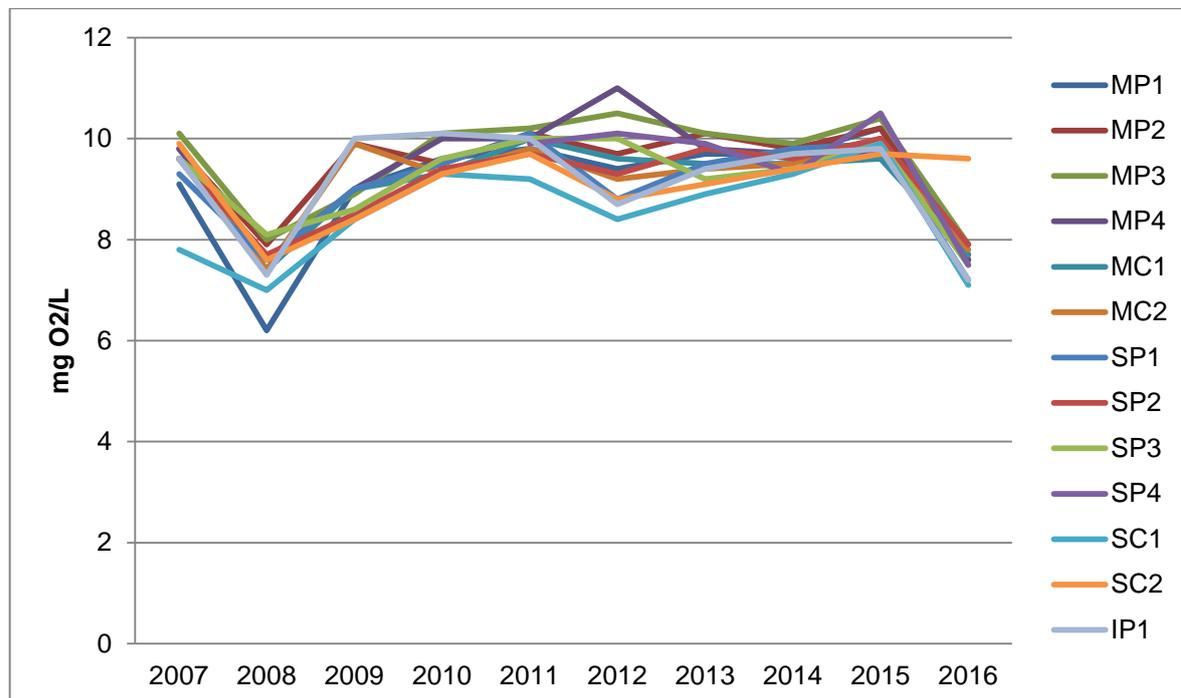
Fonte: Autor (2018).

Para este parâmetro, a Resolução CONAMA nº 357/2005 estabelece como valor máximo para águas conforme suas classes os seguintes limites de OD:

- classe 1: ≥ 6 mg O₂/L
- classe 2: ≥ 5 mg O₂/L
- classe 3: ≥ 4 mg O₂/L
- classe 4: ≥ 2 mg O₂/L

A partir da Figura 39 é possível observar a evolução do oxigênio dissolvido ao longo do período estudado.

Figura 39- Evolução do Oxigênio dissolvido nos anos de estudo por ponto de monitoramento

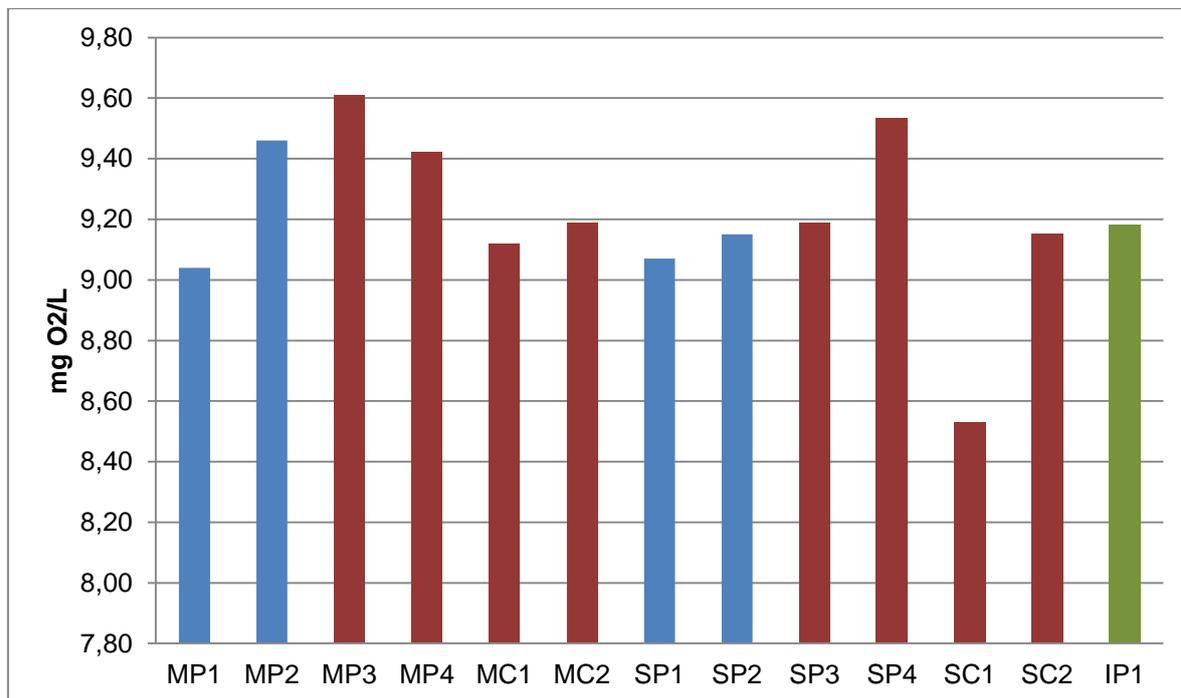


Fonte: Autor (2018).

Através da análise anual de cada ponto de monitoramento é possível verificar que ao longo dos dez anos de estudo nenhum ficou abaixo de 6 mg O₂/L.

Na Figura 40 é possível visualizar que a maior média de oxigênio dissolvido é proveniente do ponto MP3 com 9,61 mg O₂/L, enquanto a menor média é do ponto SC1 com 8,53 mg O₂/L, ambos em área de mineração.

Figura 40- Média de oxigênio dissolvido nos anos de estudo por ponto de monitoramento

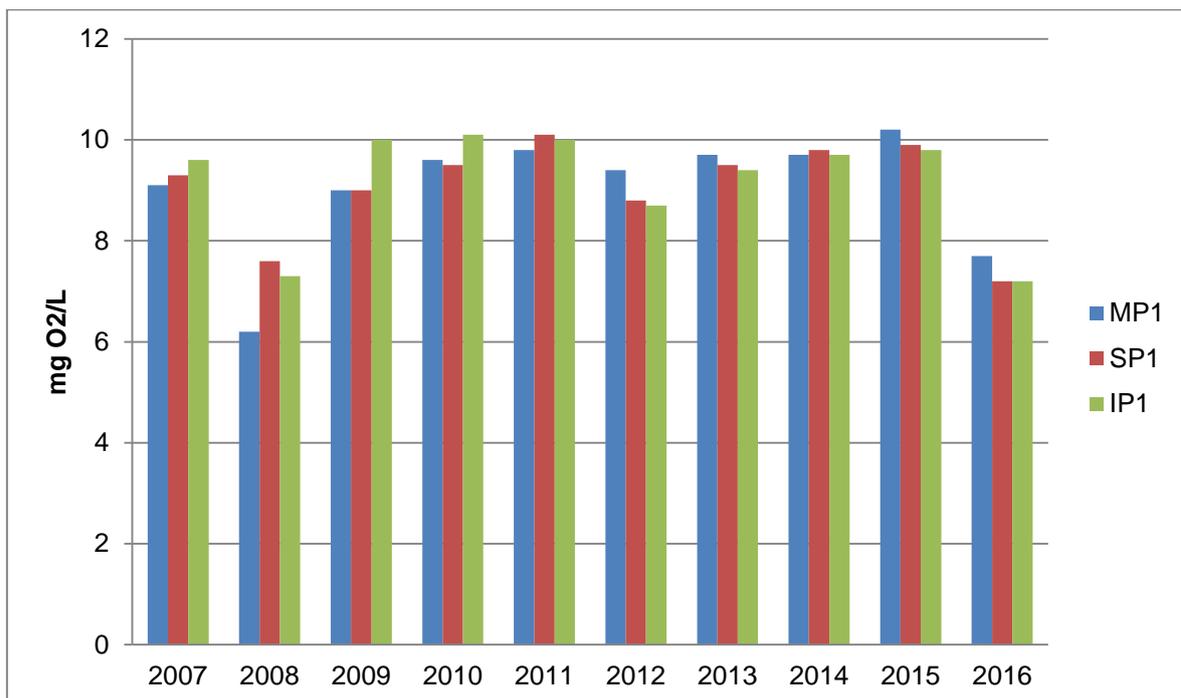


	Coletado antes da área de mineração
	Coletado na área de mineração
	Coletado após área de mineração

Fonte: Autor (2018).

Em análise isolada dos pontos MP1, SP1 (antes da mineração) e do IP1 (após a mineração) fica evidente que o parâmetro de oxigênio dissolvido da água não sofre grandes alterações ao passar pela área de mineração, demonstrando índice muito semelhante quando analisadas as coletas efetuadas antes, durante e após a atividade (Figura 41).

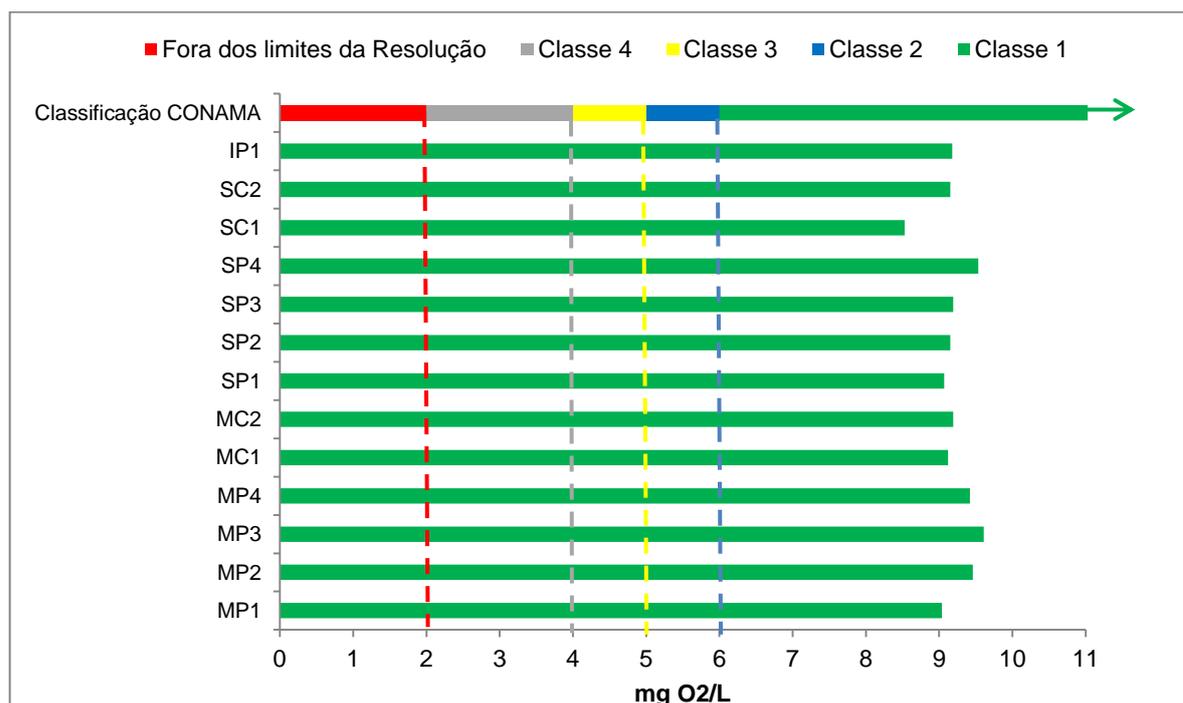
Figura 41- Análise do oxigênio dissolvido nos pontos MP1,SP1 e IP1



Fonte: Autor (2018).

As médias de oxigênio dissolvido comparadas aos limites estipulados pela Resolução CONAMA 357/2005 estão ilustradas na Figura 42.

Figura 42- Média de oxigênio dissolvido nos pontos de monitoramento comparados com os limites da Resolução CONAMA 357/2005



Fonte: Autor (2018).

Deste modo, assim como todos os pontos avaliados individualmente ao longo do período estudado, todas as médias para oxigênio dissolvido encontram-se dentro dos limites estabelecidos na Resolução CONAMA 357/2015, classe 1 (superior a 6 mg O₂/L).

4.9 pH

Os resultados analíticos para pH nos pontos de monitoramento estão demonstrados na Tabela 17.

Tabela 17- Resultados analíticos para pH (2007-2016)

ANO	pH												
	MP1	MP2	MP3	MP4	MC1	MC2	SP1	SP2	SP3	SP4	SC1	SC2	IP1
2007	6,95	6,67	7,13	8,12	6,94	6,84	7,83	7,86	8,28	*	7,62	7,65	8,27
2008	8,93	7,58	8,18	8,25	7,94	7,72	7,89	8,01	8,6	*	7,61	8,05	8,95
2009	8,07	7,96	8,22	8,28	7,75	7,35	7,64	7,82	8,04	*	7,54	7,77	7,69
2010	8,77	8,07	8,6	8,66	8,12	7,98	8,29	8,57	8,48	*	7,95	8,19	8,32
2011	7,94	7,92	7,6	7,94	7,74	7,71	7,84	7,88	8,09	8,15	7,77	8,01	7,97
2012	8,33	7,22	8,54	8,89	8,15	8,2	7,42	8,42	8,82	9,02	7,47	7,59	9,34
2013	6,84	7,64	7,53	7,18	7,55	7,37	6,72	7,77	7,71	7,77	6,74	7,22	6,58
2014	7,59	7,61	7,56	7,52	7,62	7,56	7,46	7,62	7,57	7,54	7,43	7,31	7,4
2015	8,14	8,04	8,34	8,15	7,67	7,49	7,83	7,77	7,4	8,06	7,57	7,71	7,76
2016	8,03	7,68	8,47	8,12	7,79	7,54	8,27	8,14	8,02	8,34	7,76	8,36	8,59

*Ponto de monitoramento incluído a partir do ano de 2011.

Fonte: Autor (2018).

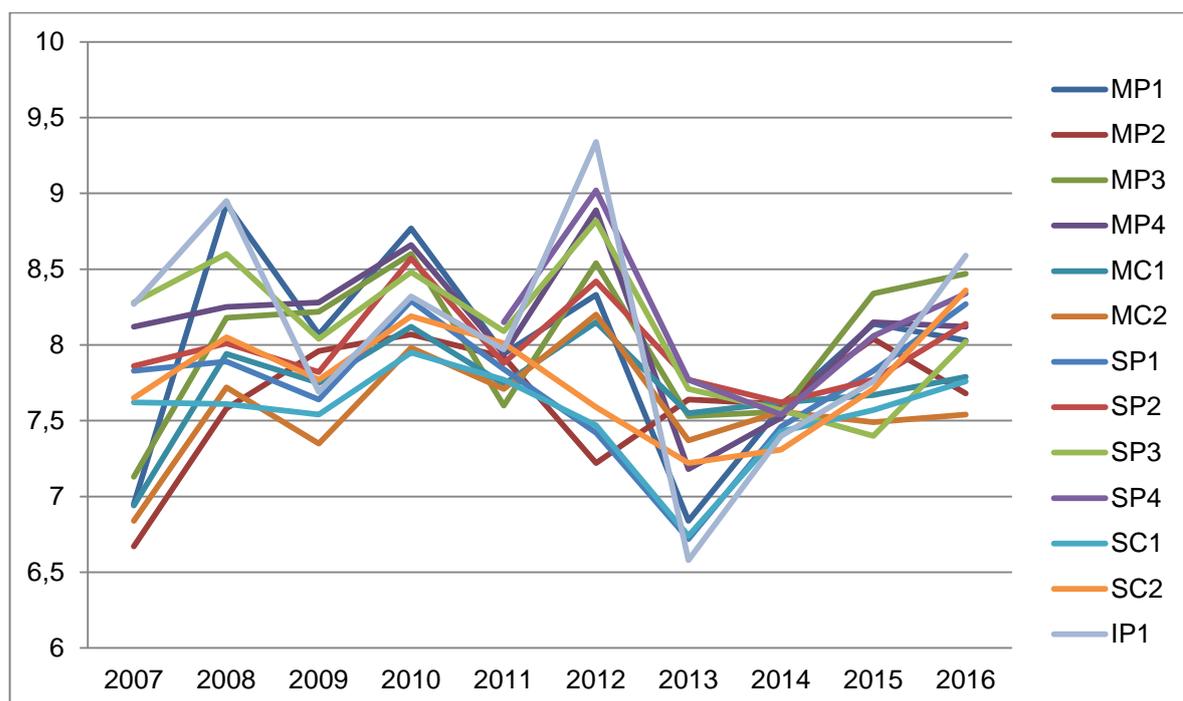
Para este parâmetro, a Resolução CONAMA nº 357/2005 estabelece como valor máximo para águas conforme suas classes os seguintes limites de pH:

- classe 1, 2, 3 e 4: 6 a 9.

A partir da análise da evolução do pH ao longo do período estudado, Os verifica-se que os únicos pontos que ultrapassaram minimamente o valor estabelecido foram os pontos IP1 com valor de 9,34 e SP4 com 9,02 ambos no ano de 2012. Nenhum ponto atingiu o valor mínimo de pH abaixo de 6 (Figura 43).

O ano de 2012 foi o ano em que na semana que antecedeu a coleta, ocorreu o mais baixo índice de precipitação registrada em comparação aos demais anos de análise, de apenas 0,6 mm, assim estes altos valores de pH pode ser reflexo da dissolução e conseqüente elevação da concentração de carbonatos.

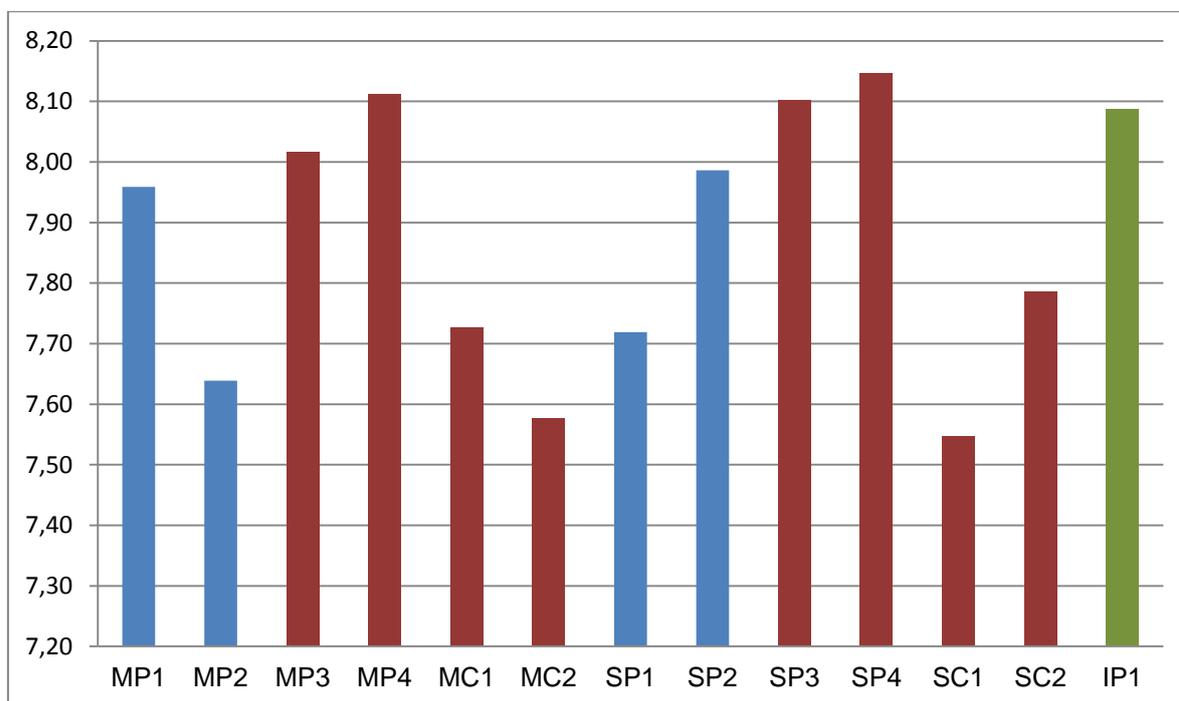
Figura 43- Evolução do pH nos anos de estudo por ponto de monitoramento



Fonte: Autor (2018).

A partir da Figura 44 é possível visualizar que a maior média de pH é proveniente do ponto SP4 com 8,15, enquanto a menor média é do ponto SC1 com 7,55 ambos em área de mineração.

Figura 44- Média de pH nos anos de estudo por ponto de monitoramento



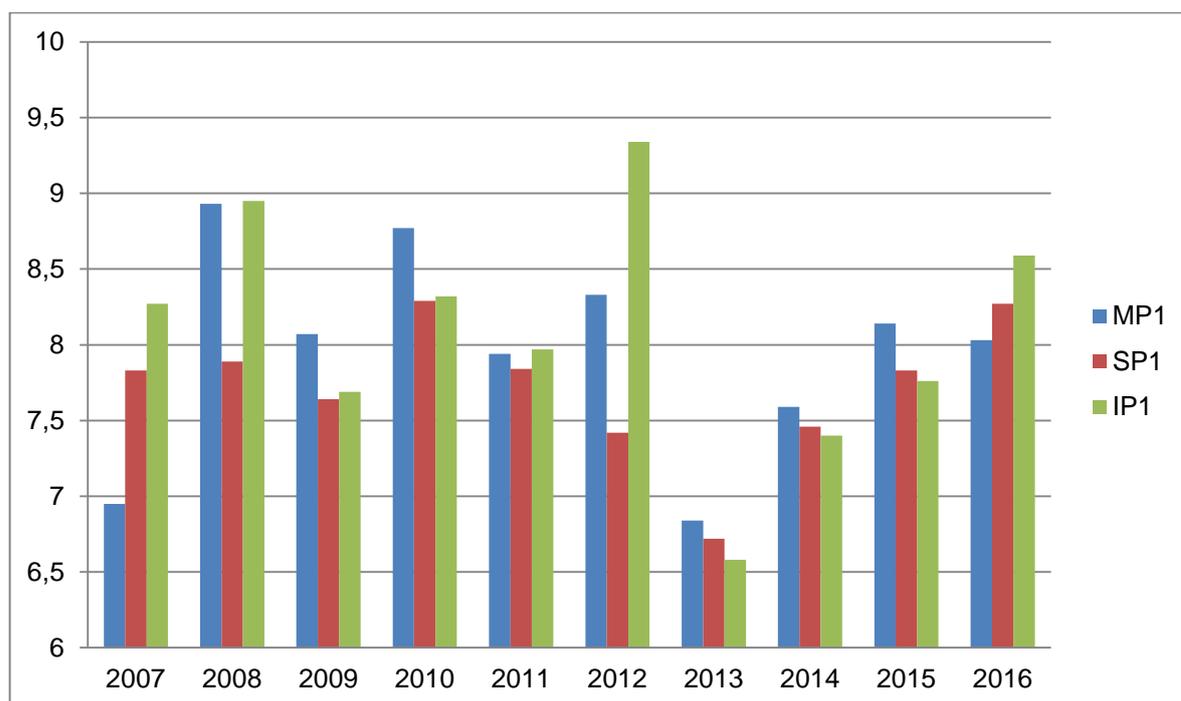
	Coletado antes da área de mineração
	Coletado na área de mineração
	Coletado após área de mineração

Fonte: Autor (2018).

Há uma elevação do pH nos cursos d'água principais localizados em área de mineração quando comparados aos cursos que antecedem esta atividade.

Quando os pontos MP1, SP1 e IP1 são avaliados individualmente (Figura 45), percebe-se que o pH do ponto após a área de mineração não sofre grande significativa variação quando comparado aos pontos que antecedem a mineração, exceção esta apresentada no ano de 2012.

Figura 45-Análise do pH nos pontos MP1,SP1 e IP1



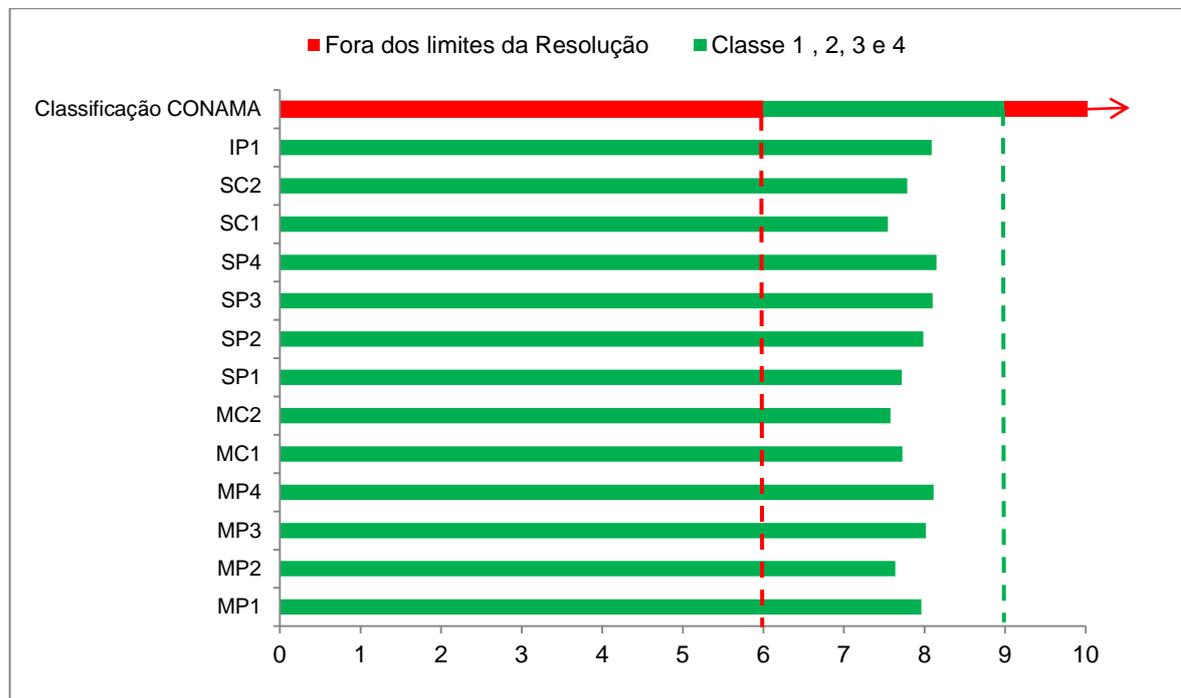
Fonte: Autor (2018).

Em cinco anos dos dez analisados o pH do ponto IP1 ficou abaixo do ponto MP1 que antecede as atividades de mineração. Fritzsons et al (2009), obtiveram em seus estudos um indicativo de que as áreas mais próximas às pedreiras apresentam um pH mais elevado devido ao processo de extração de calcário liberar carbonato de cálcio e magnésio no ambiente, os quais seguramente tornam o pH da água mais básico.

Gomes et al. (2017) evidenciaram em seu estudo valores de pH para os Arroios Mangueirão e Salso variando de 6 a 8 para as amostras coletadas, todavia, foram encontrados valores de pH chegando a 10 em dois pontos de coleta do Arroio Mangueirão. Segundo os referidos autores, este fato pode estar associado à dissolução de carbonato nas proximidades da área de extração de calcário, aumentando assim a concentração dos carbonatos nos meses de baixa precipitação, quando as amostras foram coletadas.

A Figura 46 apresenta as médias de pH comparadas aos limites estipulados pela Resolução CONAMA 357/2005.

Figura 46-Média de pH nos pontos de monitoramento comparados com os limites da Resolução CONAMA 357/2005



Fonte: Autor (2018).

Através da análise das médias para o pH verifica-se que todas as coletas do período estudado encontram-se dentro dos limites estabelecidos na Resolução CONAMA 357/2015.

4.10 Sólidos Totais

Os resultados analíticos para pH nos pontos de monitoramento estão demonstrados na Tabela 18

Tabela 18-Resultados analíticos para Sólidos totais (2007-2016)

SÓLIDOS TOTAIS (mg/L)													
ANO	MP1	MP2	MP3	MP4	MC1	MC2	SP1	SP2	SP3	SP4	SC1	SC2	IP1
2007	125	92	107	121	86	85	61	86	106	*	193	227	105
2008	125	87	112	117	85	97	88	127	109	*	279	222	67
2009	101	75	96	122	77	86	68	126	80	*	175	184	87
2010	96	123	131	147	122	122	83	105	112	*	224	242	124
2011	122	108	119	128	81	132	113	101	131	98	173	234	90
2012	266	216	239	242	133	169	90	109	117	203	223	271	179
2013	247	159	223	222	132	167	143	164	141	142	309	358	179
2014	140	171	140	192	130	163	153	122	128	168	220	269	201
2015	373	141	408	368	438	419	259	315	327	347	380	440	396
2016	148	126	152	142	99	119	147	124	146	114	219	251	130

* Ponto de monitoramento incluído a partir do ano de 2011.

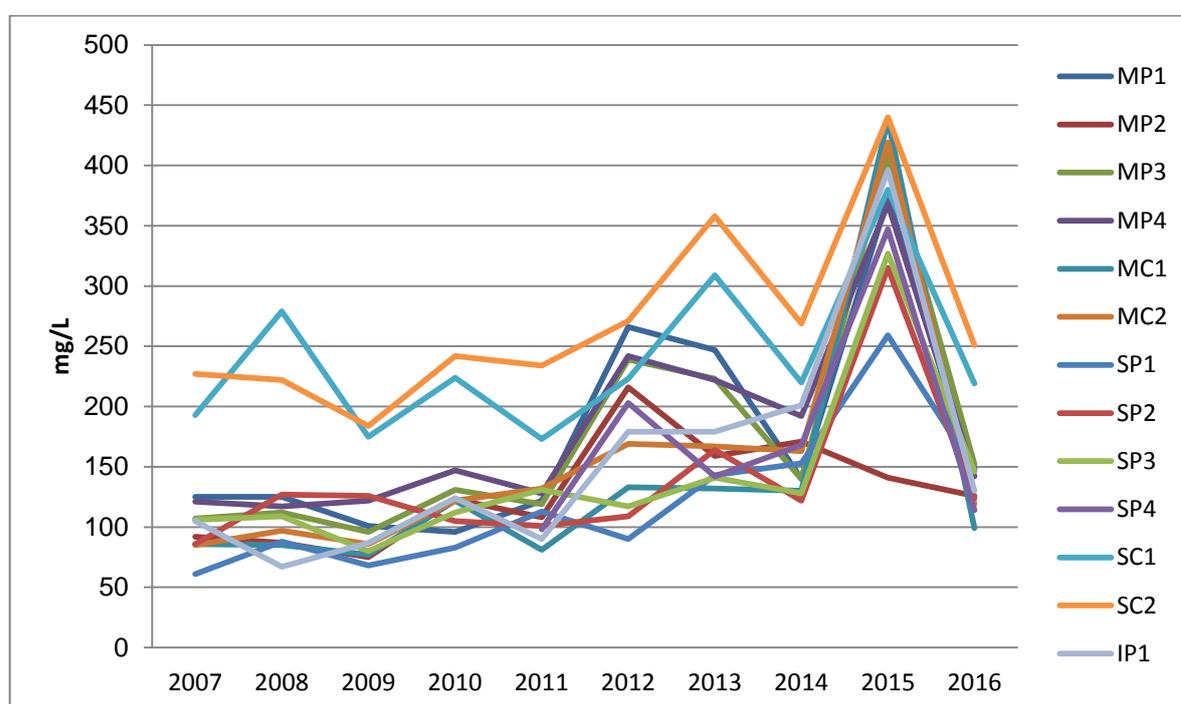
Fonte: Autor (2018).

Para este parâmetro, a Resolução CONAMA nº 357/2005 estabelece como valor máximo para águas conforme suas classes os seguintes limites de pH:

- classe 1, 2, 3: até 500 mg/L.

A evolução dos sólidos totais ao longo do tempo de estudo pode ser visualizado a partir da Figura 47.

Figura 47- Evolução dos sólidos totais nos anos de estudo por ponto de monitoramento



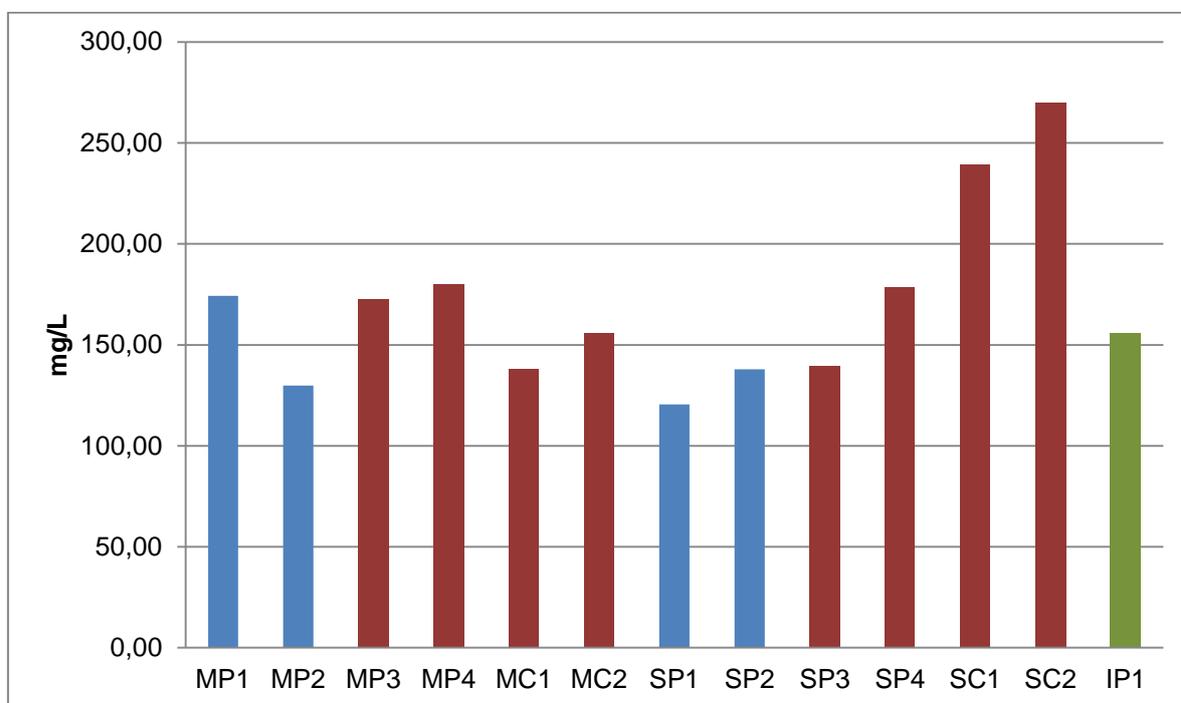
Fonte: Autor (2018).

Os pontos SC1 e SC2 possuem parâmetros mais elevados, porém, estes acompanham as variações ano a ano de forma semelhante quando comparado aos demais pontos de monitoramento. No ano de 2015 há uma elevação da quantidade de sólidos totais em todos os pontos. O maior valor registrado é no ponto SC2 de 440 mg/L enquanto o menor valor registrado é no ponto SP1 de 61 mg/L. Desta forma, o limite estabelecido pela legislação não foi excedido em nenhum dos pontos de coleta ao longo dos dez anos de estudo.

A partir da Figura 48 é possível visualizar que a maior média de sólidos totais é registrada no ponto SC2 com 269,80 mg/L, enquanto a menor média é do ponto

SP1 com 120,50 mg/L. Há uma elevação dos valores médios de sólidos totais nos pontos localizados dentro da área de mineração.

Figura 48- Média de sólidos totais nos anos de estudo por ponto de monitoramento

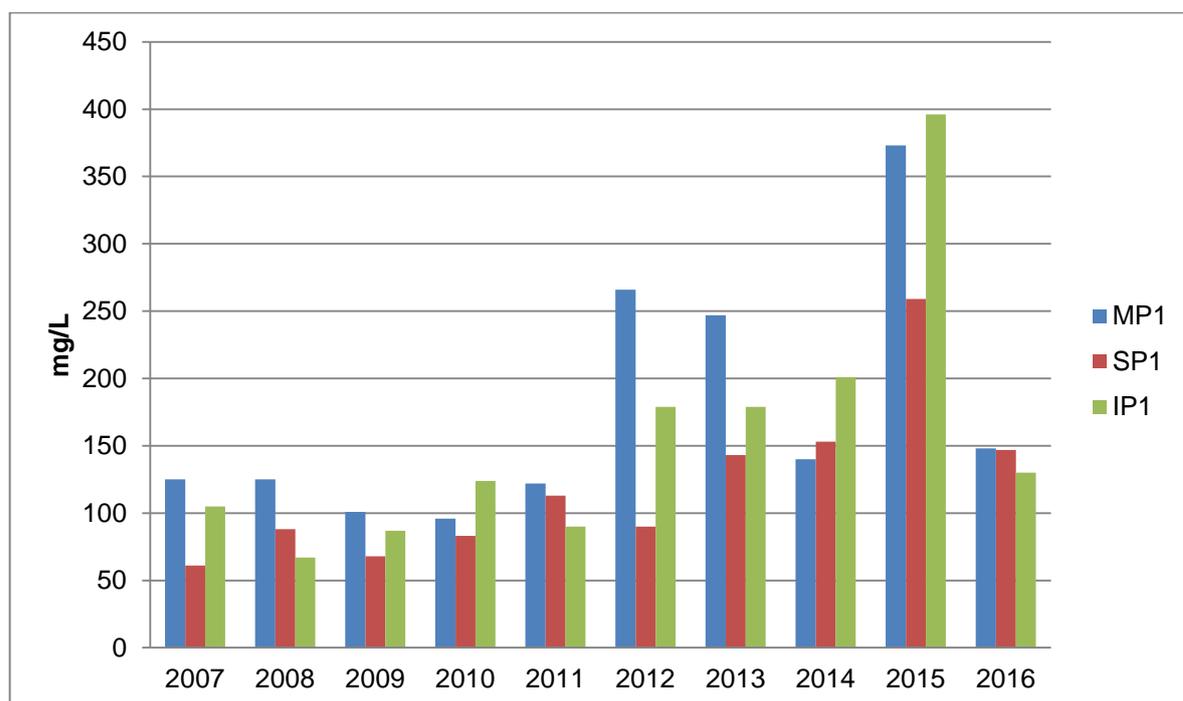


	Coletado antes da área de mineração
	Coletado na área de mineração
	Coletado após área de mineração

Fonte: Autor(2018).

Quando os pontos MP1, SP1 e IP1 são avaliados individualmente (Figura 49), verifica-se que o ponto MP1, localizado antes da área de mineração, apresentou durante sete anos de análises valores de sólidos totais superiores ao ponto IP1, localizado após a atividade de mineração. Isto demonstra que os efeitos dos sólidos totais são mais pontuais nos locais onde são desenvolvidas as atividades minerárias.

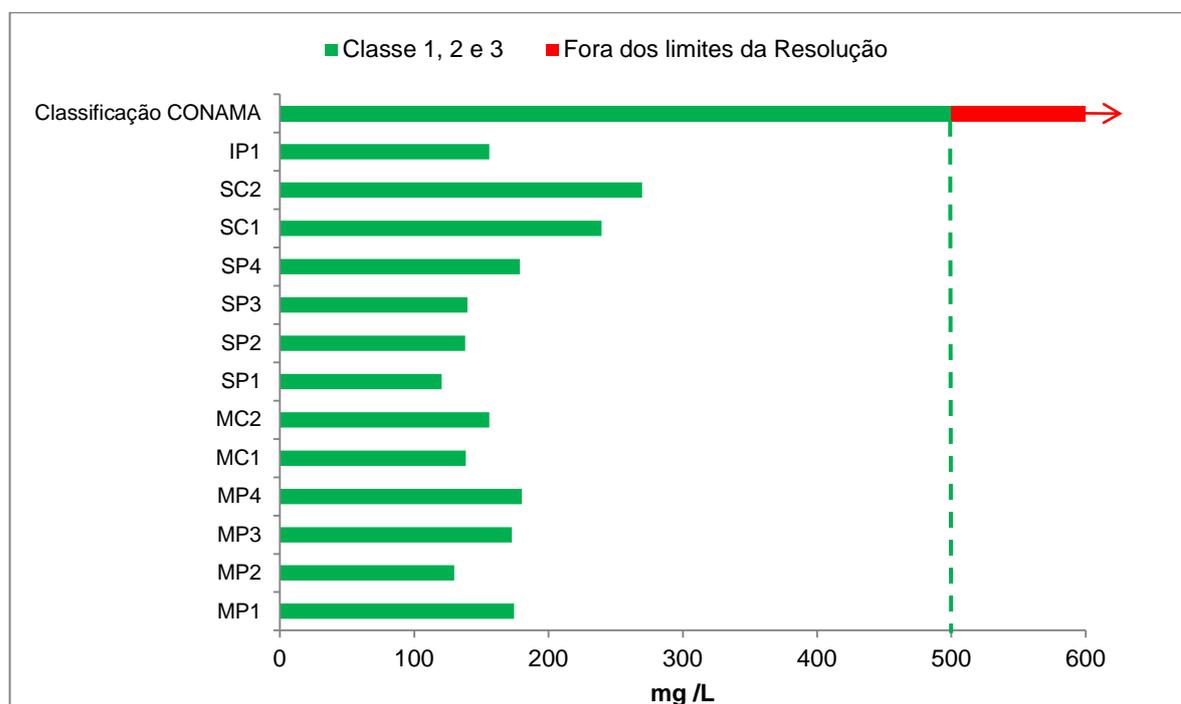
Figura 49- Análise de sólidos totais nos pontos MP, SP1 e IP1



Fonte: Autor (2018).

As médias de sólidos totais comparadas aos limites estipulados pela Resolução CONAMA 357/2005 estão apresentadas na Figura 50.

Figura 50-Média de Sólidos totais nos pontos de monitoramento comparados com os limites da Resolução CONAMA 357/2005



Fonte: Autor (2018).

Assim, tanto os valores unitários quanto as médias para sólidos totais no período estudado, jamais excederam o limite estabelecido na Resolução CONAMA 357/2015.

4.11 Classificação dos cursos d'água por ano conforme Resolução CONAMA 357/2005

O Arroio Mangueirão ao longo dos dez anos de estudo ficou classificado como classe 1 por cinco vezes nos anos de 2007, 2009, 2010, 2011 e 2014, como classe 3 nos anos de 2008, 2013 e 2016. Nos anos de 2012, 2015 não foi possível realizar sua classificação visto que pelo menos um dos parâmetros analisados excedeu os limites estipulados pela Resolução CONAMA 357/2005 (Tabela 19).

Tabela 19- Classificação Arroio Mangueirão por ano de coleta conforme Resolução CONAMA 357/2005

Ponto	Ano	DBO5 (mg O2/L)	Fósforo total (mg P/L)	Nitrato (mg N/L)	Oxigênio dissolvido (mg O2/L)	pH	Sólidos totais (mg/L)	Classificação no ano
MP1	2007	1	0,079	1,01	9,1	6,95	125	2007 Classe 1
MP2	2007	ND	0,036	0,65	9,8	6,67	92	
MP3	2007	ND	0,03	0,61	10,1	7,13	107	
MP4	2007	ND	0,028	0,47	9,8	8,12	121	
MC1	2007	ND	0,02	0,25	9,6	6,94	86	
MC2	2007	1	0,031	0,31	9,6	6,84	85	
MP1	2008	ND	0,14	0,19	6,2	8,93	125	
MP2	2008	ND	0,07	0,56	7,9	7,58	87	
MP3	2008	ND	0,07	0,62	8	8,18	112	
MP4	2008	ND	0,04	0,35	7,6	8,25	117	
MC1	2008	ND	ND	0,16	7,4	7,94	85	
MC2	2008	ND	0,04	0,28	7,4	7,72	97	
MP1	2009	ND	0,08	0,82	9	8,07	101	2009 Classe 1
MP2	2009	ND	0,06	0,77	9,9	7,96	75	
MP3	2009	ND	0,05	1,5	8,9	8,22	96	
MP4	2009	ND	0,03	0,31	9	8,28	122	
MC1	2009	ND	0,04	0,13	9	7,75	77	
MC2	2009	ND	0,04	0,18	9,9	7,35	86	
MP1	2010	ND	ND	0,92	9,6	8,77	96	
MP2	2010	ND	ND	0,66	9,5	8,07	123	
MP3	2010	ND	ND	0,01	10,1	8,6	131	
MP4	2010	ND	ND	0,45	10	8,66	147	
MC1	2010	ND	ND	0,37	9,3	8,12	122	
MC2	2010	ND	ND	0,35	9,3	7,98	122	
MP1	2011	ND	0,09	0,54	9,8	7,94	122	2011 Classe 1
MP2	2011	ND	0,08	0,49	10,1	7,92	108	
MP3	2011	ND	0,05	0,53	10,2	7,6	119	
MP4	2011	ND	0,05	0,33	10	7,94	128	
MC1	2011	ND	0,03	0,1	10	7,74	81	
MC2	2011	ND	0,06	0,17	9,8	7,71	132	
MP1	2012	1	0,37	3,04	9,4	8,33	266	
MP2	2012	ND	0,14	1,88	9,7	7,22	216	
MP3	2012	ND	0,1	0,84	10,5	8,54	239	
MP4	2012	2	0,07	0,65	11	8,89	242	
MC1	2012	ND	0,04	0,06	9,6	8,15	133	
MC2	2012	ND	0,04	0,15	9,2	8,2	169	
MP1	2013	ND	0,14	0,84	9,7	6,84	247	2013 Classe 3

MP2	2013	ND	0,11	0,61	10,1	7,64	159	
MP3	2013	ND	0,12	0,49	10,1	7,53	223	
MP4	2013	1	0,09	0,44	9,8	7,18	222	
MC1	2013	ND	0,01	0,13	9,5	7,55	132	
MC2	2013	ND	0,02	0,26	9,4	7,37	167	
MP1	2014	ND	0,04	0,5	9,7	7,59	140	2014 Classe 1
MP2	2014	ND	0,02	0,48	9,8	7,61	171	
MP3	2014	ND	0,02	0,38	9,9	7,56	140	
MP4	2014	ND	0,01	0,32	9,7	7,52	192	
MC1	2014	ND	0,01	0,29	9,5	7,62	130	
MC2	2014	ND	ND	0,61	9,5	7,56	163	
MP1	2015	ND	0,18	0,99	10,2	8,14	373	2015 Fora do limite estabelecido pela resolução
MP2	2015	ND	0,15	0,77	10,2	8,04	141	
MP3	2015	1	ND	0,89	10,4	8,34	408	
MP4	2015	ND	0,06	0,62	9,7	8,15	368	
MC1	2015	ND	0,1	0,2	9,6	7,67	438	
MC2	2015	ND	ND	0,48	10	7,49	419	
MP1	2016	1	ND	1,02	7,7	8,03	148	2016 Classe 3
MP2	2016	1	0,11	0,85	7,6	7,68	126	
MP3	2016	ND	ND	0,7	7,9	8,47	152	
MP4	2016	ND	0,105	0,59	7,6	8,12	142	
MC1	2016	ND	ND	0,16	7,7	7,79	99	
MC2	2016	ND	ND	0,29	7,8	7,54	119	
	Classe 1							
	Classe 3							
	Valor não estabelecido pela Resolução							

Fonte: Autor (2018).

O Arroio do Salso ao longo dos dez anos de estudo ficou classificado como classe 1 por seis vezes nos anos de 2007, 2008, 2010, 2011, 2013 e 2014, como classe 3 nos anos de 2015, 2016. Nos anos de 2009 e 2012 não foi possível realizar sua classificação visto que pelo menos um dos parâmetros analisados excedeu os limites estipulados pela Resolução CONAMA 357/2005 (Tabela 20).

Tabela 20- Classificação Arroio do Salso por ano de coleta conforme Resolução CONAMA 357/2005

Ponto	Ano	DBO5 (mg O2/L)	Fósforo total (mg P/L)	Nitrato (mg N/L)	Oxigênio dissolvido (mg O2/L)	pH	Sólidos totais (mg/L)	Classificação no ano
SP1	2007	ND	0,028	0,27	9,3	7,83	61	2007 Classe 1
SP2	2007	ND	0,026	0,38	9,6	7,86	86	
SP3	2007	ND	0,021	0,26	9,6	8,28	106	
SP4	2007	sem coleta	sem coleta	sem coleta	sem coleta	sem coleta	sem coleta	
SC1	2007	ND	0,021	0,14	7,8	7,62	193	
SC2	2007	ND	0,028	0,13	9,9	7,65	227	
SP1	2008	ND	0,03	0,37	7,6	7,89	88	
SP2	2008	ND	0,03	0,22	7,7	8,01	127	
SP3	2008	ND	0,02	0,35	8,1	8,6	109	
SP4	2008	sem coleta	sem coleta	sem coleta	sem coleta	sem coleta	sem coleta	
SC1	2008	ND	ND	0,23	7	7,61	279	
SC2	2008	1	ND	0,14	7,6	8,05	222	
SP1	2009	ND	0,2	0,48	9	7,64	68	2009 Fora do limite estabelecido pela resolução
SP2	2009	ND	0,03	0,43	8,5	7,82	126	
SP3	2009	ND	0,03	0,38	8,6	8,04	80	
SP4	2009	sem coleta	sem coleta	sem coleta	sem coleta	sem coleta	sem coleta	
SC1	2009	ND	0,02	0,21	8,4	7,54	175	
SC2	2009	1	0,02	0,22	8,4	7,77	184	
SP1	2010	ND	ND	0,65	9,5	8,29	83	
SP2	2010	ND	ND	0,55	9,4	8,57	105	
SP3	2010	1	ND	0,74	9,6	8,48	112	
SP4	2010	sem coleta	sem coleta	sem coleta	sem coleta	sem coleta	sem coleta	
SC1	2010	ND	ND	0,46	9,3	7,95	224	
SC2	2010	ND	ND	0,36	9,3	8,19	242	
SP1	2011	ND	0,06	0,26	10,1	7,84	113	2011 Classe 1
SP2	2011	ND	0,06	0,22	9,7	7,88	101	
SP3	2011	ND	0,05	0,29	10	8,09	131	
SP4	2011	ND	0,03	0,22	9,9	8,15	98	
SC1	2011	ND	0,05	0,1	9,2	7,77	173	
SC2	2011	1	0,09	0,29	9,7	8,01	234	
SP1	2012	ND	0,05	0,41	8,8	7,42	90	
SP2	2012	ND	0,03	0,11	9,3	8,42	109	
SP3	2012	2	0,05	0,09	10	8,82	117	
SP4	2012	2	0,03	0,83	10,1	9,02	203	
SC1	2012	1	0,07	0,35	8,4	7,47	223	
SC2	2012	1	0,05	0,05	8,8	7,59	271	
SP1	2013	1	0,01	0,31	9,5	6,72	143	2013 Classe 1

SP2	2013	1	0,01	0,28	9,8	7,77	164	
SP3	2013	1	0,01	0,37	9,2	7,71	141	
SP4	2013	ND	0,01	0,36	9,9	7,77	142	
SC1	2013	ND	0,02	0,31	8,9	6,74	309	
SC2	2013	1	ND	0,29	9,1	7,22	358	
SP1	2014	ND	ND	0,34	9,8	7,46	153	2014 Classe 1
SP2	2014	ND	0,07	0,25	9,6	7,62	122	
SP3	2014	ND	0,01	0,38	9,4	7,57	128	
SP4	2014	ND	0,02	0,32	9,3	7,54	168	
SC1	2014	ND	ND	0,18	9,3	7,43	220	
SC2	2014	ND	0,01	0,2	9,4	7,31	269	
SP1	2015	ND	0,06	0,35	9,9	7,83	259	2015 Classe 3
SP2	2015	1	0,11	0,42	10	7,77	315	
SP3	2015	1	0,06	0,46	9,9	7,4	327	
SP4	2015	1	0,06	0,4	10,5	8,06	347	
SC1	2015	ND	0,07	0,36	9,9	7,57	380	
SC2	2015	ND	0,07	0,32	9,7	7,71	440	
SP1	2016	1	0,123	0,47	7,2	8,27	147	2016 Classe 3
SP2	2016	1	0,071	0,23	7,9	8,14	124	
SP3	2016	ND	ND	ND	7,5	8,02	146	
SP4	2016	ND	ND	0,13	7,5	8,34	114	
SC1	2016	ND	ND	ND	7,1	7,76	219	
SC2	2016	ND	ND	ND	9,6	8,36	251	
		Classe 1						
		Classe 3						
		Valor não estabelecido pela Resolução						

Fonte: Autor (2018).

O Arroio Irapuazinho, cujo ponto de monitoramento é o único após as atividades de mineração, ficou classificado como classe 1 em novo dos dez anos de estudo à exceção foi registrada no ano de 2012 onde o parâmetro pH ficou 0,34 acima do limite tolerado, assim não foi possível realizar sua classificação, segundo Resolução CONAMA 357/2005 que não define nenhuma classe para índice de pH acima de 9 (Tabela 21).

Tabela 21- Classificação Arroio Irapuazinho por ano de coleta conforme Resolução CONAMA 357/2005

Ponto	Ano	DBO5 (mg O ² /L)	Fósforo total (mg P/L)	Nitrato (mg N/L)	Oxigênio dissolvido (mg O ² /L)	pH	Sólidos totais (mg/L)	Classificação no ano
IP1	2007	ND	0,018	0,23	9,6	8,27	105	2007 Classe 1
IP1	2008	ND	0,03	0,3	7,3	8,95	67	2008 Classe 1
IP1	2009	ND	0,04	0,37	10	7,69	87	2009 Classe 1
IP1	2010	ND	ND	0,41	10,1	8,32	124	2010 Classe 1
IP1	2011	ND	0,07	0,28	10	7,97	90	2011 Classe 1
IP1	2012	2	0,04	0,07	8,7	9,34	179	2012 Fora do limite estabelecido pela resolução
IP1	2013	ND	0,02	0,29	9,4	6,58	179	2013 Classe 1
IP1	2014	ND	ND	0,3	9,7	7,4	201	2014 Classe 1
IP1	2015	ND	0,06	0,5	9,8	7,76	396	2015 Classe 1
IP1	2016	ND	ND	0,17	7,2	8,59	130	2016 Classe 1
	Classe 1							
	Valor não estabelecido pela Resolução							

Fonte: Autor (2018).

4.12 Aplicação do Coeficiente de Correlação de Pearson para os parâmetros avaliados

Os gráficos da correlação dos parâmetros entre si podem ser visualizados no Apêndice A, enquanto os gráficos de correlação dos parâmetros com a precipitação pluviométrica estão apresentados no Apêndice B.

A seguir são demonstrados os resultados obtidos da correlação das referidas análises.

4.12.1 Coeficiente de Correlação de Pearson entre os parâmetros físico-químicos avaliados

A Tabela 22 apresenta os valores de r obtidos quando os parâmetros são comparados entre si.

Tabela 22- Correlação de Pearson para os parâmetros físico-químicos entre si

PARÂMETRO	Alcalinidade	Carbono orgânico	Condutividade	DBO5	DQO	Fósforo	Nitrato	Oxigênio dissolvido	PH	Sólidos totais
Alcalinidade			0,925	0,646		0,440	0,723		0,221	0,422
Carbono orgânico	-0,451				0,290	0,345				
Condutividade		-0,209		0,636		0,649	0,731	0,010	0,121	0,504
DBO5		-0,264				0,439	0,560		0,480	0,042
DQO	-0,350		-0,429	-0,798						
Fósforo					-0,252		0,349		0,186	0,426
Nitrato		-0,460			-0,386			0,181	0,452	0,370
Oxigênio dissolvido	-0,012	-0,304		-0,073	-0,131	-0,284				0,384
PH		-0,517			-0,384			-0,348		
Sólidos totais		-0,165			-0,131				-0,120	

	Forte correlação linear positiva (diretamente proporcional)
	Moderada correlação linear positiva (diretamente proporcional)
	Fraca correlação linear positiva (diretamente proporcional)
	Forte correlação linear negativa (inversamente proporcional)
	Moderada correlação linear negativa (inversamente proporcional)
	Fraca correlação linear negativa (inversamente proporcional)
	Não há correlação linear

Fonte: Autor (2018).

Através da análise dos dados pode-se verificar que os parâmetros que apresentaram correlação linear positiva foram:

- correlação linear forte: alcalinidade com condutividade; alcalinidade com nitrato; e condutividade com nitrato.

- correlação linear moderada: alcalinidade com DBO₅; alcalinidade com fósforo; alcalinidade com sólidos totais; condutividade com DBO₅; condutividade com fósforo; condutividade com sólidos totais; DBO₅ com fósforo; DBO₅ com nitrato; DBO₅ com pH; fósforo com sólidos totais; e nitrato com pH.

- correlação linear fraca: alcalinidade com pH; carbono orgânico com DQO; carbono orgânico com fósforo; condutividade com pH; fósforo com nitrato; fósforo com pH;

nitrato com oxigênio dissolvido; nitrato com sólidos totais; e oxigênio dissolvido com sólidos totais.

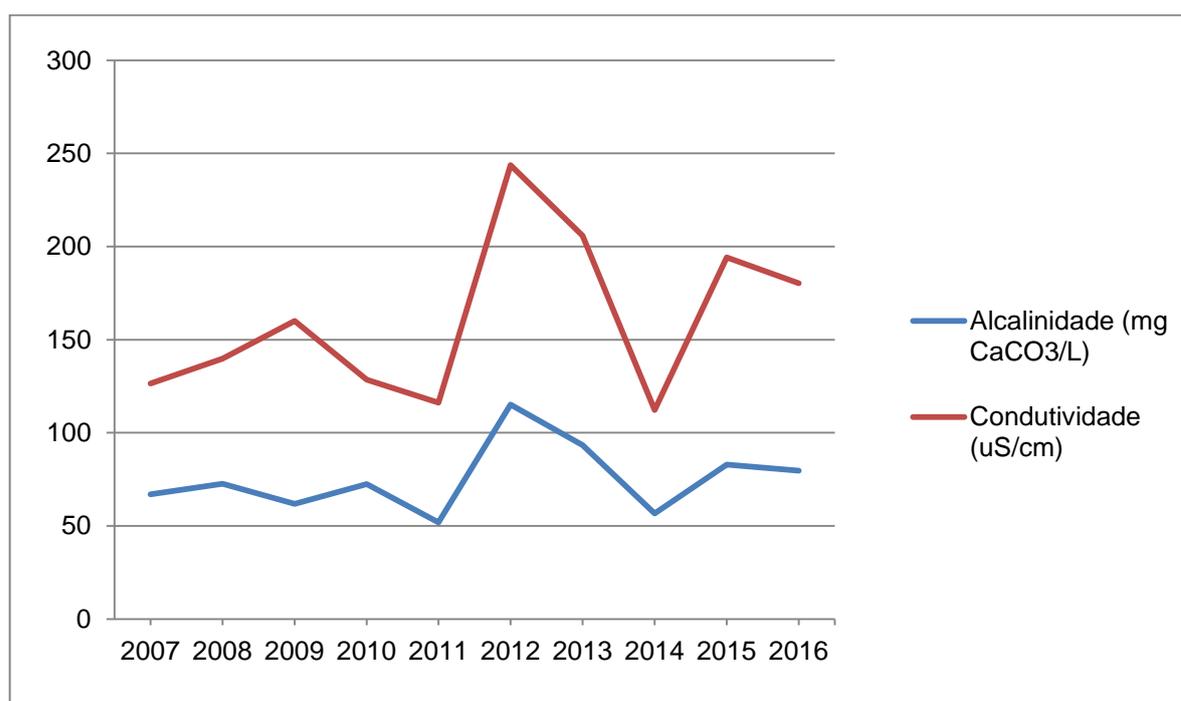
Os parâmetros que apresentam correlação linear negativa foram:

- correlação linear forte: DQO e DBO_5 .
- correlação linear moderada: carbono orgânico e alcalinidade; DQO e condutividade; nitrato e carbono orgânico; pH e carbono orgânico.
- correlação linear fraca: condutividade e carbono orgânico, DBO_5 e carbono orgânico; DQO e alcalinidade; fósforo e DQO; nitrato e DQO; oxigênio dissolvido e carbono orgânico; oxigênio dissolvido e DQO; oxigênio dissolvido e fósforo; pH e DQO; pH e oxigênio dissolvido; sólidos totais e carbono orgânico; sólidos totais e DQO; e sólidos totais e pH.

Não foi identificada correlação linear entre: oxigênio dissolvido e alcalinidade, oxigênio dissolvido e DBO_5 , e oxigênio dissolvido e condutividade.

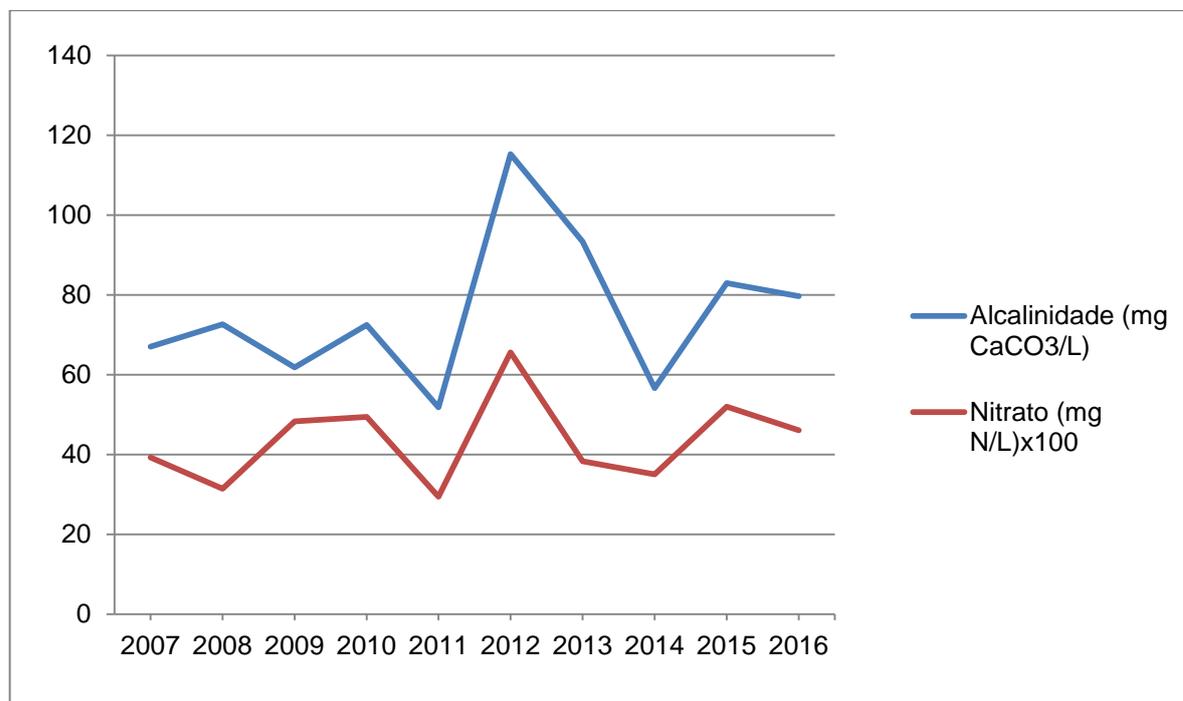
Ao analisar graficamente os parâmetros com forte correlação positiva forte, (alcalinidade e condutividade, alcalinidade e nitrato, condutividade e nitrato) visualiza-se suas relações diretamente proporcionais, de modo que quando um parâmetro aumenta o outro também aumenta fato este que pode ser visualizado nas figuras 51, 52 e 53.

Figura 51- Correlação linear positiva forte: Alcalinidade x Condutividade



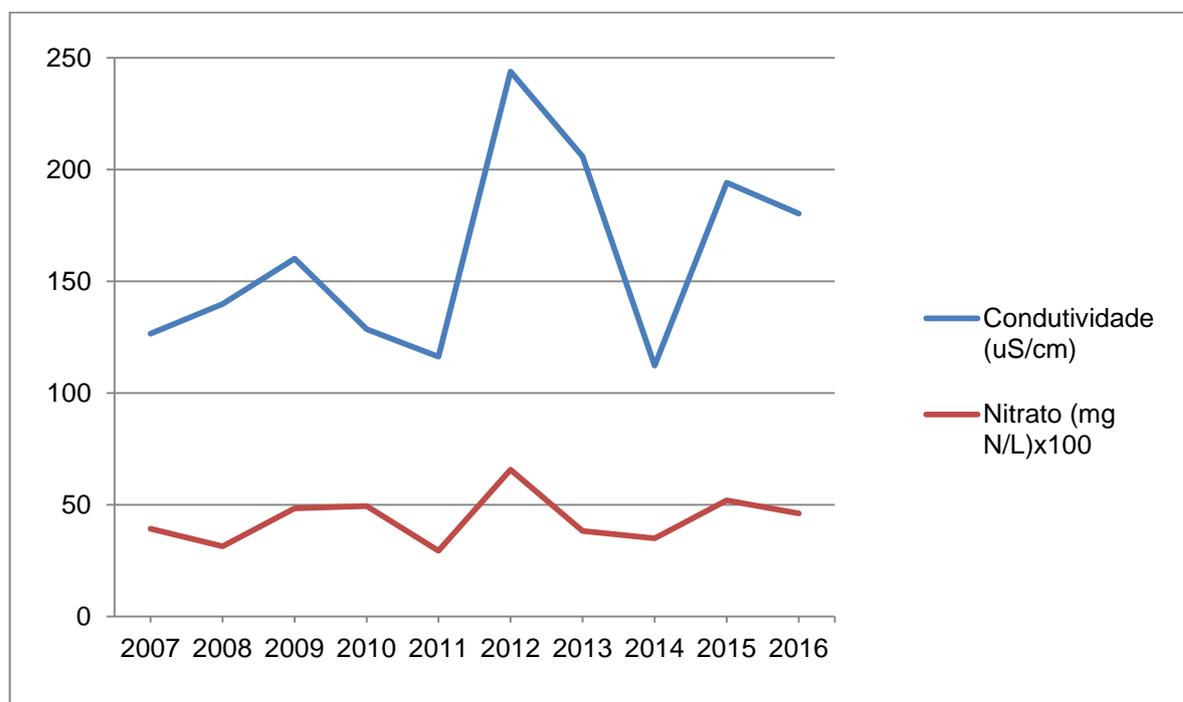
Fonte: Autor (2018).

Figura 52- Correlação linear positiva forte: Alcalinidade x Nitrato



Fonte: Autor (2018).

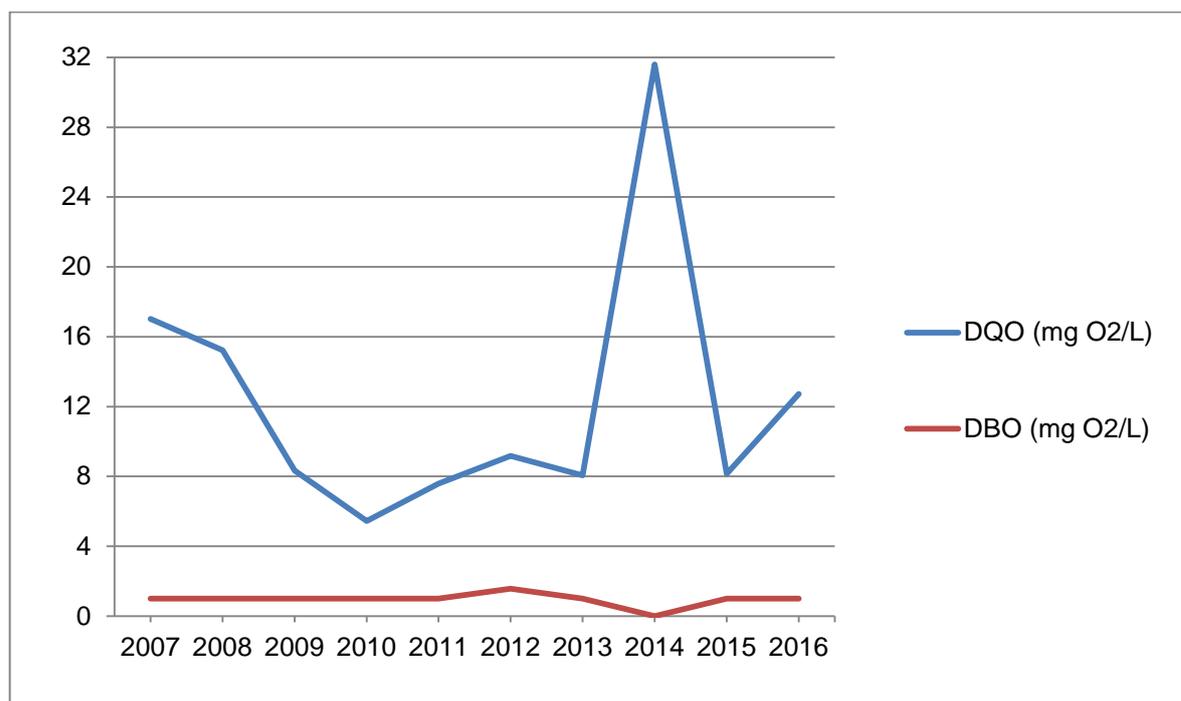
Figura 53- Correlação linear positiva forte: Condutividade x Nitrato



Fonte: Autor (2018).

Ao contrário, a correlação negativa demonstra-se inversamente proporcional, de modo que quando um aumenta o outro diminui e vice-versa, fato este pode ser visualizado na relação DBO_5 e DQO que demonstrou uma correlação linear negativa forte (figura 54).

Figura 54- Correlação linear negativa forte: DBO_5 x DQO



Fonte: Autor (2018).

4.12.2 Aplicação do Coeficiente de Correlação de Pearson parâmetros físico-químicos avaliados com a precipitação pluviométrica

Foram utilizados os milímetros de chuva registrados nos sete dias anteriores à coleta, segundo dados da Estação automática Caçapava do Sul-A812, para o período de 2011 a 2016, visto que apenas a partir do ano de 2011 que as datas das coletas estavam disponíveis, conforme Tabela 23.

Tabela 23- Precipitação pluviométrica registrada

Ano	Chuva na semana da coleta (em mm)
2011	68
2012	0,6
2013	38,6
2014	41
2015	29,2
2016	36,8

Fonte: Autor (2018).

Na relação com a precipitação pluviométrica, foi analisada a média geral dos pontos ano a ano para cada parâmetro estudado. A tabela 24 apresenta a correlação de cada parâmetro com a precipitação pluviométrica.

Tabela 24- Correlação de Pearson parâmetros x precipitação pluviométrica

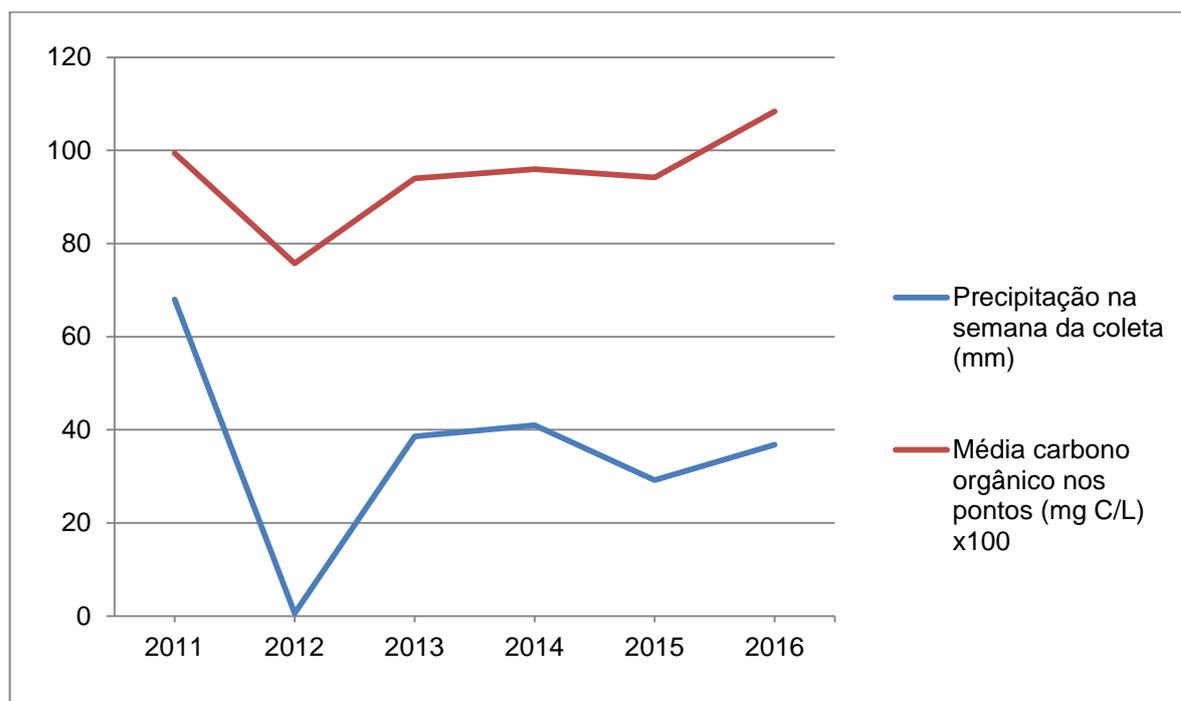
PARÂMETRO	PRECIPITAÇÃO
Alcalinidade	-0,882
Carbono orgânico	0,724
Condutividade	-0,830
DBO5	-0,459
DQO	0,074
Fósforo	-0,378
Nitrato	-0,944
Oxigênio dissolvido	0,088
pH	-0,415
Sólidos totais	-0,368

-  Forte correlação linear positiva (diretamente proporcional)
-  Moderada correlação linear positiva (diretamente proporcional)
-  Fraca correlação linear positiva (diretamente proporcional)
-  Forte correlação linear negativa (inversamente proporcional)
-  Moderada correlação linear negativa (inversamente proporcional)
-  Fraca correlação linear negativa (inversamente proporcional)
-  Não há correlação linear

Fonte: Autor (2018).

Através da análise dos dados pode-se verificar que o único parâmetro que apresenta correlação linear positiva, ou seja, é diretamente proporcional a precipitação, elevando-se à medida que a precipitação pluviométrica aumenta foi o carbono orgânico conforme apresentado na figura 55.

Figura 55- Correlação linear positiva: Carbono orgânico x Precipitação



Fonte: Autor (2018).

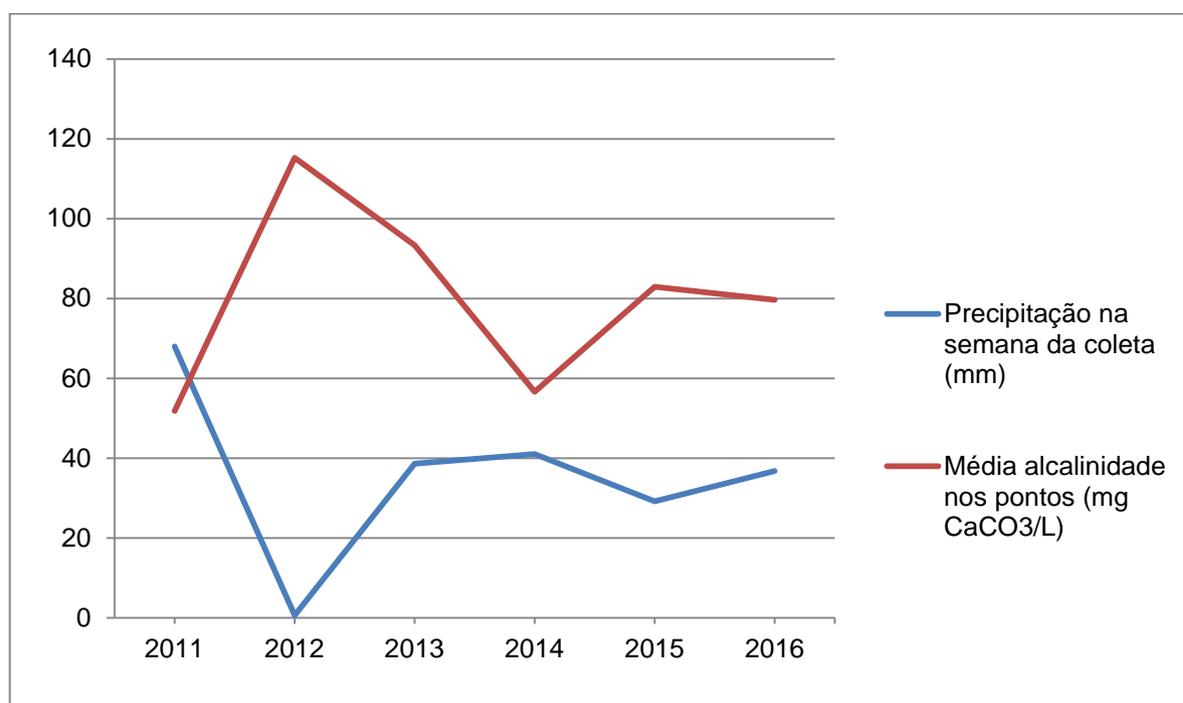
Os parâmetros que apresentaram correlação linear negativa foram:

- correlação linear forte: alcalinidade; condutividade; nitrato.
- correlação linear moderada: DBO₅; pH.
- correlação linear fraca: fósforo; sólidos totais.

Não foi identificada correlação entre a precipitação e os parâmetros DQO e oxigênio dissolvido.

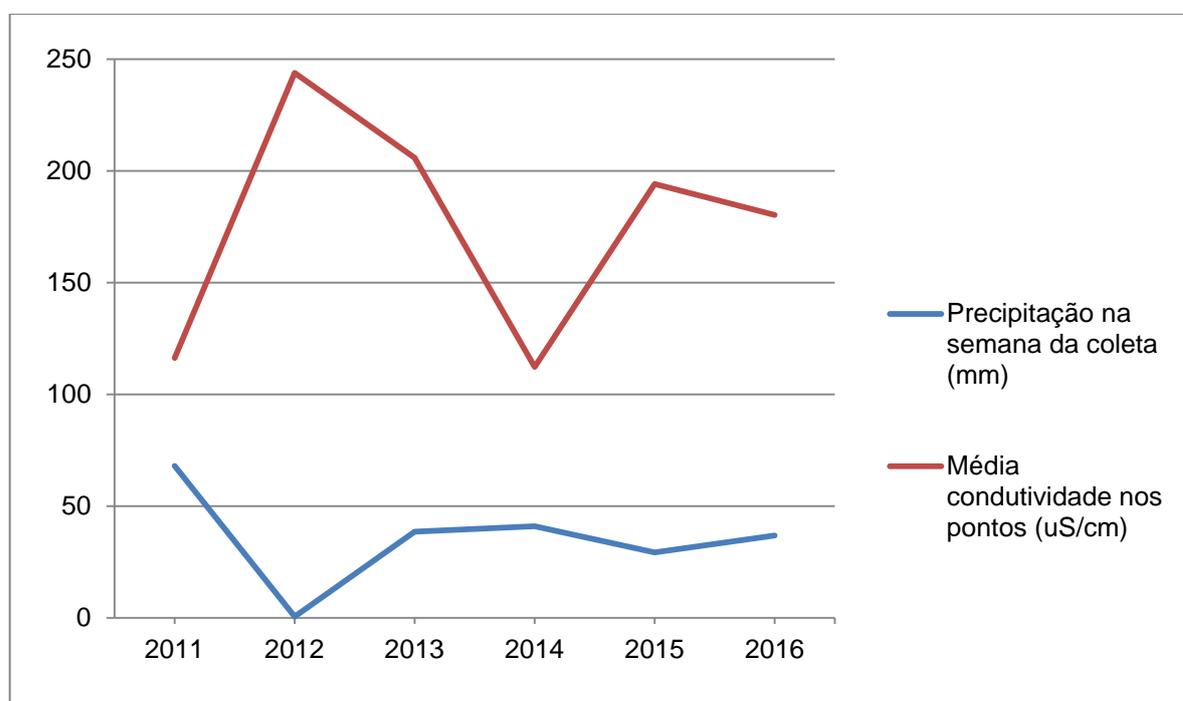
Ao analisarmos graficamente alcalinidade, condutividade e nitrato que possuem correlação negativa forte com a precipitação, ou seja, apresentam comportamento inversamente proporcional, visto que, quanto maior a incidência de precipitação menor se demonstrou a concentração destes parâmetros e vice-versa conforme apresentado nas figuras 56, 57 e 58.

Figura 56- Correlação linear negativa: Alcalinidade x Precipitação



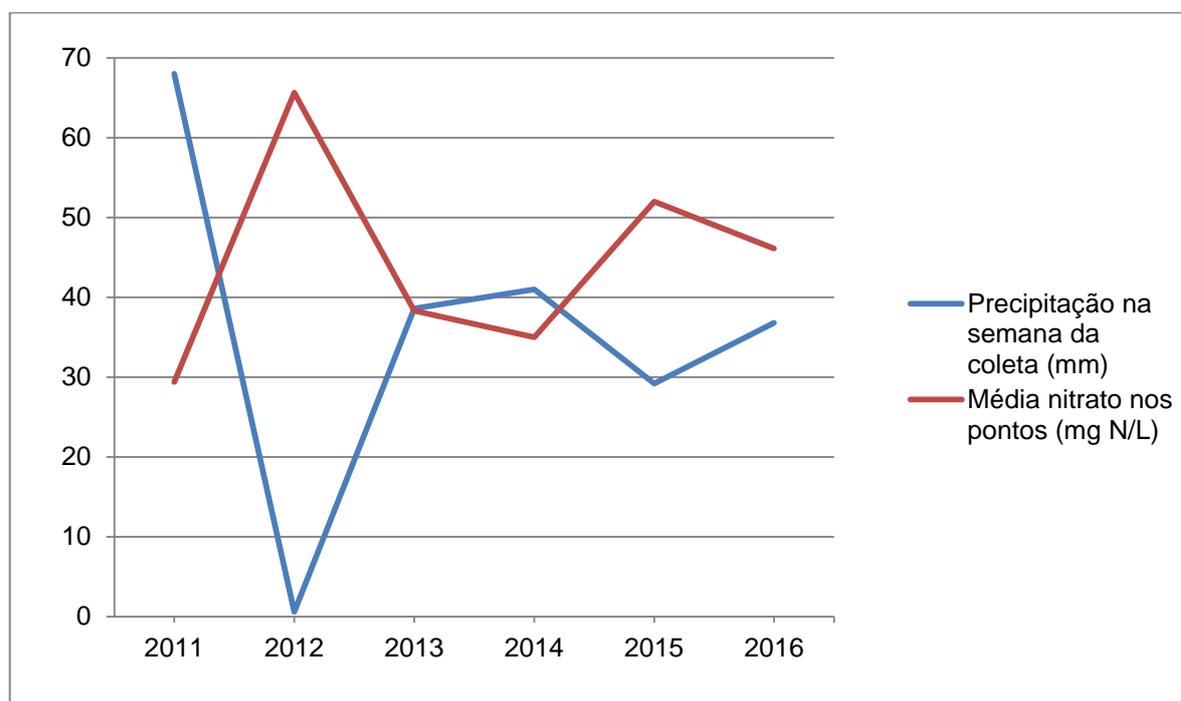
Fonte: Autor (2018).

Figura 57- Correlação linear negativa: Condutividade x Precipitação



Fonte: Autor(2018).

Figura 58-Correlação linear negativa: Nitrato x Precipitação



Fonte: Autor(2018).

Em conformidade ao estudo de Fritzsons et al (2009) que também evidenciaram uma tendência de diminuição da alcalinidade em períodos de precipitação devido a ação do efeito de diluição sobre a mesma.

Sperling, Jardim e Grandchamp (2004) constataram em seu estudo a ocorrência de teores de condutividade elétrica mais elevado no período seco, quando não ocorre o efeito diluidor das águas de chuva. Araújo (2006) também identificou essa diminuição da condutividade relacionada ao período chuvoso, caracterizando este fato devido à diluição dos íons presentes na água.

Em relação à concentração de nitrogênio elevada durante a época de estiagem, pode estar influenciada por fertilizantes agrícolas e lançamento de esgotos domésticos, uma vez que, durante a época de estiagem não há o efeito diluidor provocado pelas precipitações atmosféricas (BUZZELLI; DA CUNHA-SANTINO, 2013). Ainda, Kolm, Siqueira e Machado (2016) apresentam em seu estudo que no período chuvoso observa-se aumento de nitrito, material particulado em suspensão, matéria orgânica particulada e redução de nitrato.

5. CONCLUSÃO

O ponto IP1 (Irapuazinho principal 1), situado à jusante tanto da mineração quanto do local onde desaguam as águas dos Arroios Salso e do Mangueirão é o ponto crucial para avaliação do impacto da mineração de calcário sob os recursos hídricos, de modo que ambos os cursos d'água além de passarem próximos a áreas urbanizadas, também circularam no interior da mineração.

Quanto à alcalinidade e condutividade houve um pequeno acréscimo dos valores em área de mineração, podendo ser explicado pelo fato do processo de extração de calcário liberar carbonatos de cálcio e magnésio no ambiente elevando assim a alcalinidade e condutividade da água. Contudo, os limites estabelecidos não foram superados em nenhuma amostra ao longo dos dez anos de estudo.

O parâmetro carbono orgânico total no ponto IP1, na grande parte dos anos analisados, demonstrou índice abaixo dos encontrados nos pontos que antecederam a mineração, possivelmente por influência de fontes pontuais de poluição relacionadas ao lançamento de efluentes das áreas urbanas.

Para a DBO_5 o ponto IP1 obteve valores abaixo do limite de detecção em nove dos dez anos de estudo, sendo que apenas no ano de 2012 foi possível a sua detecção, o qual foi ficou dentro dos limites para classe 1 segundo a Resolução CONAMA 357/2005. Quanto à DQO o ponto IP1 registra segunda menor média acumulada nos dez anos de análise.

A análise do fósforo total para o ponto IP1 demonstrou média histórica mais baixa do que todos os pontos que antecederam a mineração, as análises jamais excederam o limite para classe 1 da Resolução CONAMA 357/2005 apesar de receber águas de pontos classificados como classe 3 ou ainda acima dos limites da Resolução CONAMA 357/2005.

Em relação ao nitrato, tanto o IP1 quanto os outros doze pontos de monitoramento registraram valores bem abaixo do limite estabelecido para a classe 1 da referida Resolução.

Os treze pontos estão dentro do limite estabelecido para classe 1 do parâmetro oxigênio dissolvido conforme Resolução CONAMA 357/2015. Existe um equilíbrio entre eles, visto que ao longo dos anos é perceptível que até mesmo as variações são equilibradas, ou seja, quando ocorre uma pequena alteração para cima ou para baixo mesmo que sutil, todos os pontos acompanham.

O parâmetro do PH registrou um pequeno acréscimo dos valores nos cursos d'água principais em área de mineração, porém este parâmetro apenas foi excedido no ano de 2012 em que o limite estabelecido foi ultrapassado minimamente nos pontos SP4 (9,02) e IP1 (9,34).

Em relação aos sólidos totais, percebe-se uma sincronia ao longo dos anos entre os pontos. Os maiores valores médios registrados encontram-se na área de mineração, demonstrando que os efeitos são mais pontuais nos locais onde são desenvolvidas as atividades minerárias. Para todos os pontos os limites ficaram de acordo com o estabelecido para a Resolução CONAMA 357/2005.

É expressivo o fato de que em 100 análises efetuadas no ponto IP1 apenas uma excedeu os limites para qualidade da água estabelecidos pela legislação, sendo que todos os outros parâmetros deste ponto estão dentro dos limites da classe 1.

O parâmetro fósforo total demonstrou alterações excedentes ao limite da Resolução CONAMA 357/2015 por três vezes em pontos de monitoramento que antecedem a mineração de calcário. Este parâmetro tem origem, principalmente de efluentes domésticos em que o elemento fósforo apresenta-se na forma de detergentes superfosfatados e matéria fecal e também de fertilizantes agrícolas. Como no entorno da área não há presença de plantações, a alteração deste parâmetro demonstra-se associado ao lançamento de efluentes domésticos oriundos principalmente da urbanização no entorno do fluxo dos cursos d'água.

Em relação ao ano de maior produção de calcário registrado em 2014, não foi perceptível alteração em nenhum parâmetro, exceto, DQO que registrou nos pontos SC1, SC2 e SP4 valores acima da média. Embora estes três pontos estejam dentro da área de mineração, os outros cinco também dentro da atividade, apresentaram valor abaixo do limite detectável, não caracterizando uma relação direta do aumento da produção com a elevação deste parâmetro. Além disso, todos os valores registrados ao longo dos dez anos de análise nunca excederam os limites estabelecidos pela bibliografia.

Na análise de Correlação Linear de Pearson, foi observada forte correlação positiva entre os parâmetros: alcalinidade /condutividade, alcalinidade/nitrato e condutividade/nitrato e forte correlação negativa entre DBO₅ e DQO. Em relação à precipitação pluviométrica verificou-se forte correlação positiva com o carbono

orgânico e forte correlação negativa com os parâmetros alcalinidade, condutividade e nitrato.

Os parâmetros alcalinidade, sólidos totais, condutividade e pH se demonstraram mais relacionados ao desenvolvimento da atividade, uma vez que pode-se perceber elevação destes índices nos pontos de monitoramento localizados em área de mineração de calcário. De qualquer forma o monitoramento contínuo dos recursos hídricos demonstra-se de suma importância, a fim de se subsidiar ações de prevenção e controle da poluição.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRACAL. **Calcário Agrícola Brasil Consumo Aparente 1992 a 2017 e Produção por Estado 1987 a 2017**. Disponível em <<http://www.abracal.com.br/estatisticas>>. Acesso em: 20 out. de 2018.

ARAUJO, A.E.M. **Avaliação dos parâmetros físicos, químicos e índice de qualidade da água no Rio Saúde, em razão da precipitação**. Universidade Federal de Alagoas. Dissertação de mestrado. Maceió. 2006. 92 p.

BACCI, D. L. C.; LANDIM, P. M. B.; ESTON, S. M. **Aspectos e impactos ambientais de pedreira em área urbana**. Rem: Rev. Esc. Minas, vol.59, nº. 1 Ouro Preto Jan./Mar. 2006

BENETTI, A.; BIDONE. F. **O meio ambiente e os recursos hídricos**. In: TUCCI, C.E.M. (Org.). Hidrologia: ciência e aplicação. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2001. 849-876 p.

BIGARELLA, J. J.; SALAMUNI, R. **Estudos preliminares na Série Açungui. V-Estruturas organógenas nos dolomitos da Formação Capiru (Estado do Paraná)**. Dusenya, v. 7, n. 6,1956. 317-323 p.

BITENCOURT, M. F. **Geologia, petrologia e estrutura dos metamorfitos da região de Caçapava do Sul, RS**. Dissertação de Mestrado. Curso de Pós-Graduação em Geociências, UFRGS, Porto Alegre, 1983. 161p.

BOMFIM, M. R. **Avaliação de impactos ambientais da atividade minerária**. UFRB, Bahia, 2017. 46p.

BORTOLOTTO, O. J. **Petrografia dos mármores de Caçapava do Sul**. Ciência e Natura:V. 9,1987. 37-65 p.

BRASIL, **Decreto-Lei nº. 227 de 28 de fevereiro de 1967**. Código de Mineração.

BRASIL, **Lei Federal 6.938 de 31 de agosto de 1981**, dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências.

BRASIL, **CONAMA. Resolução nº 1, de 23 de janeiro de 1986.** Dispõe sobre critérios básicos e diretrizes gerais para o Relatório de Impacto Ambiental - RIMA. Diário Oficial da União: Brasília, edição de 17 de fevereiro de 1986.

BRASIL, **Lei Federal 9.433 de 08 de janeiro de 1997,** institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989.

BRASIL, CONAMA. **Resolução Nº 237, de 19 de dezembro de 1997.** Regulamenta os aspectos de licenciamento ambiental estabelecidos na Política Nacional do Meio Ambiente. Publicada no Diário Oficial da União, de 22 de dezembro 1997.

BRASIL, CONAMA. **Resolução nº 357 de 17 de março de 2005.** Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências.

BRASIL, Ministério da Saúde. Fundação Nacional de Saúde. **Manual de controle da qualidade da água para técnicos que trabalham em ETAS,** Brasília: Funasa, 2014.112 p.

BRASIL, **Decreto nº 9.406, de 12 de junho de 2018.** Regulamenta o Código de Mineração.

BUZELLI, G. M.; DA CUNHA-SANTINO, M. B. **Análise e diagnóstico da qualidade da água e estado trófico do reservatório de Barra Bonita, SP.** Revista Ambiente e Água. São Paulo, v.8, n.1, 30 abr. 2013.

CALCÁRIO RAZZERA. Disponível em: < <http://razzera.com.br/>> Acesso em 20 out. 2018.

CETEM – Centro de Tecnologia Mineral. **Manual de agregados para a construção civil.** Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2009.245 p.

CETESB- **Qualidade das águas superficiais no estado de São Paulo 2014,** Apêndice D – Significado Ambiental e Sanitário das Variáveis de Qualidade, São Paulo, 2015

CHAPMAN, D; KIMSTACH, V. **Selection of water quality variables**. In: CHAPMAN, D. Water quality assessments: a guide to the use of biota, sediments and water in environmental monitoring. 2 ed. Cambridge: UNESCO/WHO/UNEP, 1996.

CORDEIRO, J. L. P.; HASENACK, H. **Cobertura vegetal atual do Rio Grande do Sul. Campos sulinos: conservação e uso sustentável da biodiversidade**. Ministério do Meio Ambiente, Brasília, 2009. 285-299 p.

CPRM- Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais - **Carta geológica folha SH.22-Y-A-V Caçapava do Sul**, escala 1:100.000. 2017.

CUNHA, M.F., **Análise do Estado da Arte do Fechamento de Mina em Minas Gerais**. Dissertação de Mestrado- Departamento de Engenharia de Minas. Escola Minas, Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto, 2007. 72 p.

DANCEY, C.; REIDY, J. **Estatística sem matemática para a psicologia**. Porto Alegre: Artmed, 2006. 608 p.

DAGOBERTO BARCELLOS S.A. Disponível em: <<http://grupodb.com.br/site/>> Acesso em 20 out. 2018.

DNPM – Departamento Nacional de Produção Mineral. **Sumário Mineral 2009**. v. 36, versão junho/2010. 2010. 104 p.

DNPM – Departamento Nacional de Produção Mineral. **Sumário Mineral 2016**, v. 29, versão 1- junho/2018. Brasília, 2018 (a). 36-37. 131p.

DNPM – Departamento Nacional de Produção Mineral. **Anuário Mineral Estadual - Rio Grande do Sul ano base 2016**, versão 1 – julho/2018 – Brasília, 2018 (b). 57 p.

FIGUEIREDO FILHO, D. B.; SILVA JÚNIOR, J. A. da. **Desvendando os Mistérios do Coeficiente de Correlação de Pearson (r)**. Revista Política Hoje, Vol. 18, n. 1, 2009. 115-146 p.

FRANCO, B. de A.; SOUZA JUNIOR, L.C.de. **Estudo do mercado de calcário para fins agrícolas no Estado de Pernambuco**. Recife: CPRM, 2000. 20 p.

FREAS, R. C.; HAYDEN, J. S.; PRYOR JUNIOR, C. A. **Limestone and dolomite**. In: KOGEL, J. E. (Ed.). Industrial minerals and rocks. 7th ed. Littleton: Society for Mining, Metallurgy and Exploration, 2006. 581-597 p.

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

GOMES, C. H.; SCHMIDT, A. M.; DESSART, R. L.; NOVA, G. P. C. **Geochemical analyses of water and public health of the Mangueirão and Salso Streams in Caçapava do Sul, RS, Brazil.** Revista Ambiente & Água, v. 12 n. 5, set/out 2017. 760-773.

HERRMANN, M.L.P.; ROSA, R.O. Relevô. In: IBGE (ed.). **Geografia do Brasil: Região Sul.** Rio de Janeiro. IBGE.1990.55-84 p.

IBGE- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Mapa dos Biomas do Brasil.** 1ª edição. Brasília: IBGE – Diretoria de Geociências. 2004.

IBGE- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Manual Técnico da Vegetação Brasileira.** Rio de Janeiro, n. 1, 2012, 271p.

IBRAM-Instituto Brasileiro de Mineração. **Mineração e meio ambiente.** Brasília, 1992. 126 p.

IBRAM/ANA. **A Gestão de Recursos Hídricos na Mineração,** Brasília, 2006. 334p.

IN 35 MAPA – Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Instrução Normativa Nº 35, de 04 de julho de 2006.**

INDÚSTRIA DE CALCÁRIOS CAÇAPAVA LTDA-INDUCAL. Disponível em: <<http://www.inducal.com.br/>> Acesso em 20 set. 2018.

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. 46 p.

IRMÃOS CIOCARI & CIA LTDA- FIDA. Disponível em: <<https://www.fida.com.br/>>. Acesso em 20 set. 218.

KOLM, H.E.; SIQUEIRA, A.; MACHADO, E.C. **Influência da Pluviosidade na Qualidade da Água de Dois Sangradouros do Litoral do Paraná, Brasil**. Brazilian Journal of Aquatic Science and Technology, Itajaí, v.20 n. 2, p. 1-11, 2016.

KOPEZINSKI, I. **Mineração x Meio Ambiente: Considerações Legais, Principais Impactos Ambientais e seus Processos Modificadores**, Porto Alegre: Ed. Universidade/ UFRGS, 2000. 103 p.

KNAPIK, H.G., FERNANDES, C.V.S., AZEVEDO, J.C.R., FRANÇA, M.S., PORTO, F.A. **Dinâmica da matéria orgânica em águas naturais**: Estudo de caso do Rio Iguaçu. XVIII Simpósio Nacional de Recursos Hídricos. 2009.

LIBÂNIO, M., LIBÂNIO, P. A. C., COSTA, B. M. P., SPERLING, E. V. **Avaliação da relevância do carbono orgânico total como parâmetro de caracterização de águas de abastecimento**. RBRH - Revista Brasileira de Recursos Hídricos, Porto Alegre, v. 5, n. 4, 2000. 41-55 p.

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

LOGAN, J. **Interpretação de Análises Químicas da Água**. US. Agency for International Development. Recife, 1965.

LUZ, A. B. da; SAMPAIO, J. A.; ALMEIDA, S. L. M. **Tratamento de minérios**. 4ª Edição. Rio de Janeiro: CETEM - MCT, 2004. 867 p.

MACEDO, W. **Levantamento de reconhecimento dos solos do município de Bagé, RS**. In: EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA Centro Nacional de Pesquisa de Ovinos, Bagé, RS. Coletânea das Pesquisas Forrageiras, Bagé. v.1, 1987. 285-338 p.

MACINTYRE, A.J. **Instalações Hidráulicas**. Rio de Janeiro: 3ª edição LTC. 1996.

MARTINS, M. E. G. **Coefficiente de correlação amostral**. Revista de Ciência Elementar, v. 2, n. 2. 2014.

MME – Ministério de Minas e Energia. **Anuário Estatístico do Setor de Transformação de Não-Metálicos**, atualizado em 25/07/2017. 2017. 90p.

MORAES, A. J. **Manual para avaliação da qualidade da água**. São Paulo: RIMA, 2001. 44p.

MORENO, J.A. **Clima do Rio Grande do Sul**. Seção de Geografia. Secretaria da Agricultura. Porto Alegre, 1961. 42p.

MOTA, S. **Preservação e Conservação de Recursos Hídricos**. Rio de Janeiro: ABES, 1995. 200p.

NAHASS, S.; SEVERINO, J. **Calcário Agrícola no Brasil**. Série Estudos & Documentos. CETEM- Ministério da Ciência e Tecnologia. 2003. 79 p.

PARAHYBA, R. E. **Calcário agrícola. DNPM – Departamento nacional de produção mineral**. Fortaleza, 2009. 536 – 545 p.

PARRON, L. M.; MUNIZ, D. H. de F.; PEREIRA, C. M. Documentos 232: **Manual de procedimentos de amostragem e análise físico-química de água**. Colombo: Embrapa Florestas, 2011. 67 p.

PETTIJOHN, F. J. **Sedimentary rocks. 2 ed. Harper and Brothers**. New York, 1957. 718 p.

PEREIRA, L. S.; FERREIRA, G. E.; **A Indústria da Cal no Brasil**. In: XVII Jornada de Iniciação Científica – CETEM, 2009. 178-184 p.

PESSOA, M. L. (Org.). **Clima do RS**. In: _____. **Atlas FEE**. Porto Alegre: FEE, 2017. Disponível em: < <http://atlas.fee.tche.br/rio-grande-do-sul/socioambiental/clima/> >. Acesso em: 16 de outubro de 2018.

PREFEITURA MUNICIPAL DE CAÇAPAVA DO SUL. Disponível em <<http://www.cacapava.rs.gov.br/>>. Acesso em 20 set. 2018.

REMUS, M.V.D., HARTMANN, L.A., MCNAUGHTON, N.J., GROVES, D.I. & FLETCHER, I.R. 2000. **The link between hydrothermal epigenetic copper mineralization and the Caçapava Granite of the Brasiliano Cycle in southern Brazil**. Journal of South American Earth Sciences 13 (2000):191- 216 p.

Resolução CRH nº 172/2015. **Aprova o enquadramento das águas superficiais da bacia Hidrográfica do Baixo Jacuí**. 2015. 4p.

RIBEIRO, M.; BOCCHI, P. R.; FIGUEIREDO FILHO, P. M.; TESSARI, R. I. **Geologia da Quadrícula de Caçapava do Sul, Rio Grande do Sul**. Rio de Janeiro: DNPM/DFPM (Boletim, 127),1966. 232 p.

RICHTER, C. A.; NETTO, J. M. A. **Tratamento de água: tecnologia atualizada**. São Paulo: Edgard Blucher. 1991. 332 p.

RICHTER, C. A. **Água: Métodos e tecnologia de Tratamento**. São Paulo, Blucher, 2009.352 p.

ROHDE, G. M.; BONIN, L. C.; MALLMANN, J. E.; ZWONOK, O. **Cal pozolânica no Estado do Rio Grande do Sul: abordagem técnica para produtos inovadores**. CIENTEC- Fundação de Ciência e Tecnologia 1ed, 2012. 54 p.

RODRIGUES, A. F. S; FONSECA, D. S. **Cimento**. Economia Mineral do Brasil. Brasília: Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM), 2009. 636-654 p.

SALATIEL, A. R. **Desenvolvimento de explosivos utilizando combustíveis não convencionais**. Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto Ouro, 2011. 100 p.

SAMPAIO, J. A.; ALMEIDA, S. L. M. **Calcário e Dolomito – Capítulo 16**, In:Rochas & Minerais Industriais/Ed. Adão Benvindo da Luz e Fernando Antonio Freitas Lins. 2.Ed. - Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2008. 363-387.

SÁNCHEZ, L. E. **Avaliação de impacto ambiental: conceitos e métodos**, Luis Enrique Sánches – São Paulo: Oficina de Textos, 2008. 495 p.

SEMA/DRH – Secretaria do Meio Ambiente/ Departamento de Recursos Hídricos. **Relatório Anual Sobre a Situação dos Recursos Hídricos no Estado do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre, 2008. 284 p.

SEMA/DRH – Secretaria do Meio Ambiente/ Departamento de Recursos Hídricos. **Relatório Técnico 2: Consolidação das informações sobre a bacia - RT2**. Porto Alegre, 2014.376 p.

SILVA, J. O. da. **Produto RT 38, Perfil do calcário**. Ministério de Minas e Energia, J. Mendo Consultoria, Secretaria De Geologia, Mineração e Transformação Mineral, Banco Mundial: Projeto Estal, 2009 (a), 56 p.

SILVA, J. O. da. **Produto RT 55, Perfil do calcário agrícola**. Ministério de Minas e Energia, J. Mendo Consultoria, Secretaria De Geologia, Mineração e Transformação Mineral, Banco Mundial: Projeto Estal, 2009 (b), 45 p.

SILVA, A. S; HERMES, L. C. **Avaliação da qualidade das Águas: manual prático**. Brasília: EMBRAPA - Informação Tecnológica, 2004. 55 p.

SPERLING, M. V. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 2. ed., Belo Horizonte: DESA, 1996. 243 p.

SPERLING, M.V.; JARDIM, F.A.; GRANDCHAMP,C.A.P. **Qualidade da água durante a formação de lagos profundos em cavas de mineração: estudo de caso do lago de Águas Claras – MG**. *Revista Eng. Sanit. e Amb.* Vol. 9 - Nº 3 - jul/set 2004. 250-259 p.

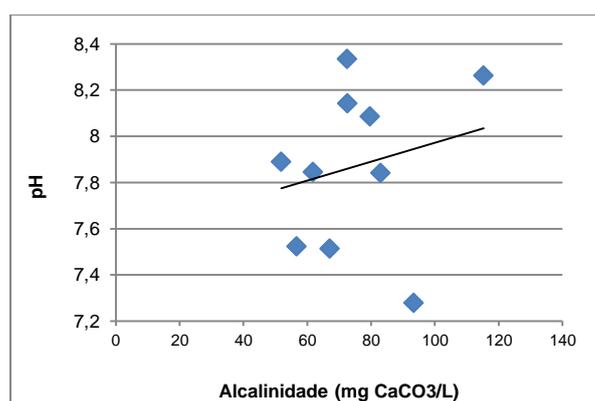
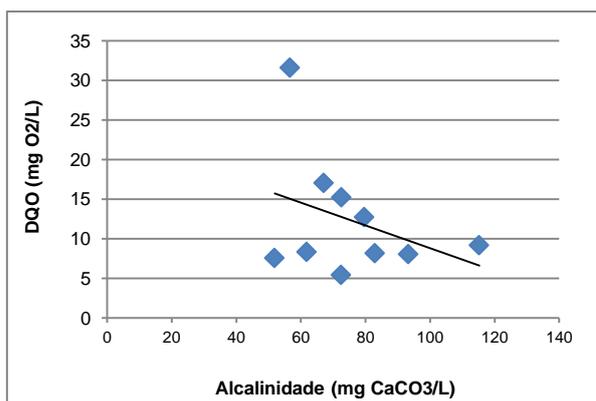
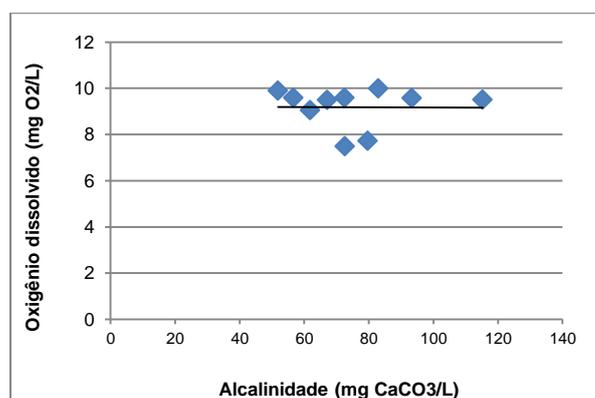
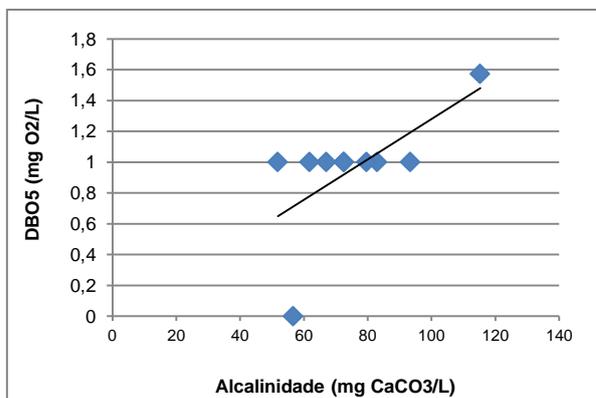
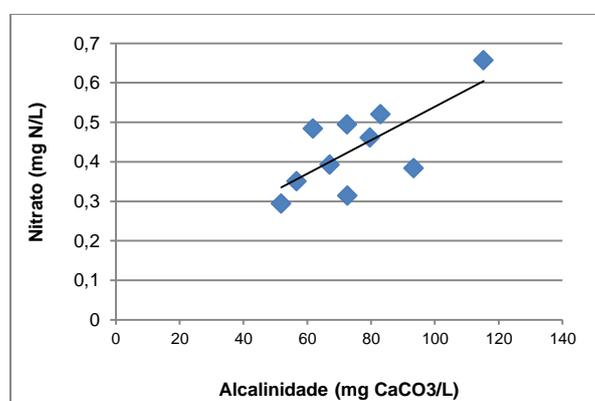
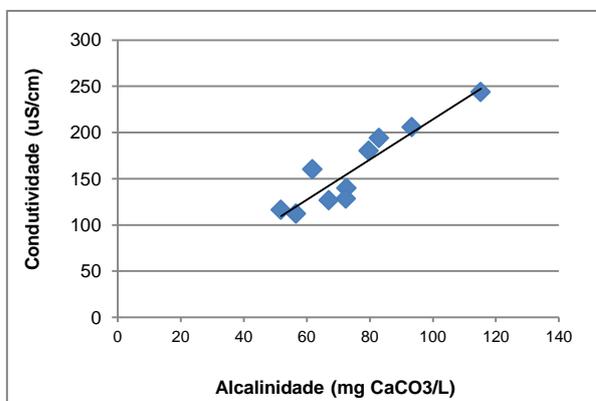
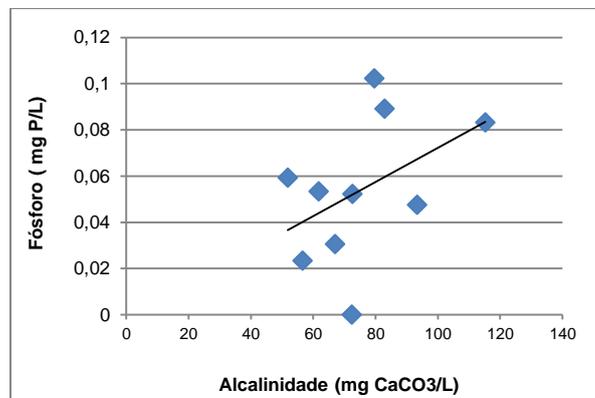
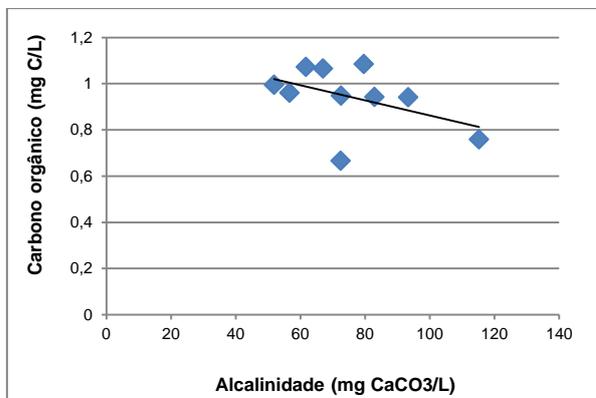
SPERLING, M. V. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 3. ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Federal de Minas Gerais. 2005.

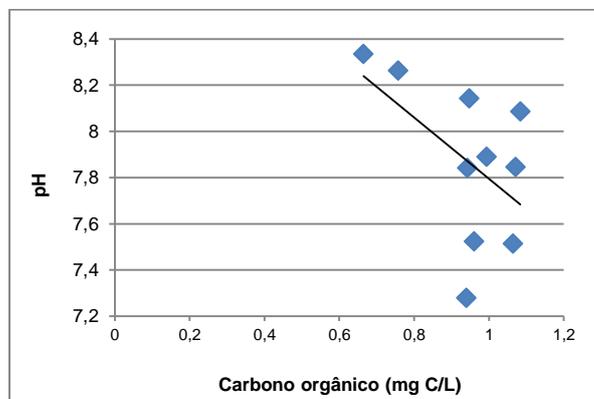
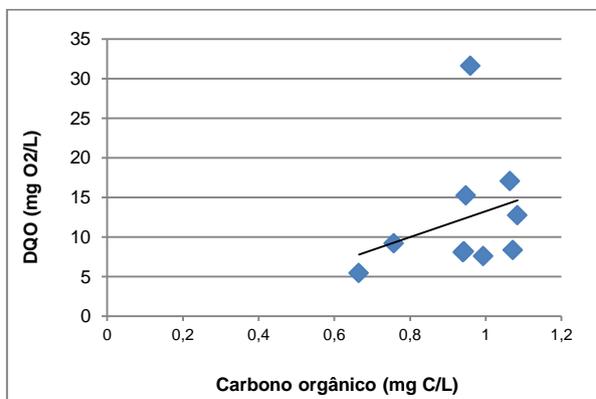
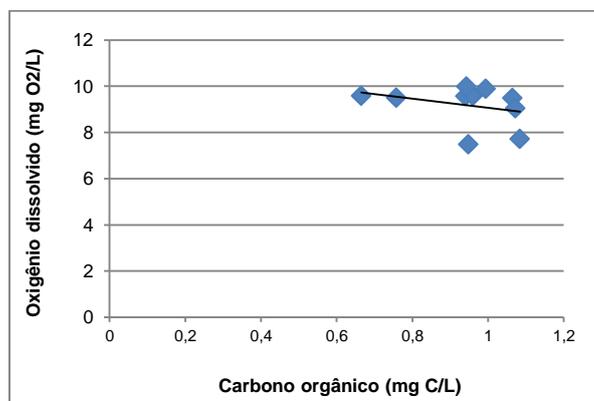
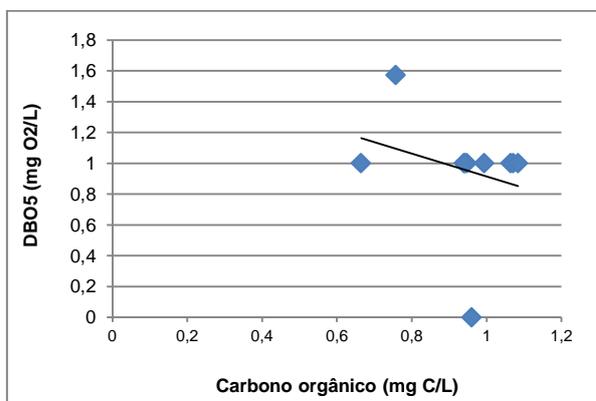
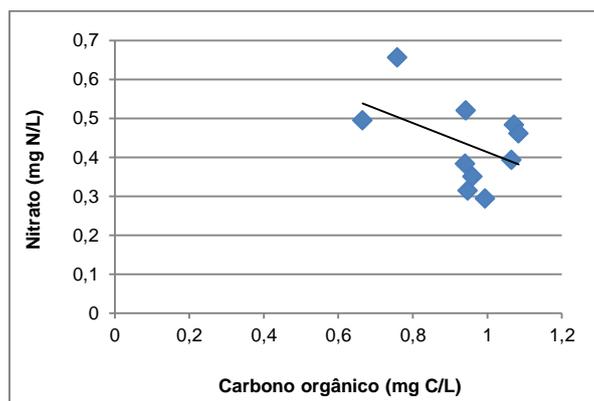
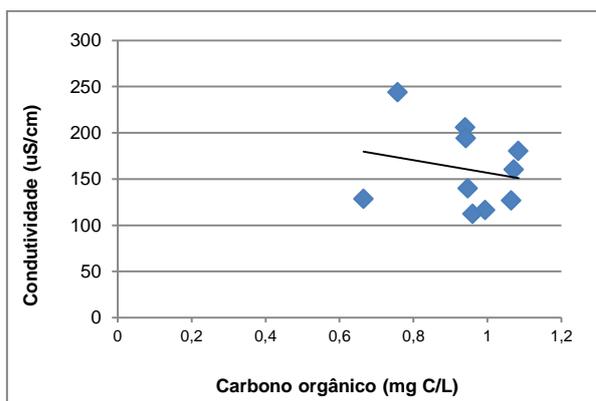
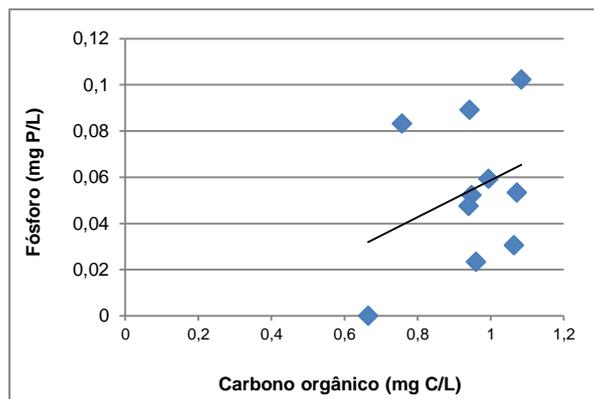
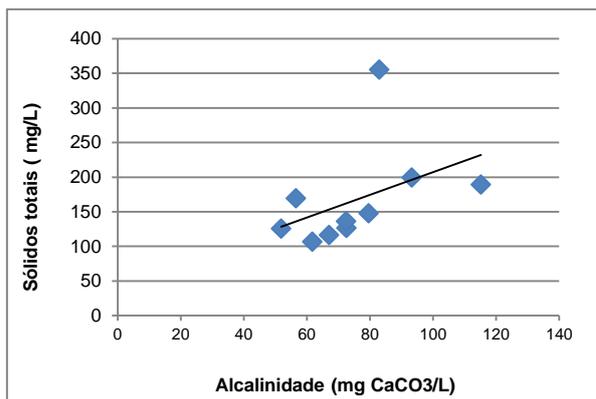
SPERLING, M. V. **Estudos e modelagem da qualidade da água de rios**. Belo Horizonte: Editora UFMG (Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental - DESA), 2007. 588 p.

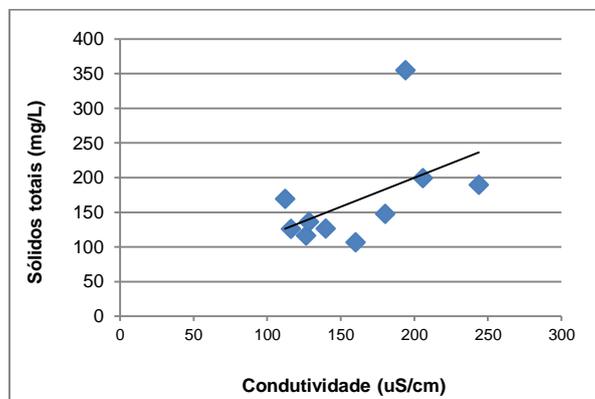
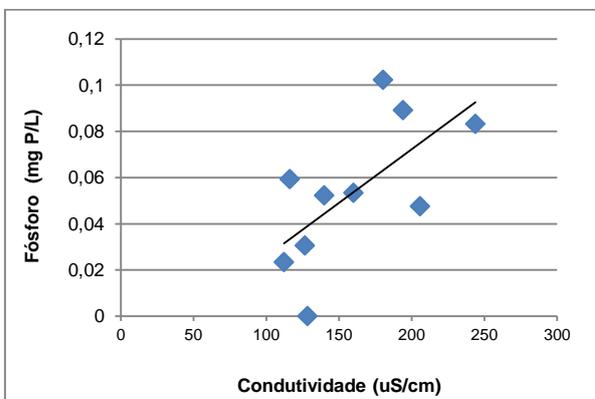
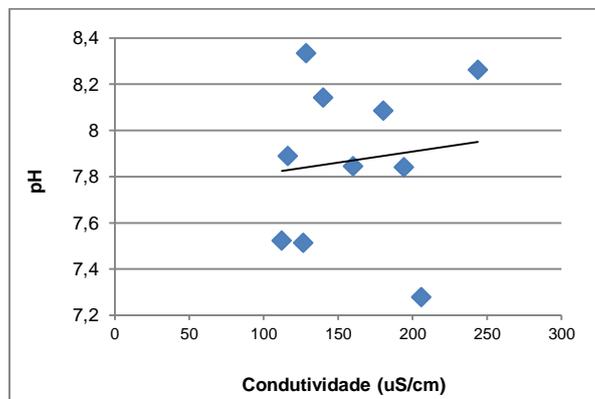
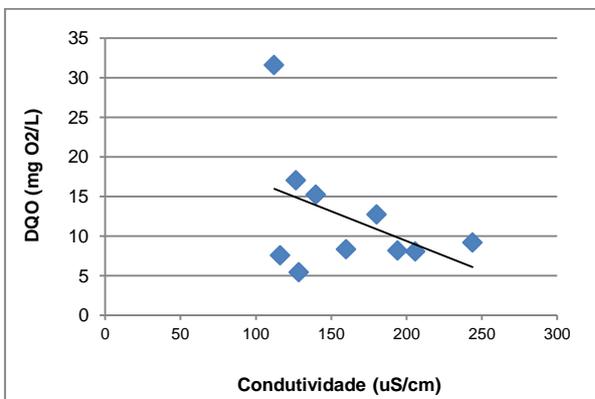
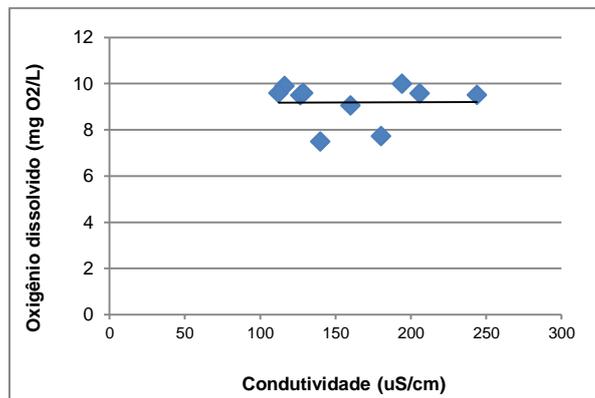
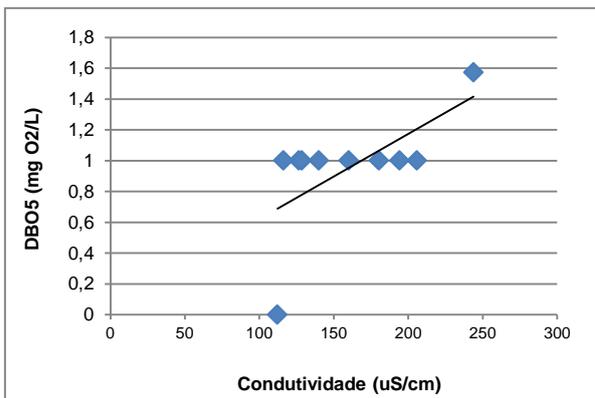
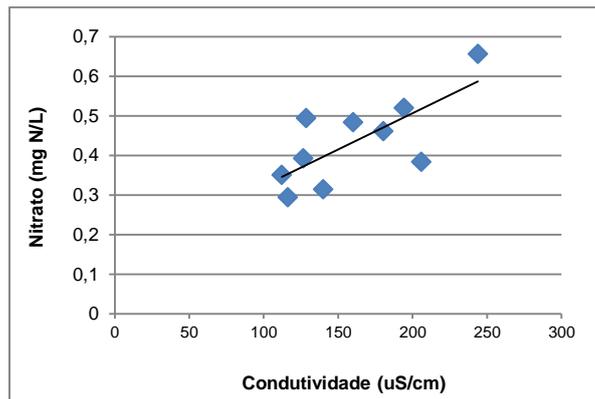
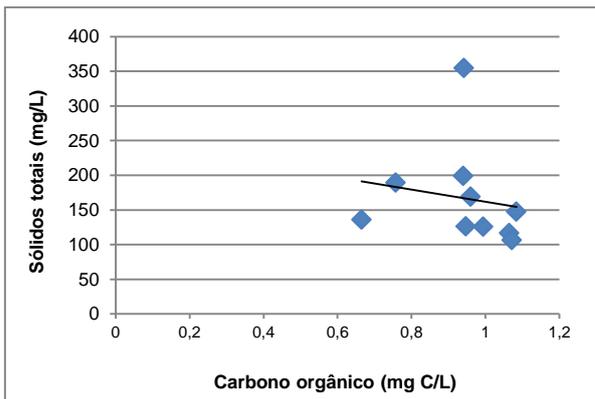
TEIXEIRA, M. B.; COURA-NETO, A. B.; PASTORE, U.; RANGEL-FILHO, A. L. R. **As regiões fitoecológicas, sua natureza e seus recursos econômicos. Estudo fitogeográfico**. *In: Levantamento de recursos naturais*. v. 33. Rio de Janeiro. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.1986. 541-632 p.

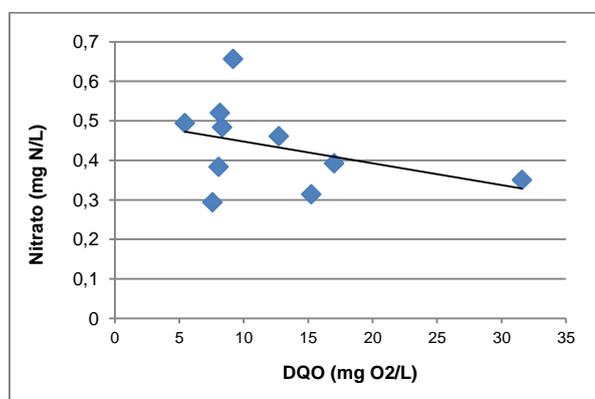
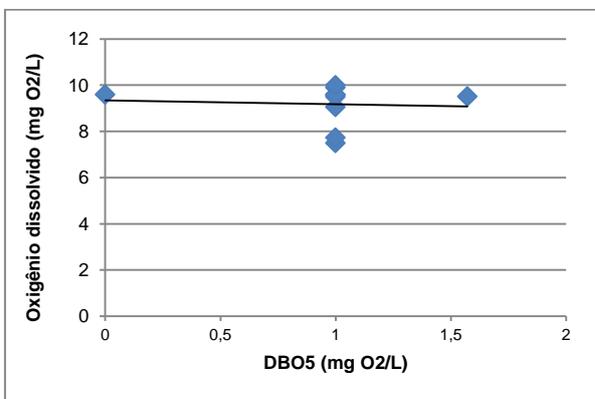
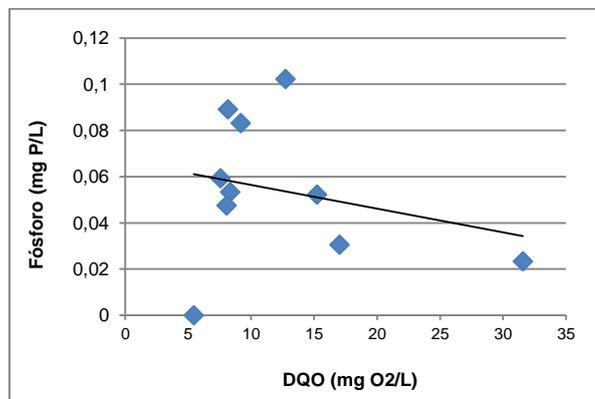
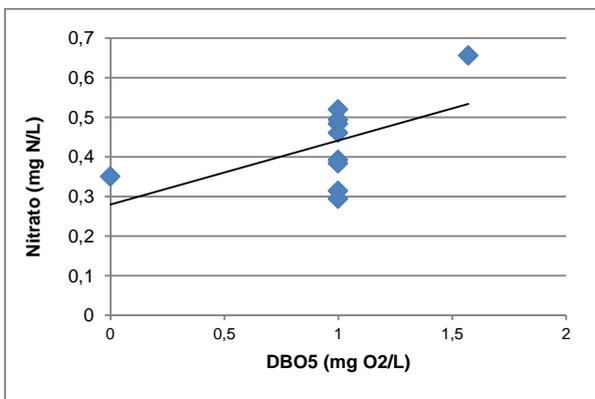
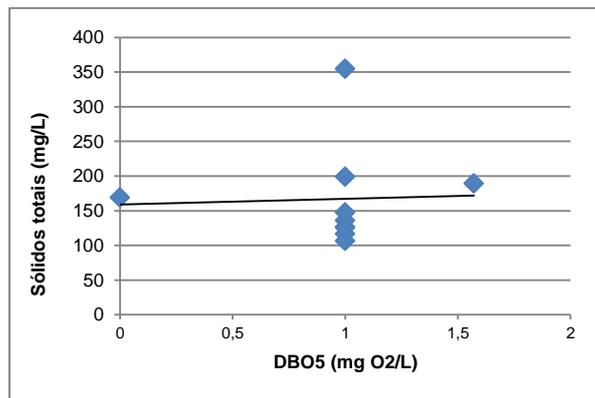
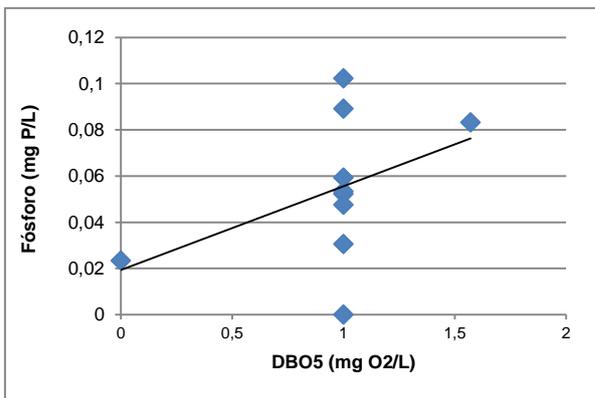
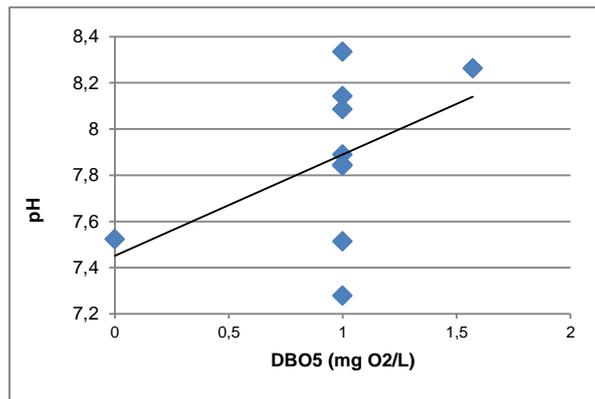
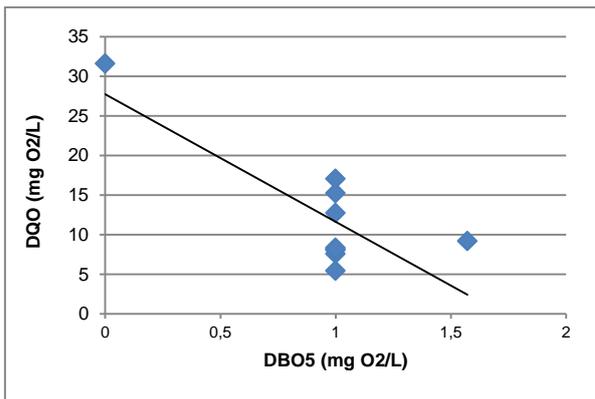
TRIOLA, M. F. **Introdução à Estatística**. Editora LTC. 9ª edição, 2005. 656 p.

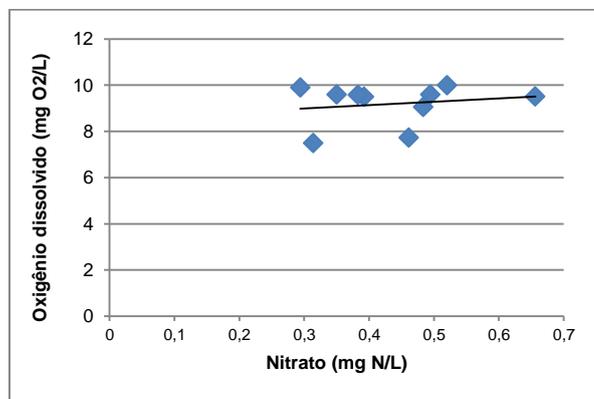
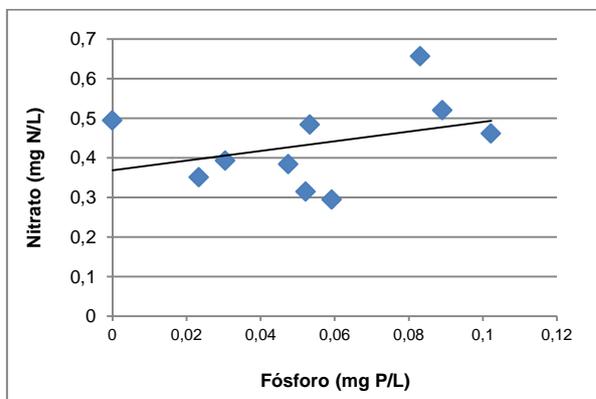
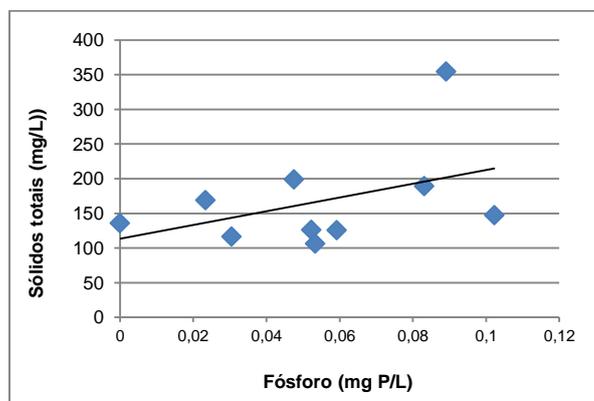
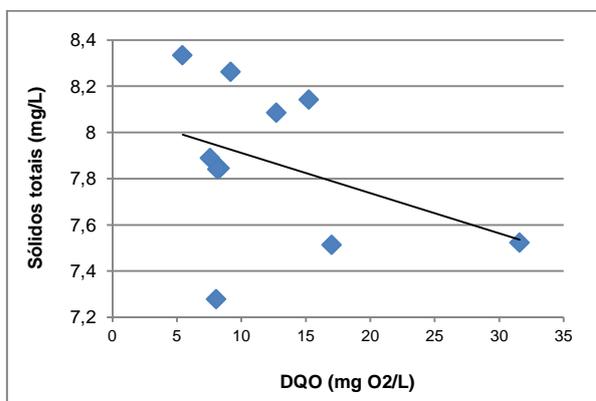
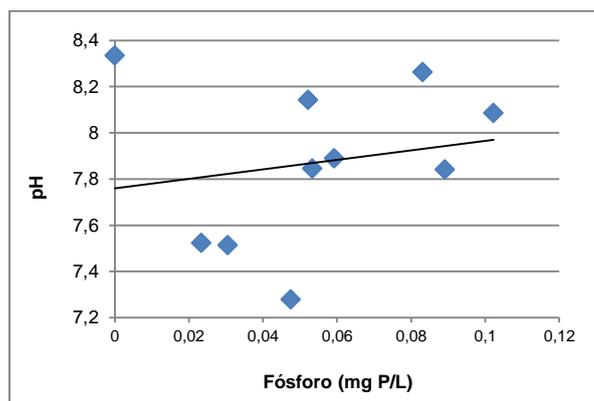
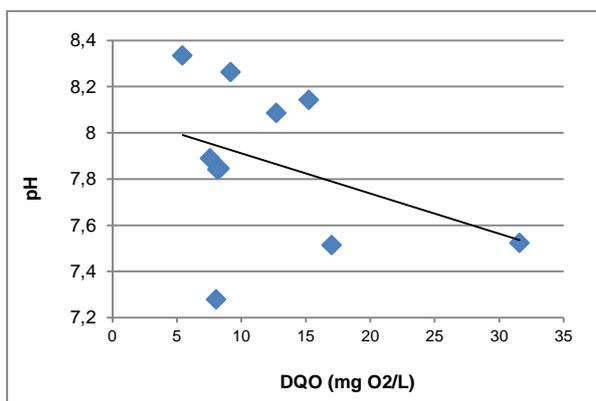
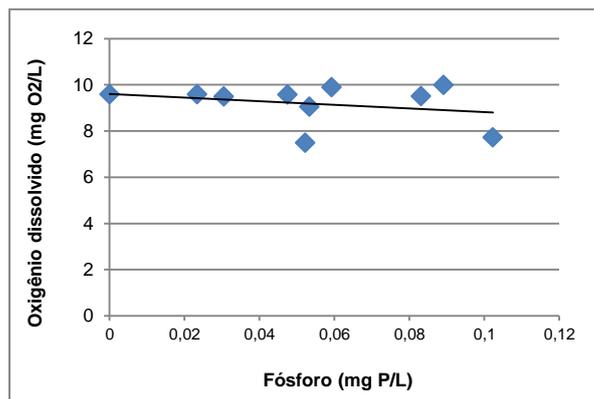
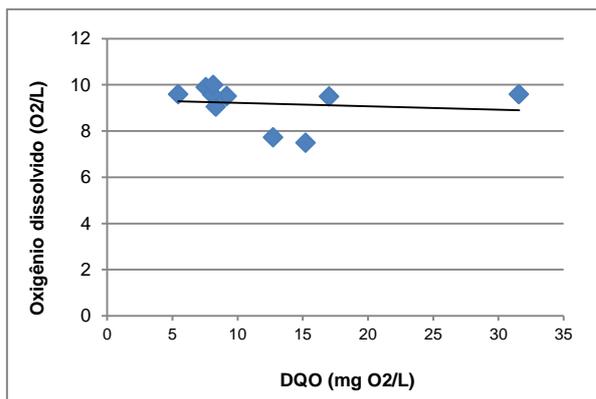
APÊNDICE A- Gráficos de correlação de Pearson entre os parâmetros físico-químicos avaliados

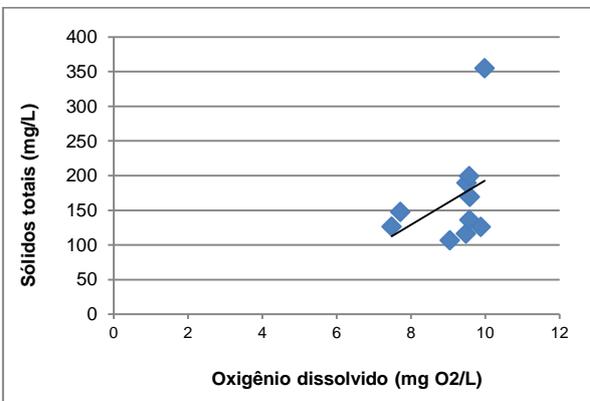
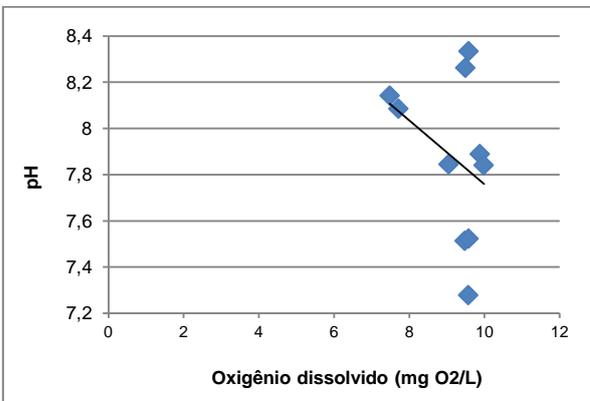
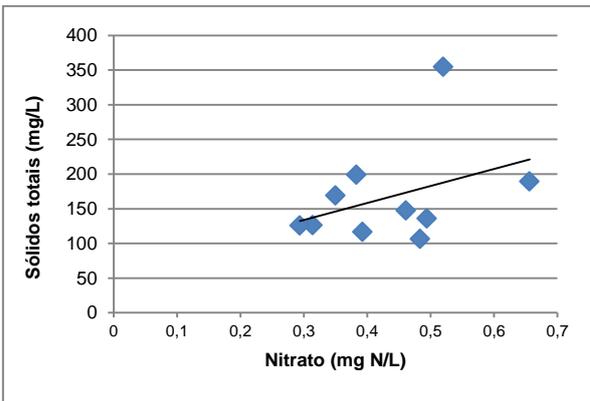
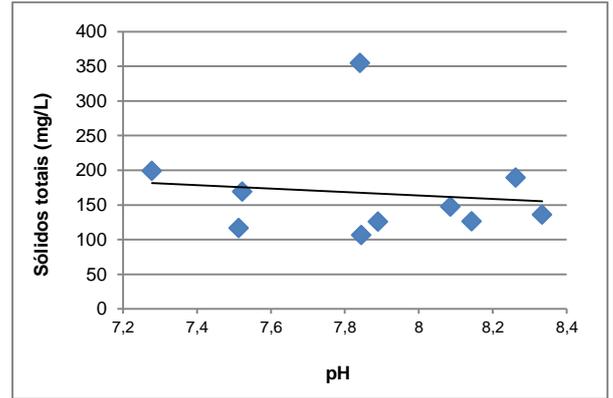
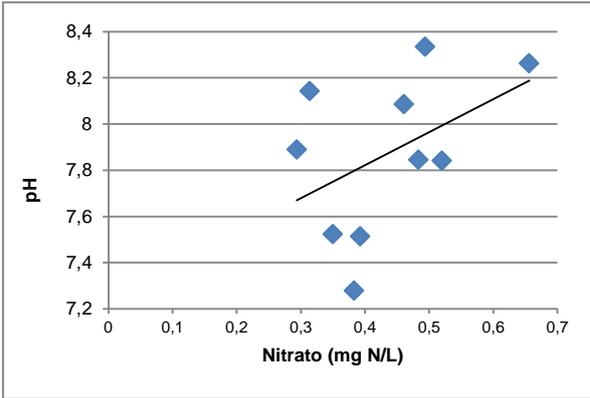












APÊNDICE B- Gráficos de correlação de Pearson dos parâmetros físico-químicos avaliados com a precipitação pluviométrica

