

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL**  
**INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS**

**A IMPORTÂNCIA DA GEOLOGIA PARA A  
COMPREENSÃO SISTÊMICA DO IMPACTO AMBIENTAL  
DECORRENTE DA MINERAÇÃO DE CARVÃO: ESTUDO DE  
CASO NO EIA/RIMA DO PROJETO MINA GUAÍBA (RS),  
BRASIL**

**JULIANA MARTELLET JOB**

**ORIENTADOR: Prof. Dr. Norberto Dani**

Porto Alegre, 2022

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL**  
**INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS**

**A IMPORTÂNCIA DA GEOLOGIA PARA A  
COMPREENSÃO SISTÊMICA DO IMPACTO AMBIENTAL  
DECORRENTE DA MINERAÇÃO DE CARVÃO: ESTUDO DE  
CASO NO EIA/RIMA DO PROJETO MINA GUAÍBA (RS),  
BRASIL**

**JULIANA MARTELLET JOB**

ORIENTADOR: Prof. Dr. Norberto Dani

BANCA EXAMINADORA:

Prof<sup>a</sup> Margot Guerra-Sommer

Prof. Anderson Maraschin

Prof. André Jasper

Dissertação de Mestrado apresentada  
como requisito parcial para a obtenção do  
Título de Mestre em Ciências.

Porto Alegre, 2022

#### CIP - Catalogação na Publicação

Job, Juliana Martellet  
A importância da geologia para a compreensão  
sistêmica do impacto ambiental decorrente da  
mineração de carvão: estudo de caso no EIA/RMA do  
Projeto Mina Guaíba - RS, Brasil / Juliana Martellet  
Job. -- 2022.  
100 f.  
Orientador: Norberto Dani.

Dissertação (Mestrado) -- Universidade Federal do  
Rio Grande do Sul, Instituto de Geociências, Programa  
de Pós-Graduação em Geociências, Porto Alegre, BR-RS,  
2022.

1. carvão. 2. EIA/RIMA. 3. impacto ambiental. 4.  
Projeto Mina Guaíba. I. Dani, Norberto, orient. II.  
Título.

Elaborada pelo Sistema de Geração Automática de Ficha Catalográfica da UFRGS com os  
dados fornecidos pelo(a) autor(a).

*“Sim senhor, as coisas agora haviam de mudar, justamente porque o operário já pensava! No tempo do velho, o mineiro vivia na mina como um bruto, como uma máquina de extrair hulha, sempre abaixo do chão, com os ouvidos e os olhos tapados ao que se passava cá fora [...] Agora, porém, o mineiro acordava lá no fundo, brotava na terra como um verdadeiro grão; e um dia o veriam rebentar mesmo no meio dos campos, haviam de rebentar homens, um batalhão de homens que restabeleceriam a justiça. Acaso não eram iguais todos os cidadãos, desde a Revolução? Uma vez que todos tinham voto, porque era que o operário havia de ser escravo do patrão que lhe pagava? (...) Por isso e por outras coisas mais, que tudo havia de vir a dar um estouro, graças à instrução.”*

**Émile Zola, 1956**

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), ao Instituto de Geociências (IGeo) e ao o Programa de Pós Graduação em Geociências (PPGGeo) pela oportunidade de fazer parte desta comunidade de poder enriquecer as discussões atuais e relevantes da nossa sociedade e pela disponibilidade do uso de laboratórios. Agradeço ao Instituto Clima e Sociedade (ICS) pelo apoio financeiro ao projeto - também pelo apoio aos muitos projetos direcionados à justiça ambiental e social, e à transição energética justa no País - e sobretudo ao diretor Roberto Kishinami pela confiança depositada na equipe do projeto.

Agradeço do fundo do meu coração à minha família pelo apoio emocional, pela tolerância e paciência, principalmente no final desta jornada. Agradeço aos muitos amigos que me acompanharam, aos que propuseram ideias, compartilharam referências, editaram as fotos e também aos que só estiveram ali pra me ouvir em algum momento difícil.

Agradeço ao Coletivo Ambiente Crítico, amigos que tiveram muita relevância na minha formação profissional e ambientalista. E que me ajudaram a enxergar possibilidades de atuação profissional para contribuir para a sociedade mais justa que acreditamos ser possível.

Agradeço a toda equipe do Instituto Internacional Arayara que compartilhou comigo parte dessa experiência e que me mostrou a potência que o nosso trabalho pode ter e me presenteou com a possibilidade de conquistas nas lutas socioambientais. Agradeço em especial aos diretores Juliano Bueno de Araujo e Nicole Figueiredo de Oliveira que depositaram confiança no meu trabalho e foram tolerantes na última fase de entrega.

Agradeço muito ao meu orientador, Norberto Dani, que esteve presente quando precisei e que compartilhou do seu conhecimento e ofereceu alternativas nas decisões estratégicas do projeto. E, por fim, faço um agradecimento especial ao Prof. Rualdo Menegat e à Prof<sup>a</sup>. Maria Lidia Vignol Lelarge por toda a dedicação que tiveram para minha formação e para o sucesso da pesquisa, sem a qual não existiria essa dissertação. Em especial, também agradeço pelos momentos de descontração: o almoço, o cafezinho, o chá e o chocolate no meio da tarde que tornaram essa relação mais afetuosa, como acreditamos que deve ser.

## RESUMO

O uso do carvão mineral como combustível tem sido tema de discussão em eventos internacionais que promovem acordos de redução de emissões de Gases do Efeito Estufa (GEE), tais como a COP 26 que ocorreu em Glasgow em 2021. Assim, a necessidade de uma transição energética justa provocou governos e empresas para elaboração de planos de descarbonização, sobretudo referentes à eliminação gradual do carvão mineral. No Brasil, a representatividade do carvão na matriz energética é muito baixa (<5%) e as termelétricas a carvão localizadas na região sul do país são as menos eficientes e as maiores emissoras de CO<sub>2e</sub>/kWh. A qualidade do carvão que ocorre nas jazidas da Formação Rio Bonito - Bacia do Paraná - é muito baixa, com altos teores de cinza e enxofre e baixo poder calorífico. Por esse motivo, a dificuldade no beneficiamento e a geração de grande quantidade de resíduos confere ao carvão brasileiro e a sua indústria de geração de energia, baixa eficiência e alto impacto ambiental. Apesar disso, vê-se um aumento no número de proposições de empreendimentos termelétricos a carvão mineral e de mineração de carvão no sul do Brasil. Dentre eles, destaca-se o Projeto Mina Guaíba, na Região Metropolitana de Porto Alegre - RS, pela escala da megamineração proposta em um ambiente de alta sensibilidade socioambiental. Frente a esse paradoxo, a pesquisa se divide em duas etapas: na primeira apresenta uma contribuição na avaliação do EIA/RIMA em conjunto de uma análise histórica da legislação pertinente. A partir da identificação de lacunas nos estudos geológicos do Diagnóstico Ambiental do Meio Físico, na segunda etapa, apresenta um dimensionamento do impacto da exploração. Na segunda etapa, técnicas de análises de fácies, Difração de Raio-X (DRX), Microscopia óptica em luz refletida, Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) e análises químicas em ICP-MS e ICP-AES foram utilizadas para caracterização mineralógica e geoquímica e do ambiente deposicional do carvão. As análises foram realizadas em cinco amostras coletadas em testemunho de sondagem disponível pela CPRM. Os resultados indicam a deposição de carvão em um ambiente lacustre com significativa contribuição continental de um fandelta e com pouca influência marinha. A maioria dos elementos químicos analisados apresenta alto conteúdo nas amostras, em comparação com a média mundial. Estes elementos tornam-se mais facilmente disponíveis ao meio ambiente quando associados a matéria orgânica e minerais argilosos do que os sulfuretos. Devido à ocorrência pouco expressiva de sulfetos e o destaque da caulinita em relação a outros argilominerais, sugere-se a associação dos elementos com a matéria orgânica e secundariamente com as argilas. Os elementos As, Zn e F são os mais críticos devido ao seu enriquecimento (>10 vezes a média mundial para As e Zn) e ao impacto potencial na saúde humana.

## ABSTRACT

The use of coal as fuel has been a topic of discussion at international events that promote agreements to reduce Greenhouse Gas (GHG) emissions, such as the COP 26 that took place in Glasgow in 2021. Thus, the need for a just energy transition has provoked governments and companies to elaborate decarbonization plans, especially regarding the gradual elimination of coal. In Brazil, the representativity of coal in the energy matrix is very low (<5%) and coal-fired power plants located in the southern region of the country are the least efficient and the largest emitters of CO<sub>2e</sub>/kWh. The quality of the coal found in the Rio Bonito Formation - Paraná Basin - is very low, with high levels of ash and sulfur and low calorific value. For this reason, the difficulty in processing and the generation of large quantities of residues give Brazilian coal and its energy generation industry low efficiency and a high environmental impact. Despite this, there is an increase in the number of coal-fired thermoelectric and coal mining projects being proposed in southern Brazil. Among them, the Guaíba Mine Project, in the metropolitan region of Porto Alegre - RS, stands out because of the scale of the proposed mega-mining in an environment of high socio-environmental sensitivity. Faced with this paradox, the research is divided into two stages: the first presents a contribution in the evaluation of the EIA/RIMA together with a historical analysis of the pertinent legislation. From the identification of gaps in the geological studies of the Environmental Diagnosis of the Physical Environment, the second stage presents a dimensioning of the impact of exploration. In the second stage, facies analysis techniques, X-Ray Diffraction (XRD), Optical Microscopy in reflected light, Scanning Electron Microscopy (SEM) and chemical analyses in ICP-MS and ICP-AES were used for mineralogical and geochemical characterization and the depositional environment of the coal. The analyses were performed on five samples collected from drill cores available from CPRM. The results indicate coal deposition in a lacustrine environment with significant continental contribution from a fandelta and little marine influence. Most of the chemical elements analyzed show high content in the samples, compared to the world average. These elements become more easily available to the environment when associated with organic matter and clay minerals than sulfides. Due to the low occurrence of sulfides and the prominence of kaolinite in relation to other argillominerals, the association of the elements with organic matter and secondarily with clays is suggested. The elements As, Zn, and F are the most critical due to their enrichment (>10 times the world average for As and Zn) and the potential impact on human health.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Fluxograma apresenta a sequência de análises utilizadas na etapa 2 da metodologia.....	37
Figura 2: Localização dos testemunhos de sondagem disponíveis pela CPRM, na área/ projeto de estudo.....	38
Figura 3: A) fragmento serrado da amostra de carvão sendo resinada em um molde; B) Politriz para ajudar a lixar as pastilhas até atingir a face do carvão; C) Polimento mais delicado fora da politriz para evitar rachaduras nas amostras.....	39
Figura 4: Foto das amostras de carvão moídas e separadas para as análises.....	40
Figura 5. Foto das amostras sendo moídas em gral de cerâmica.....	40
Figura 6: Mapa da Bacia do Paraná e suas Supersequências .....	43
Figura 7: Distribuição das principais jazidas de carvão do Permiano na Bacia Sul do Paraná, Rio Grande do Sul .....	44
Figura 8: Localização da área do Projeto Mina Guaíba. Mapa construído a partir de dados disponíveis no processo de licenciamento ambiental, base cartográfica e imagem de satélite disponível no Google Earth. ....	46
Figura 9: Fácies, associação de fácies da Formação Rio Bonito identificadas no perfil colunar do testemunho GB 04 RS .....	51
Figura 10: Fotos das amostras em microscópio óptico de luz refletida; A) fusinita, semifusinita e vitrinita na amostra C2 com aumento de 500x; B) fusinita, semifusinita e vitrinita na amostra C3 com aumento de 500x; C) fusinita, semifusinita e vitrinita na amostra C4 com aumento de 1000x; D) fusinita, semifusinita e vitrinita na amostra C3 com aumento de 500x. ....	52
Figura 11: Difração de raios-X de rocha total das cinco amostras de carvão. Abreviaturas: Qz = Quartzo; Ka = caulinita; Gt = Goethita; M = Ilita (Mica); IS = Ilita-Esmectita; Ja = jarosita; Fk = K-feldspato e plagioclásio. ....	53
Figura 12: Imagens obtidas no MEV A) relação entre minerais e macerais na amostra C4; B) grande proporção de minerais na amostra C2; C) pirita (Py) framboidal e alteração para jarosita (Ja) na amostra C3; D) goethita (Gt) e outros minerais associados ao ferro como oxidação da pirita de preenchimento da fusinita na amostra C3; E) quartzo (Qz) detrítico anguloso, jarosita (Ja) framboidal e esfalerita na amostra C1; F) feldspatos com alterações para caulinita (F+Ka) na amostra C2. ....	54

Figura 13: Gráfico em escala logarítmica do Coeficiente de Concentração (CC), usando a concentração média mundial para carvões (Ketriss e Yudovich, 2009) como background. .... 57

### **LISTA DE QUADROS**

Quadro 1: Lista das legislações analisadas na pesquisa..... 34  
 Quadro 2: Análise dos estudos contidos no EIA Rima Volume I, II e IV ..... 46

### **LISTA DE TABELAS**

Tabela 1: Tabela de fácies testemunho de sondagem GB 04 RS ..... 49  
 Tabela 2: Resultado da análise química dos elementos principais (%) e elementos traços ( $\mu\text{g/g}$ ) em amostras de carvão. Comparação com outros depósitos próximos e com média para carvões dos EUA e do mundo. .... 55

### **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

MP<sub>x</sub> - Material Particulado (tamanho x  $\mu\text{m}$ )  
 EIA - Estudo de Impacto Ambiental  
 RIMA - Relatório de Impacto Ambiental  
 CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente  
 ANM - Agência Nacional de Mineração  
 NEPA - National Environmental Policy Act (Lei Nacional de Política Ambiental)  
 AIA - Avaliação de Impacto Ambiental  
 PND I e PND II - Planos Nacionais de Desenvolvimentos I e II  
 PNMA - Política Nacional do Meio Ambiente  
 SISNAMA - Sistema Nacional do Meio Ambiente  
 PNRH - Política Nacional de Recursos Hídricos  
 SNRH - Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos  
 SINUC - Sistema Nacional de Unidades de Conservação  
 PRONAR - Programa Nacional de Controle de Poluição do Ar  
 CONSEMA - Conselho Estadual do Meio Ambiente  
 DNPM - Departamento Nacional de Produção Mineral  
 SEUC - Sistema Estadual de Unidades de Conservação  
 FEPAM - Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luís Roessler - RS  
 MEV - Microscopia Eletrônica de Varredura

ETR - Elementos Terras Raras

CPRM - Serviço Geológico do Brasil

DRX - Difração de Raio-X

RT - Rocha Total

CPGq-IGEO-UFRGS - Laboratório de Geologia Isotópica

EDS - Espectroscopia por Energia Dispersiva

BSE - Elétrons Retroespalhados

## SUMÁRIO

1. TEXTO INTEGRADOR.....	8
1.1. Introdução.....	8
1.2. Objetivos.....	10
1.3. Estado da arte.....	11
1.3.1. Enquadramento da mineração na Legislação.....	11
1.3.2. Sobre o carvão mineral.....	25
1.4. Materiais e métodos.....	34
1.4.1. Etapa 1: Levantamento bibliográfico.....	34
1.4.2. Etapa 2: Aplicação de técnicas analíticas no carvão mineral da Jazida Guaíba.....	37
1.5. Contexto geológico.....	43
1.6. Resultados.....	47
1.7. Conclusões.....	58
Referências.....	60
2. ARTIGO.....	63
REFERÊNCIAS	

## ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO/TESE

Esta dissertação de mestrado está estruturada em um (1) artigo submetido em periódico classificado nos estratos Qualis-CAPES (A3). A sua organização compreende as seguintes partes principais:

### TEXTO INTEGRADOR:

Texto Integrador composto pelos seguintes capítulos: a) introdução com a formulação do problema de investigação e a hipótese; b) objetivos da pesquisa; c) o estado da arte do tema da pesquisa; d) os materiais e métodos utilizados; e) o contexto geológico da área (se houver) ou do objeto de estudo; f) resumo dos principais resultados obtidos, interpretações desenvolvidas nos artigos e discussão integradora dos resultados; g) conclusões; h) referências bibliográficas.

### ARTIGOS:

Corpo Principal da Dissertação, constituído do artigo conforme os itens 1.1; 1.2 e/ou 1.3 da norma 118.

## 1. TEXTO INTEGRADOR

### 1.1. Introdução

O uso do carvão mineral como combustível para geração de energia termelétrica ainda é indispensável a nível mundial. Conforme estudo recente da Agência Internacional de Energia (IEA, 2021), o carvão é a maior fonte mundial de geração de eletricidade e a maior fonte de emissões de CO<sub>2</sub>, criando um desafio na transição para sistemas de energia de baixo carbono. Em meados de 2021, apenas 21 países que usam carvão ininterrupto para geração de eletricidade se comprometeram a eliminá-lo gradualmente. Entre eles, poucos países já o fizeram, como Áustria (2020), Bélgica (2016) e Suécia (2020), Portugal (2021). Coletivamente, esses compromissos cobrem apenas 4,1% da geração global de carvão e 1,3% das emissões globais de CO<sub>2</sub> relacionadas à energia. Segundo IEA (2021), nos países onde o carvão contribui menos de 10% para o fornecimento de energia e nos quais não há indústria nacional de carvão, a eliminação gradual do carvão deve ser viável sem prejudicar a economia, os preços da eletricidade ou a segurança do fornecimento de eletricidade. Nos países, onde o carvão representa mais de 20% do fornecimento de eletricidade e que têm uma indústria de mineração doméstica que fornece carvão para geração de energia, a eliminação gradual do carvão deverá ser mais longa e complexa.

No Brasil, a mineração de carvão teve início no século XIX, nos estados de Santa Catarina e Rio Grande do Sul. Atualmente, a atividade representa pouca relevância na matriz energética nacional, contribuindo apenas com 4,9% (EPE, 2021). Por outro lado, nos locais da região sul do país, que historicamente exploram esse recurso, ainda repercutem as consequências ambientais devido às atividades do setor carbonífero. São exemplos de impactos: explosões, deslizamentos, sismicidade induzida, drenagem ácida, contaminação por metais pesados no solo e lençol freático, emissão atmosférica de gases nocivos para saúde humana, como CO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub> e material particulado fino (MP<sub>10</sub> e MP<sub>2,5</sub>). A exploração e a queima do carvão mineral em usinas termelétricas no sul do Brasil, além de ainda ativa, encontra-se em um cenário de expansão, com a proposição de novos projetos de exploração.

Ao analisar-se estudos de impacto ambiental apresentados pelos novos projetos de mineração, observam-se inúmeras lacunas mesmo em temas técnicos

comuns na caracterização do carvão. Os estudos geoquímicos, por exemplo, ficam restritos à caracterização econômica do recurso mineral, o que causa uma lacuna na leitura e dimensionamento do impacto potencial que pode ser causado pela exploração de uma jazida de carvão. Nesse sentido, faltam diretrizes por parte dos órgãos de licenciamento ambiental que orientem de forma mais precisa os parâmetros que importam para dimensionar os impactos potenciais, utilizando o conhecimento geológico e geoquímico. Para avançar nesse objetivo, o Projeto Mina Guaíba, na Região Metropolitana de Porto Alegre, sul do Brasil, foi selecionado para a presente análise, por situar-se em uma região ambiental e socialmente sensível. A instalação dessa mina a céu aberto em ambiente vulnerável, a menos de 2 km de distância do principal recurso hídrico utilizado para o abastecimento de 4,5 milhões de pessoas são fatores que exigem um projeto muito bem dimensionado do ponto de vista de seus impactos.

Embora as jazidas de carvão do sul do Brasil sejam todas pertencentes à Formação Rio Bonito da Bacia do Paraná, possuem muita heterogeneidade geoquímica e composicional. Isso se deve a diferenças tanto ambientais como temporais de sua formação, que ocorreu em intervalos de tempos tão espaçados quanto 10 Ma. Esses aspectos que mostram as diferenças regionais do carvão foram considerados adequados para mostrar como o impacto potencial também pode ser diverso e, portanto, as análises geoquímicas devem ser mais precisas em cada jazida. Além da sensibilidade ambiental do sítio de instalação do projeto de mineração da Jazida Guaíba, observou-se a ausência de estudos geoquímicos relacionados a ela na literatura. Essa caracterização também está praticamente ausente no Estudo de Impacto Ambiental do Projeto de mineração dessa jazida apresentado ao órgão ambiental do Estado do Rio Grande do Sul.

Desta forma é necessário observar quais são os estudos e dados que faltam num EIA/RIMA, para avaliar possíveis impactos ausentes ou minimizados no licenciamento ambiental. A adequada compreensão do meio físico e das dinâmicas existentes nos sistemas que ocorrem na área de interesse demandam uma série de investigações geológicas básicas, que são essenciais para a avaliação dos comportamentos físicos e químicos dos elementos presentes. Apenas através de um diagnóstico ambiental, com estudos geológicos realizados com maior precisão possível, pode-se inserir, então, as prováveis alterações nos elementos e dinâmicas resultantes da atividade de mineração de carvão.

A partir dessas premissas questiona-se os EIA/RIMA, elaborados com a participação e possibilidade de intervenção do empreendedor, conforme definido na Resolução 237/97 do CONAMA. Estes estudos atendem aos princípios e protocolos mínimos exigidos legalmente? Os estudos presentes no Diagnóstico Ambiental do Meio Físico evidenciam com qualidade as dinâmicas presentes através de estudos geológicos adequados? Os estudos que avaliam o impacto ambiental no meio físico são coerentes com os potenciais impactos relacionados à atividade e ao ambiente na qual ela pretende intervir?

O Estudo de Impacto Ambiental (EIA) do Projeto Mina Guaíba foi escolhido como estudo de caso deste trabalho tendo em vista o alto potencial de contaminação conferido à mineração de carvão, a grande escala do empreendimento e a vulnerabilidade da área definida para implementação do projeto. Tem-se por hipótese que o EIA atende às necessidades do contratante (minerador), não cumpre as exigências mínimas estipuladas pela lei e que os estudos geológicos apresentados em todo o EIA são insuficientes para elaboração de um Diagnóstico Ambiental acurado e para correta Avaliação de Impacto Ambiental referentes ao meio físico.

## **1.2. Objetivos**

O objetivo geral deste estudo foi a avaliação da adequabilidade dos estudos apresentados para licenciamento ambiental do Projeto Mina Guaíba e a contribuição no dimensionamento dos impactos decorrentes da atividade de mineração de carvão da Jazida Guaíba. Para isso, os objetivos específicos da pesquisa foram: a) levantamento da legislação pertinente ao estudo do meio físico; b) o levantamento de lacunas e erros metodológicos contidos no diagnóstico ambiental do meio físico do EIA/RIMA do projeto de mineração estudado, com atenção especial aos estudos geológicos; c) caracterização geológica, geoquímica e do ambiente deposicional da Jazida Guaíba.

### **1.3. Estado da arte**

#### **1.3.1. Enquadramento da mineração na Legislação**

Para a abertura de um empreendimento de mineração no Brasil é necessário que o proponente adquira uma série de licenças junto ao órgão ambiental (Federal, Estadual ou Municipal) e à Agência Nacional de Mineração – ANM. Essas licenças são emitidas através da demonstração de viabilidade econômica, técnica e ambiental da jazida e do empreendimento. Os instrumentos legais que regulamentam as atividades de exploração dos recursos naturais estão em constante alteração. Ao longo da história, esses instrumentos passaram por uma série de modificações, de acordo com os objetivos políticos e econômicos de cada período e com o avanço das discussões relacionadas à necessidade de preservação ambiental e o desenvolvimento sustentável com forte influência de modelos internacionais.

Neste capítulo, serão descritas algumas dessas legislações, que regulamentam o licenciamento ambiental, definem objetivos e padrões a serem alcançados e também direcionam o desenvolvimento do país e do estado com normas e critérios a serem utilizados. Como o conjunto legal é muito extenso, foram selecionadas algumas leis e resoluções pertinentes ao licenciamento ambiental, aos estudos do meio físico e à atividade de mineração especificamente.

#### **Sobre o Licenciamento Ambiental**

A Avaliação de Impacto Ambiental, e o próprio Estudo de Impacto Ambiental, têm origem na legislação estadunidense. O National Environmental Policy Act (NEPA), lei de política ambiental pioneira, aprovado em 1969, exigiu a preparação detalhada de declarações sobre impacto ambiental em projetos potencialmente poluidores – equivalente ao atual EIA no Brasil. Segundo Sánchez (2020), a lei foi inicialmente pouco questionada e pegou os empresários e tecnocracia estadunidenses de surpresa, gerando, na década de 1970, contestações e ações judiciais em 10% dos casos.

Entre os anos 1970 e 1980, em países da América e Ásia, o campo de aplicação da Avaliação de Impacto Ambiental (AIA) foi expandido, conforme a

realidade dos novos países onde a legislação foi adotada. Na África, a AIA foi legislada a partir da década de 1990. Na Europa, a adoção de uma nova legislação ambiental teve significativa resistência em um primeiro momento, devido à preexistência de leis de planejamento territorial – que de alguma forma já aplicavam modalidades de AIA. No caso da Alemanha, a AIA foi adotada, legalmente, somente no ano de 1990, apesar de – ou, justamente, por esse motivo – contar com um forte movimento popular pró-ambiente. A França foi o primeiro país europeu a adotar a AIA, em 1976, embora, diferente de outros países que criaram uma legislação específica para esse novo cenário, a França, cujo Ministério do Meio Ambiente havia sido criado em 1971, fez uma adaptação de um sistema de licenciamento já existente desde 1917. O modelo adotado pelo estado francês tornou-se diferente do estadunidense na exigência da elaboração do estudo prévio de impacto ambiental, por parte dos interessados – os empreendimentos potencialmente poluidores. O modelo estadunidense, por sua vez, tinha o estado como encarregado de elaborar os estudos de impacto e tomar as decisões necessárias (Sánchez, 2020).

Segundo Freiria (2015), as leis e as políticas públicas relacionadas com meio ambiente no Brasil podem ser classificadas em quatro períodos principais de acordo com os objetivos de cada momento da história. As primeiras leis tiveram como plano de fundo o processo de ocupação do território brasileiro e a sua exploração. Em meados da década de 1930, com a formulação do Código das Águas e do Código Florestal (Decreto nº 24.643, de 10 de julho de 1934 e Decreto nº 23.793 de 23 de janeiro de 1934, respectivamente), o objetivo da legislação passou a ser de regulamentação dos recursos naturais como matéria-prima do processo produtivo, ainda com um viés utilitarista e muito distante dos princípios de preservação ambiental da atual legislação.

Na década de 1970, através do Decreto Federal 1.179 de 06 de julho de 1971 e da Lei 6.151 de 04 de dezembro de 1974, dentro dos Planos Nacionais de Desenvolvimentos (PND I e PND II), foram criados procedimentos para tentativa de controle da poluição industrial, ainda de forma isolada e setorial, dissociada de uma política pública sistêmica e integrada, mas que apesar de ainda carregar um caráter utilitarista dos recursos naturais, manifestou preocupações com as externalidades dos processos produtivos, no caso a poluição. Das ações de controle da poluição

industrial, propostas na PND II, destacou-se as da bacia hidrográfica do Rio Jacuí, que desde a década de 1970 apresenta preocupações relacionadas à necessidade de prevenção da poluição, conforme o Plano Nacional de Desenvolvimento II (Lei 6.151 de 04 de dezembro de 1974, p.93, grifo nosso):

Ação concentrada em áreas críticas, como são, entre outras, as manchas de poluição identificadas quanto ao Grande São Paulo e ao Grande Rio; Regiões Metropolitanas de Belo Horizonte, Recife, Salvador e Porto Alegre; Região de Cubatão; Região de Volta Redonda; bacia hidrográfica do médio e baixo Tietê; bacia hidrográfica do Paraíba do Sul; bacia hidrográfica do rio Jacuí e estuário do Guaíba; bacias hidrográficas de Pernambuco.

Nessas áreas, será adotado zoneamento adequado, e dada atenção principalmente aos problemas de localização industrial e de estabelecimento de normas antipoluição, dentro da idéia [sic] de que a política mais eficaz é a de caráter preventivo.

Em 1981, entrou em vigor a Política Nacional do Meio Ambiente (PNMA), através da Lei Federal nº 6.938/1981, que instituiu o licenciamento ambiental como ferramenta de controle das atividades potencialmente poluidoras sob os princípios da precaução, da prevenção e do poluidor - pagador, criou o Sistema Nacional do Meio Ambiente (SISNAMA). Em 1988, a Constituição Federal, que dedicou todo Capítulo VI às questões ambientais, deu ao Estudo de Impacto Ambiental um caráter impositivo constitucionalmente nos parágrafos 1º, 2º e 3º do Art. 225 (Constituição da República Federativa do Brasil de 1988):

**Art. 225.** Todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, impondo-se ao Poder Público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações.

§ 1º Para assegurar a efetividade desse direito, incumbe ao Poder Público:

**IV** - exigir, na forma da lei, para instalação de obra ou atividade potencialmente causadora de significativa degradação do meio ambiente, estudo prévio de impacto ambiental, a que se dará publicidade;

§ 2º Aquele que explorar recursos minerais fica obrigado a recuperar o meio ambiente degradado, de acordo com solução técnica exigida pelo órgão público competente, na forma da lei.

§ 3º As condutas e atividades consideradas lesivas ao meio ambiente sujeitarão os infratores, pessoas físicas ou jurídicas, a sanções penais e administrativas, independentemente da obrigação de reparar os danos causados.

Na mesma direção, a Resolução do CONAMA nº001/86 definiu orientações mínimas e deixou à responsabilidade dos órgãos licenciadores a deliberação de acrescentar estudos e definir suas diretrizes conforme as particularidades de cada

atividade e ambiente. O Artigo 6º da Resolução CONAMA nº001/86 e Art. 17, §1º do Decreto nº 99.274/90 apresentam essas orientações:

O estudo de impacto ambiental desenvolverá, no mínimo, as seguintes atividades técnicas:

**I** - Diagnóstico ambiental da área de influência do projeto, completa descrição e análise dos recursos ambientais e suas interações, tal como existem, de modo a caracterizar a situação ambiental da área, antes da implantação do projeto, considerando:

**a)** o meio físico - o subsolo, as águas, o ar e o clima, destacando os recursos minerais, a topografia, os tipos e aptidões do solo, os corpos d'água, o regime hidrológico, as correntes marinhas, as correntes atmosféricas;

**b)** o meio biológico e os ecossistemas naturais - a fauna e a flora, destacando as espécies indicadoras da qualidade ambiental, de valor científico e econômico, raras e ameaçadas de extinção e as áreas de preservação permanente;

**c)** o meio sócio-econômico - o uso e ocupação do solo, os usos da água e a sócio-economia, destacando os sítios e monumentos arqueológicos, históricos e culturais da comunidade, as relações de dependência entre a sociedade local, os recursos ambientais e a potencial utilização futura desses recursos.

**II** - Análise dos impactos ambientais do projeto e de suas alternativas, através de identificação, previsão da magnitude e interpretação da importância dos prováveis impactos no relevo do programa de acompanhamento e monitoramento (os impactos positivos e negativos, indicando os fatores e parâmetros a serem considerados).

**III** - Definição das medidas mitigadoras dos impactos negativos, entre elas os equipamentos de controle e sistemas de tratamento de despejos, avaliando a eficiência de cada uma delas.

**IV** - Elaboração do programa de acompanhamento e monitoramento (os impactos positivos e negativos, indicando os fatores e parâmetros a serem considerados).

A Resolução nº 237/97 do CONAMA, que estabeleceu uma revisão dos procedimentos e critérios para do licenciamento ambiental, acrescentou que os projetos, documento, e estudos ambientais necessários para o licenciamento do empreendimento devem ser definidos de forma conjunta, entre órgão licenciador e empreendedor conforme o Artigo 10º (CONAMA nº237/97):

**Art. 10** - O procedimento de licenciamento ambiental obedecerá às seguintes etapas:

**I** - Definição pelo órgão ambiental competente, **com a participação do empreendedor**, dos documentos, projetos e estudos ambientais, necessários ao início do processo de licenciamento correspondente à licença a ser requerida.

Além disso a Resolução nº 237/97 revogou o Art. 7º da Resolução nº 001/86, aproximando o licenciamento brasileiro do modelo francês, conforme mencionado anteriormente (CONAMA nº001/86, grifo nosso):

**Artigo 7º** - O estudo de impacto ambiental será realizado por equipe multidisciplinar habilitada, **não dependente direta ou indiretamente do proponente do projeto e que será responsável tecnicamente pelos resultados apresentados.**

**Artigo 8º** - Correrão por conta do proponente do projeto todas as despesas e custos referentes à realização do estudo de impacto ambiental, tais como: coleta e aquisição dos dados e informações, trabalhos e inspeções de campo, análises de laboratório, estudos técnicos e científicos e acompanhamento e monitoramento dos impactos, elaboração do RIMA e fornecimento de pelo menos 5 (cinco) cópias.

Também representam alterações significativas os artigos 8º e 11º (CONAMA nº237/97, grifo nosso):

**Art. 11** - Os estudos necessários ao processo de licenciamento deverão ser realizados por profissionais legalmente habilitados, **às expensas do empreendedor.**

**Parágrafo único** - O empreendedor e os profissionais que subscrevem os estudos previstos no caput deste artigo serão responsáveis pelas informações apresentadas, sujeitando-se às sanções administrativas, civis e penais.

As alterações da Resolução nº 237/97 do CONAMA garantiram a participação do empreendedor na definição dos estudos a serem elaborados, e sua responsabilidade como contratante do EIA/RIMA reduziu o estudo às suas necessidades e permitiu a possibilidade de omissão e/ ou minimização de dados e estudos relevantes para a prevenção de impactos ambientais.

### **Políticas Ambientais e Diretrizes Específicas**

Além da regulamentação do licenciamento ambiental, um conjunto de políticas nacionais instituídas através de leis e decretos, assim como um conjunto de resoluções do Conselho Nacional do Meio Ambiental (CONAMA) direcionam e orientam através de critérios e parâmetros mais específicos procedimentos relacionados ao empreendimento, tendo como objetivo o princípio do desenvolvimento sustentável presente na PNMA. No caso dos estudos do meio físico, objeto de interesse deste trabalho, são pertinentes as leis e resoluções que abrangem o gerenciamento: dos recursos hídricos, do solo, da dispersão atmosférica, da emissão de ruídos e vibrações, do lançamento de efluentes, dos resíduos sólidos e das Unidades de Conservação.

### *Recursos Hídricos e lançamento de efluentes*

Em 1997, a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) criou, através da Lei nº 9.433 de 08 de janeiro de 1997, o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SNRH). Abaixo da Constituição Federal, esse é o recurso legal de maior importância relativa à proteção dos cursos d'água, sendo um marco histórico na legislação ambiental brasileira. Associado a PNRH, as resoluções do CONAMA 357/2005 e 430/2011 classificam os corpos hídricos e definem parâmetros de controle de qualidade da água e orientam o lançamento de efluentes.

### *Unidades de Conservação*

A Lei nº 9.985 de 18 de junho de 2000 institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação (SINUC), e definiu os critérios e as normas para a criação, implementação e gestão de Unidades de Conservação, com a adoção de instrumentos importantes de gestão ambiental, como o Plano de Manejo das Ucs. A Resolução CONAMA nº 428/2010 dispõe, no âmbito do licenciamento ambiental, sobre a autorização do órgão responsável pela administração da Unidade de Conservação.

### *Resíduos Sólidos*

Em 02 de agosto de 2010, a Lei Federal nº 12.305 criou a Política Nacional de Resíduos Sólidos. A lei, apesar de cumprir um papel no planejamento do destino dos resíduos e orientar estados e municípios na criação de um plano de resíduos sólidos, tem como objeto os resíduos urbanos e derivados da construção civil. Essa lei não apresenta especificações sobre o destino e condições dos resíduos sólidos de mineração. O resíduo da mineração é um elemento de grande impacto ambiental devido ao fluxo, em volume, que é gerado – o maior no mundo – e a alta concentração de elementos e compostos que podem estar presentes no resíduo e causar graves danos nos ecossistemas e seres humanos (Hudson-Edwards, et al, 2011).

## *Solos*

As Resoluções do CONAMA nº 420/2009 dispõe sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas e estabelece diretrizes para o gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por essas substâncias em decorrência de atividades antrópicas. Tem por objetivo a manutenção da funcionalidade do solo e a proteção da qualidade das águas superficiais e subterrâneas. Embora seja mais aplicada a empreendimentos já em atividade ou em encerramento, como orientação para avaliação, monitoramento e medidas para o controle e recuperação dos solos contaminados, essa resolução também apresenta a necessidade da definição de Valores de Referência de Qualidade dos Solos, ou seja, os valores de background da área, para que o órgão ambiental possa se valer de parâmetros comparativos após o início da atividade antrópica. Cabe ressaltar, que esses valores são importantes, sobretudo em áreas de interesse de mineração, uma vez que a ocorrência de uma jazida pode ser entendida, também, como uma anomalia mineral e, portanto, geoquímica, localizada.

Outras resoluções do CONAMA são orientadoras para o estudo do meio físico, como a Resolução nº05/1989, que institui o Programa Nacional de Controle de Poluição do Ar (PRONAR), com o objetivo de limitar, a nível nacional, as emissões por tipologia de fontes e poluentes prioritários, reservando o uso dos padrões de qualidade do ar como ação complementar de controle; as resoluções 003/1990, 382/2006 436/2011, que dispõem as orientações para as emissões de poluentes atmosféricos. E também a Resolução do CONAMA 001/1990, que dispõe sobre critérios de padrões de emissão de ruídos decorrentes de quaisquer atividades industriais, comerciais, sociais ou recreativas, inclusive as de propaganda política.

## **Licenciamento Ambiental no Rio Grande do Sul**

Em nível estadual, a legislação que regulamenta o licenciamento ambiental e os Estudos de Impacto Ambiental está contida no Código Estadual do Meio Ambiente do Rio Grande do Sul, instituído pela Lei nº 15.434 de 09 de janeiro de 2020. Essa lei, que modificou o código anterior (Lei 11.520 de 2000), contempla, em

termos de EIA/RIMA de projetos de mineração, a legislação federal, conforme o artigo 71º: “O EIA deverá atender à legislação, em especial os princípios e objetivos deste Código, seu regulamento e os expressos na Lei da Política Nacional do Meio Ambiente” (Lei nº 15.434/2020).

Contudo, no Capítulo XI, o qual trata especificamente das atividades de mineração, algumas alterações do antigo código flexibilizaram os limites para esse empreendimento. A supressão no novo código do Art. 212 da anterior Lei 11.520/2000, por exemplo, representa a prioridade de interesses econômicos do estado, colocando a atividade mineira como prioritária às atividades turísticas e de preservação ambiental, histórica e cultural:

**Art. 212** - A atividade de mineração não poderá ser desenvolvida nos acidentes topográficos de valor ambiental, paisagístico, histórico, cultural, estético e turístico, assim definidos pelos órgãos competentes. (Art. 212 da anterior Lei 11.520/2000.)

Outra alteração foi a criação do Artigo 190º, que sugere ao estado a exigência de um seguro para os projetos que sejam identificados de grande risco de impactos ambientais. Contudo a exigência é apenas uma sugestão, podendo, ou não, ser colocada em prática. Além do mais, o parágrafo segundo (§2º) não deixa essa decisão sob a responsabilidade do órgão licenciador. Como podemos observar nos referidos parágrafos 1º e 2º do Artigo Art. 190º, da Lei nº 15.434/2020:

**§ 1º** O órgão ambiental poderá exigir do interessado a contratação de seguro de responsabilidade civil de riscos ambientais, ou outra forma de garantia, conforme regulamentação.

**§ 2º** O Conselho Estadual do Meio Ambiente definirá quais os empreendimentos ou atividades consideradas de significativo impacto ambiental poderão ser objeto de contratação de seguro de responsabilidade civil de riscos ambientais, ou outra forma de garantia, conforme regulamentação.

## **Políticas Ambientais e Diretrizes no Rio Grande do Sul**

As leis e resoluções que contém os parâmetros e orientações específicas para estudos relacionados ao meio físico são definidas pelo Conselho Estadual do Meio Ambiente (CONSEMA). Abaixo relacionamos os principais instrumentos pertinentes a este estudo.

A Resolução do CONSEMA 347/2017, que dispõe sobre a criação e definição das poligonais abrangidas pelas áreas de atividades de extração mineral nos processos de licenciamento ambiental. O objetivo é o de integrar a atuação dos órgãos do Sistema Nacional de Meio Ambiente (SISNAMA) na execução da Política Nacional do Meio Ambiente e na gestão de recursos minerais, por intermédio do Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM) no âmbito do Estado do Rio Grande do Sul.

Devido à importância indispensável da água para a garantia da vida dos seres humanos – seja de forma direta pelo consumo, ou indireta pela manutenção de outras formas de vida, garantia econômica e de qualidade ambiental – e também para o setor produtivo da agropecuária, indústria e mineração, ela tornou-se um bem econômico em constante disputa. A Lei 10.350/ 1994 criou o Sistema Estadual de Recursos Hídricos e definiu os objetivos da Política Estadual de Recursos Hídricos, os quais podemos verificar nos artigos 2º e 8º da Lei 10.350/ 1994:

**Art. 2º** – A Política Estadual de Recursos Hídricos tem por objetivo promover a harmonização entre os múltiplos e competitivos usos dos recursos hídricos e sua limitada e aleatória disponibilidade temporal e espacial, de modo a:

**I** – assegurar o prioritário abastecimento da população humana e permitir a continuidade e desenvolvimento das atividades econômicas;

**II** – combater os efeitos adversos das enchentes e estiagens e da erosão do solo;

**III** – impedir a degradação e promover a melhoria de qualidade e o aumento da capacidade de suprimento dos corpos de água superficiais e subterrâneos, a fim de que as atividades humanas se processem em um contexto de desenvolvimento sócio-econômico que assegure a disponibilidade dos recursos hídricos aos seus usuários atuais e às gerações futuras, em padrões quantitativa e qualitativamente adequados.

**Art. 8º** – Compete ao Conselho de Recursos Hídricos:

**VII** – decidir os conflitos de uso de água em última instância no âmbito do Sistema de Recursos Hídricos do Rio Grande do Sul;

Os objetivos, princípios e diretrizes da Política Estadual de Recursos Hídricos, são discriminados no Plano Estadual de Recursos Hídricos e nos planos de Bacias Hidrográficas. O Plano Estadual de Recursos Hídricos, instituído pela Resolução CRH 141/2014 e o Planos de Bacias Hidrográficas, são instrumentos geridos por conselhos compostos de usuários da água, poder público e técnicos

capacitados que orientam as disputas do uso da água no Estado, organizados por bacias hidrográficas (Art. 38º da Lei 10.350/ 1994, grifo nosso):

**Art. 38** – Para fins de gestão dos recursos hídricos o Estado do Rio Grande do Sul fica dividido nas seguintes regiões hidrográficas:

I – Região Hidrográfica da Bacia do Rio Uruguai, compreendendo as áreas de drenagem do Rio Uruguai e do Rio Negro;

II – Região Hidrográfica da Bacia do Guaíba, compreendendo as áreas de drenagem do Guaíba;

III – Região Hidrográfica das Bacias Litorâneas, compreendendo as áreas de drenagem dos corpos de água não incluídos nas Regiões Hidrográficas definidas nos incisos anteriores.

A Resolução do CONSEMA 355/2017 dispõe sobre os critérios e padrões de emissão de efluentes líquidos para as fontes geradoras que lancem seus efluentes em águas superficiais. Essa resolução anulou a anterior, CONSEMA 128/2006, alterando e adicionando os seguintes artigos 16º (Resolução CONSEMA 128/2006):

**Art. 16** No processo de licenciamento, o empreendedor deve informar todas as substâncias que podem estar presentes nos efluentes, sob pena de anulação da licença expedida

E os artigos 6º, 7º e 18º (Resolução CONSEMA 355/2017):

**Art. 6º** - No processo de licenciamento ambiental, o empreendedor deve informar as substâncias típicas que podem estar presentes nos efluentes líquidos, com base nas matérias-primas e insumos característicos de suas atividades.

**Art. 7º** - A vazão dos efluentes líquidos deve ter uma relação com a vazão de referência do corpo hídrico receptor de modo que o seu lançamento não implique em prejuízo dos usos dos recursos hídricos superficiais associados ao seu enquadramento.

§ 5º O órgão ambiental competente poderá mediante análise técnica fundamentada, autorizar o lançamento de efluentes líquidos em desacordo com as condições e padrões estabelecidos nesta Resolução para os parâmetros que não satisfizerem a inequação do § 2º, desde que observados os seguintes requisitos:

I – comprovação da inexistência de alternativas locais e técnicas sustentáveis;

II – atendimento às metas progressivas obrigatórias, intermediárias e finais conforme os enquadramentos dos corpos hídricos previstos nos respectivos Planos de Recursos Hídricos de Bacia Hidrográfica;

III – estabelecimento de tratamento e exigências para este lançamento;

**IV** – realização de estudo de capacidade de suporte do corpo hídrico receptor, a expensas do empreendedor, que deverá determinar no mínimo:

**a)** Padrões de emissão para os parâmetros que se enquadram no disposto no § 3º deste artigo considerando a sustentabilidade do empreendimento;

**b)** Trechos do corpo receptor que estarão em desacordo com o seu enquadramento para cada um dos parâmetros simulados, considerando as curvas de decaimento;

**c)** Identificação dos usos da água existentes nos trechos do corpo receptor em desacordo com o enquadramento;

**Art. 18** - Podem ser estabelecidos critérios mais restritivos, pelo órgão ambiental competente, para fixação dos padrões de emissão constantes nesta norma em função dos seguintes aspectos: características físicas, químicas e biológicas; características hidrológicas; usos da água e enquadramento legal, desde que apresentada fundamentação técnica que os justifique.

O artigo 16º da resolução de 2006 foi alterado para o artigo 6º, tirando o caráter condicional da exigência e também alterando “todas as substâncias” para “substâncias típicas”, diminuindo a necessidade de estudos mais detalhados sobre os efluentes gerados. O parágrafo quinto (§5º) do artigo 7º, inclui na resolução a possibilidade dos efluentes lançados pelo empreendimento estarem em desacordo com os padrões normalmente exigidos, desde que siga uma série de procedimentos que atendam um conjunto de metas progressivas, tratem o efluente e elaborem estudos de capacidade do corpo receptor. O artigo 18º ficou mantido na nova resolução. Sobre ele, ressalta a palavra “podem”, que assim como no novo Código Estadual do Meio Ambiente, não garante a exigência de padrões mais restritivos quando estes mostraram-se pertinentes.

O Decreto 34.256/1992 criou o Sistema Estadual de Unidades de Conservação (SEUC), o qual distingue três diferentes grupos de Unidades de Conservação, de acordo com critérios técnico-científicos. Os grupos de UCs estão descritos nos incisos I, II e III do artigo 5º, e a importância dos critérios técnico-científicos na seleção de áreas para elaboração do plano de manejo, nos artigos 7º e 8º do Decreto 34.256/1992:

**I - Unidades de Proteção Integral:** reserva biológica, estação ecológica, parque estadual, parque natural municipal, monumento natural e refúgio de vida silvestre.

**II - Unidades de Conservação Provisórias:** reservas de recursos naturais ou reservas florestais.

**III - Unidades de Manejo Sustentável:** reserva de fauna, área de proteção ambiental, floresta estadual, floresta municipal e reserva extrativista, horto florestal e jardim botânico.

**Art. 7º** - A seleção das áreas a serem incluídas no SEUC será baseada em critérios técnico-científicos, sendo prioritário a criação daquelas que contiverem ecossistemas ainda não representados no SEUC, ou em iminente perigo de eliminação ou degradação ou, ainda, pela ocorrência de espécies ameaçadas de extinção.

**Art. 8º** - Cada UC, dentro de sua categoria, disporá sempre de um Plano de Manejo, no qual se definirá o zoneamento da unidade e sua utilização, sendo vedadas quaisquer alterações, atividades ou modalidades de utilização estranhas ao respectivo Plano.

A Resolução CONSEMA 319/2016 estabeleceu critérios e procedimentos para a autorização para licenciamento ambiental de atividades ou empreendimentos que afetem as Unidades de Conservação Estaduais e Municipais integrantes do Sistema Estadual de Unidades de Conservação e seu entorno (Zonas de Amortecimento e área circundante de 10 km), conforme descrito no Artigo 1º, parágrafos 1 e 4 do Artigo 2º, 3º e 4º da Resolução CONSEMA 319/2016:

**Art. 1º.** Os órgãos licenciadores federais, estaduais e municipais, no território do Rio Grande do Sul, deverão solicitar aos órgãos responsáveis pela administração de Unidades de Conservação a Autorização para Licenciamento Ambiental de atividades ou empreendimentos que afetem as Unidades de Conservação estaduais e municipais integrantes do Sistema Estadual de Unidades de Conservação ou que estejam situadas na zona de amortecimento ou na sua área circundante de 10 km, observados os critérios e procedimentos desta Resolução.

**§ 1º.** Em casos de EIA/RIMA, o órgão licenciador deverá consultar formalmente o órgão responsável pela administração da Unidade de Conservação antes de emitir os Termos de Referência do EIA/RIMA para o licenciamento ambiental de empreendimentos de significativo impacto ambiental, o qual se manifestará no prazo máximo de 15 dias úteis quanto à necessidade e ao conteúdo de estudos específicos para avaliar impactos do empreendimento na Unidade de Conservação e na zona de amortecimento.

**§ 4º.** Quando o órgão responsável pela administração da Unidade de Conservação indeferir a Autorização para Licenciamento Ambiental, o empreendedor terá seu requerimento de licença ambiental indeferido pelo Órgão Licenciador, cuja decisão deverá abranger outros aspectos, se existentes, da licença que justifiquem o indeferimento desta.

**Art. 3º.** Ficam previamente autorizados, não sendo necessário solicitar a Autorização para Licenciamento Ambiental, as atividades e empreendimentos:

**III** – situados fora da zona de amortecimento, nas Unidades de Conservação em que esta estiver estabelecida, mesmo que inseridos na área circundante de 10 km;

**IV** – cujas tipologias foram previamente analisadas e definidas pelo órgão responsável pela administração da Unidade de Conservação em ato normativo de caráter geral ou no Plano de Manejo;

**Art. 4º.** O órgão responsável pela administração da Unidade de Conservação analisará e manifestar-se-á sobre os impactos ambientais da atividade ou empreendimento sobre a Unidade de Conservação, de acordo com o Plano de Manejo ou, se inexistente, consoante os objetivos de conservação estabelecidos no ato de criação e concederá, ou não, a Autorização para Licenciamento Ambiental, sendo os demais aspectos da atividade ou empreendimento de competência do órgão licenciador, a serem analisados no âmbito do processo de licenciamento ambiental.

### **Código Mineral Nacional**

O Código de Minas, Decreto-lei nº 227 de 28 de fevereiro de 1967 é a lei cujo objetivo foi o de regular os direitos sobre as massas individualizadas de substâncias minerais ou fósseis, encontradas na superfície ou no interior da terra formando os recursos minerais do País; o regime de seu aproveitamento, e a fiscalização pelo Governo Federal, da pesquisa, da lavra e de outros aspectos da indústria mineral, segundo seu artigo 3º. Até essa data, a atividade era de monopólio da União (Decreto-lei nº 1.985, de 29 de janeiro de 1940), o que define esse Decreto 227 como um marco importante para a exploração dos recursos minerais para o setor privado, que é viabilizado na forma de concessões, licenciamentos, autorização e permissão às serem reguladas e administradas pela União (desde as etapas de pesquisa, até a caducidade da jazida, e o fechamento da mina). Essa lei foi alterada e complementada de forma sistemática posteriormente, até chegar ao modelo atual. Até o ano de 2020, o Código Mineral não expressava em seu conteúdo a responsabilidade ambiental do pretendente à mineração, na forma de sanções e diretrizes obrigatórias, podendo conferir a sua condescendência com a ocorrência de degradações ambientais. Contudo, a recente a Lei nº 14.066, de 2020, incluiu no Código de Mineração os seguintes artigos:

**Art. 6º-A.** A atividade de mineração abrange a pesquisa, a lavra, o desenvolvimento da mina, o beneficiamento, o armazenamento de estêreis e rejeitos e o transporte e a comercialização dos minérios, mantida a responsabilidade do titular da concessão diante das obrigações deste Decreto-Lei até o fechamento da mina, que deverá ser obrigatoriamente convalidado pelo órgão regulador da mineração e pelo órgão ambiental licenciador.

**Parágrafo único.** O exercício da atividade de mineração inclui:

**I** - a responsabilidade do minerador pela prevenção, mitigação e compensação dos impactos ambientais decorrentes dessa atividade, contemplando aqueles relativos ao bem-estar das comunidades envolvidas e ao desenvolvimento sustentável no entorno da mina;

**II** - a preservação da saúde e da segurança dos trabalhadores;

**III** - a prevenção de desastres ambientais, incluindo a elaboração e a implantação do plano de contingência ou de documento correlato; e

**IV** - a recuperação ambiental das áreas impactadas.

**Art. 43-A.** O titular de concessão de lavra deverá cumprir as obrigações previstas neste Decreto-Lei e na legislação ambiental pertinente, incluídas a recuperação do ambiente degradado e a responsabilização civil, no caso de danos a terceiros decorrentes das atividades de mineração, sem prejuízo das sanções administrativas e penais.

**Parágrafo único.** A recuperação do ambiente degradado prevista no caput deste artigo deverá abarcar, entre outros, o fechamento da mina e o descomissionamento de todas as instalações, incluídas barragens de rejeitos, de acordo com a legislação vigente.

**Art. 47-A.** Em qualquer hipótese de extinção ou caducidade da concessão minerária, o concessionário fica obrigado a:

**I** - remover equipamentos e bens e arcar integralmente com os custos decorrentes dessa remoção;

**II** - reparar ou indenizar os danos decorrentes de suas atividades; e

**III** - praticar os atos de recuperação ambiental determinados pelos órgãos e entidades competentes.

**Parágrafo único.** Para fins do efetivo cumprimento deste artigo, o concessionário deverá apresentar à entidade outorgante de direitos minerários o Plano de Fechamento de Mina e à autoridade licenciadora o Plano de Recuperação de Áreas Degradadas.

O titular da autorização deverá elaborar estudos geológicos e tecnológicos quantitativos da jazida e demonstrativos da exequibilidade técnico-econômica da lavra, os quais concluirão pela exequibilidade técnico-econômica da lavra, e, se for o caso, pela inexistência de jazida, ou pela inexecuibilidade técnico-econômica da

lavra em face da presença de fatores conjunturais adversos (tais como inexistência de tecnologia adequada ao aproveitamento econômico da substância mineral, ou inexistência de mercado interno ou externo para a substância mineral). Conforme os artigos 22º e 23º do referido código. Com o avanço da discussão ambiental e a necessidade de garantias sobre a segurança relativa aos impactos de grande magnitude, observa-se a inexistência da presença do fator ambiental como um dos “fatores conjunturais adversos”, como uma possibilidade de tornar a lavra em uma jazida inexecutável, sob a perspectiva da segurança ambiental.

### **Política Estadual do Carvão Mineral**

A Lei nº 15047 de 29/11/2017, que criou a Política Estadual do Carvão Mineral, instituiu o Polo Carboquímico do Rio Grande do Sul e deu outras providências. Diferente das leis até aqui apresentadas, não modificou, ou revogou uma legislação anterior, conferindo o caráter evolutivo e construtivo esperado. Isso demonstra que, no Rio Grande do Sul, o carvão, mesmo sendo minerado desde o século XVIII, nunca teve um peso que justificasse o desenvolvimento de uma política específica para incentivar sua exploração. A lei foi criada após a data de início do processo de licenciamento do Projeto Mina Guaíba junto a Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luis Roessler - RS (FEPAM) e não apresentou nenhum tipo de diálogo com a sociedade, mesmo os prescritos por lei.

Sánchez (2020), propõe que as novas fronteiras do campo da Avaliação de Impacto Ambiental não estão na elaboração de estudos sobre empreendimentos em particular. Ao contrário, estão em estudos e métodos de avaliação sobre políticas públicas que abrem precedentes legais para propostas de empreendimentos que ameaçam o ambiente e a qualidade de vida humana com impactos de grande magnitude. A existência dessa lei que cria a Política Estadual do Carvão Mineral no Rio Grande do Sul, cuja construção e aprovação deu-se sem o diálogo com a sociedade e sem estudos de impacto ambiental e econômico, reforça a proposta de Sánchez (2020).

#### **1.3.2. Sobre o carvão mineral**

O carvão mineral é uma rocha sedimentar formada a partir da deposição da matéria orgânica em ambiente pantanoso denominado turfa, que pode apresentar

diferentes tipologias, conforme as influências do ambiente deposicional, o material vegetal disponível e o clima presente. Durante o período de deposição e decomposição da matéria orgânica os principais processos envolvidos são os de natureza bioquímica, nos quais as bactérias presentes são os principais agentes (Thomas, 2020). Junto com as espécies vegetais, são carregados para a turfa, sedimentos derivados de erosão de áreas adjacentes, ou transportados de regiões mais distais. O material mineral e orgânico é então soterrado em profundidade para sofrer o processo de diagênese e metamorfismo, etapa em que os processos geoquímicos apresentam-se com maior relevância (Thomas, 2020). Durante o metamorfismo e a carbonificação o teor de carbono é elevado, enquanto os teores de hidrogênio, oxigênio e a umidade do carvão são reduzidos. O resultado é a compactação da rocha, com redução do seu volume material. Forma-se uma rocha de textura fina, maciça ou laminar e essencialmente carbonosa (na forma de macerais), com variável teor de conteúdo inorgânico (minerais e mineralóides), umidade e voláteis.

Todo os fatores influentes na formação do carvão mineral - desde o tipo de vegetal depositado, o clima e a localização paleogeográfica da bacia, a quantidade e o conteúdo mineral presente, até a profundidade do soterramento e o tempo decorrido em todos esses processos - são informações que podem ser estudadas a partir de análises geoquímicas, estratigráficas e petrográfica.

A composição e a proporção das frações orgânicas e inorgânicas no carvão vão refletir a composição do seu material de origem. A classificação húmico e sapropélico está relacionada ao tipo vegetal depositado. Os carvões denominados húmicos são formados a partir da deposição de vegetais terrestres, e muitas vezes apresentam vestígios de lenhos e aparência heterogênea. Enquanto que os carvões sapropélicos são formados pela deposição de algas e apresentam aparência homogênea e podem conter esporos e argilas.

O grau de diagênese e o processo de carbonificação vai determinar a classificação do carvão em brown coal (linhitas e sub-betuminosos) ou black (ou hard) coal (betuminosos, semi-antracitos e antracitos). Essa classificação está diretamente relacionada com as características energéticas do carvão e sua utilidade e eficiência como matéria-prima industrial, por esse motivo essa classificação confere o maior ou menor valor do depósito. Com a progressão da

classificação do carvão (de linhito até antracito), o teor de metano ( $\text{CH}_4$ ) no carvão é elevado em detrimento do teor de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), ao mesmo tempo em que a reflectância da vitrinita também é elevada (Thomas, 2020).

Os carvões também podem ser diferenciados pelo seu período de formação: Carbonífero, Permiano (também chamado de carvão Gondwanico, devido a sua ocorrência no paleocontinente Gondwana), Mesozóico tardio e Paleógeno – Neógeno. Apesar das características de cada depósito serem muito variáveis por dependerem de condições específicas do ambiente deposicional, conforme discutido, Thomas (2020) descreve algumas características genéricas que permitem essa distinção dos carvões.

Os carvões do Carbonífero apresentam brilho típico, aparência lustrosa e consistem predominantemente em vitrinita e clarita. Os carvões Permianos são principalmente formados no supercontinente Gondwana, apresentam aparência opaca e contém alta porcentagem de inertinita. Os carvões gondwânicos têm uma tendência a apresentar maior porcentagem de material mineral. Em geral, os carvões carboníferos e gondwânicos são amplamente semelhantes, existem, contudo, diferenças no conteúdo total e distribuição dos tipos de material mineral. O carvão Gondwânico tem, em geral, maior conteúdo mineral, e camadas bem definidas de minerais como caulinita, quartzo, argila fina, além de outros dispersos na fração orgânica. Os carvões do Mesozoico tardio e Paleógeno-Neógeno são mais variáveis e apresentam uma formação mais complexa, geralmente são ricos em huminita e vitrinita, o conteúdo de liptinita pode ser variável com baixa inertinita. A maioria apresenta alta classificação, “black coal” (Thomas, 2020).

### **O material inorgânico no carvão**

O carvão é constituído por uma fração orgânica, a qual é caracterizada pela presença de macerais (vitrinita, inertinita, lignita, etc) e por uma fração inorgânica que compreende uma grande diversidade de minerais com diferentes graus de cristalinidade, além de material inorgânico não mineral, que pode ocorrer em grandes quantidades associados à matéria orgânica, principalmente nos carvões de mais baixa classificação (Ward, 2016). Uma grande quantidade de material mineral pode ser encontrada nos carvões (Finkelman et al., 2019; Ward, 2016). São comuns: quartzo, carbonato de ferro, argilominerais e diversos outros minerais

acessórios, que podem variar muito de acordo com o local e a rocha de origem (Thomas, 2020).

O material mineral no carvão é representado por todos os componentes da matéria seca, ou seja, que não são C, H, O, N, ou S (orgânicos). Sob esta definição o material mineral no carvão abrange o total dos constituintes inorgânicos (Ward, 2016). Os constituintes inorgânicos podem conter partículas minerais discretas, minerais com fraca cristalinidade (mineralóides) e uma variedade de elementos inorgânicos não cristalinos (não minerais). Os processos responsáveis pela formação de material mineral incluem a entrada de detritos, a atividade biogênica durante o período do acúmulo da turfa e a precipitação autigênica em diferentes estágios da história deposicional e pós deposicional do carvão, devido a alteração nos fluidos subterrâneos e outros aspectos da diagênese dos sedimentos (Ward, 2016).

Além dos principais elementos que constituem a maior parte da matéria mineral, o carvão também pode conter concentrações significativas de uma variedade de elementos traços. Uma compreensão dos elementos traços pode ser valiosa na avaliação da origem da matéria mineral em carvões particulares ou na avaliação dos impactos na saúde humana e no meio ambiente que podem estar associados à mineração de carvão e sua utilização (Finkelman et al., 2002).

Estudos realizados em 27 tipos de carvões, amostrados em 8 regiões diferentes dos EUA, identificaram 20 elementos-traço associados apenas aos argilominerais (Kuhn et al., 1980), evidenciando a importância em identificar os minerais presentes e os elementos químicos incorporados em sua estrutura. A disponibilidade desses elementos químicos para o ambiente está relacionada às formas geoquímicas de retenção, que são controladas por reações químicas e processos físicos, os quais dependem do pH, Eh, capacidade de troca catiônica (CTC) e constituição mineralógica do ambiente (Oliveira; Martins, 2011).

Finkelman et al. (2019) identificou mais de 200 minerais no carvão, classificando-os conforme sua frequência: comum, incomum, ou raro. Dentre os grupos minerais silicatos, sulfetos, selenetos, fosfatos, carbonatos, sulfatos, óxidos, hidróxidos e outros. Através da técnica de lixiviação fracionada, (Finkelman et al., 2019), pode correlacionar os elementos químicos com os diferentes minerais ou grupos minerais presentes. Assim observou que os elementos estão amplamente

hospedados nos minerais, com exceção do Ge e do Cl. Nos carvões betuminosos (“dark coal”) essa porcentagem é maior de 50% dos elementos, enquanto nos carvões de baixa classificação (“brown coal”) existe uma maior proporção de elementos associados à fração orgânica (Finkelman et al., 2018). Essa diferença poderia ser explicada pela migração diferencial de elementos inorgânicos não minerais e sua expulsão durante o avanço da carbonificação, proposto por Ward (2016).

Finkelman et al. (2019) observou que quase todos os elementos identificados associam-se a mais de um mineral ou grupo mineral no carvão. Quanto ao seu potencial para toxicidade verificou que os elementos traços relacionados aos silicatos são, em geral, benignos. E aqueles relacionados aos sulfetos e selenetos são tóxicos para o ambiente e para a saúde humana, tais como: S, As, Hg, Ti, Se, Pb (Finkelman et al., 2019). Contudo, devido a capacidade de adsorção de elementos carregados positivamente em sua superfície negativa - além dos espaços entre camadas, no caso das argilas expansivas, nos quais ocorrem trocas catiônicas - estudos mostram a ampla associação entre elementos traços e os argilominerais. Isto se deve às substituições na rede cristalina, que são comuns. Como, por exemplo, quando algum elemento ocupa o sítio do alumínio. A substituição isomórfica é favorecida quando a valência e os raios atômicos dos elementos envolvidos são similares.

Os minerais contidos no carvão podem ser detríticos, biogênicos ou precipitados (diagenéticos ou epigenéticos). Os minerais ou grupos minerais podem ter uma origem única ou preferencial, ou apresentar diferentes características texturais que permitam sua distinção. Para isso, as análises em microscopia óptica e Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) são úteis na caracterização textural dos minerais (Ward, 2016). A compreensão da origem dos minerais ajuda na composição do paleoambiente da deposição da turfa e dos processos envolvidos na história de formação do carvão. Ward (2016) forneceu uma variedade de informações úteis sobre as condições deposicionais e histórico geológico das sequências portadoras de carvão e camadas individuais.

Os minerais biogênicos são compostos essencialmente por sílica amorfa, as quais se apresentam mais solúveis que o quartzo cristalino. Apresentam, comumente, marcas de degradação, corrosão e dissolução parcial (Ward, 2016).

Também é comum a presença de conchas calcárias, que podem ser interpretadas como o aprofundamento da água do pântano no qual desenvolveu-se a turfa.

Os minerais detríticos se acumulam na turfa pela entrada de água em inundações de rios, ou na forma de poeira transportada pelo ar, em eventos epiclásticos e piroclásticos. A vegetação e as drenagens ácidas fornecem uma proteção à entrada de minerais na turfa, na forma de barreiras físicas e químicas (pela floculação da argila) (Ward, 2016). Os detritos são encontrados em maior volume nas porções basais e próximo às margens da turfeira e podem ocorrer como fragmentos discretos, ou como finas camadas intimamente misturadas com os componentes macerais. Podem incluir quartzos e feldspatos nos tamanhos silte e areia, com frequência junto com bandas irregulares de material argiloso.

Os minerais autigênicos são aqueles precipitados no próprio local durante ou após a acumulação da turfa. Durante a diagênese (diagenéticos), ou após a lixiviação (epigenéticos). Os minerais diagenéticos, segundo o estudo apresentado por Ward, (2016), podem conter siderita, caulinita, quartzo, fosfato e pirita como nódulos, framboidal, ou como preenchimento de células e esporos.

Os minerais epigenéticos, apresentam-se como preenchimentos de fraturas e poros, e podem estar associados a esta origem a caulinita, dolomita, ankerita, siderita, pirita, marcassita, apatita, dawsonita, calcita, ilita, clorita entre outros minerais que se formam pela alteração dos minerais primários, devido a interação com fluidos.

Os silicatos incluem a presença principalmente de quartzo e argilominerais. Os quartzos podem estar presentes como fragmentos detríticos, como preenchimento de fraturas, células e poros na matéria orgânica. A origem da sílica podem ser dos fitólitos, lixiviação de outras rochas, de cinzas vulcânicas ou presença de fluídos hidrotermais (Ward, 2016). Os argilominerais constituem, segundo (Thomas, 2020) de 60% a 80% do material mineral associado ao carvão. Os argilominerais têm a sua gênese complexa e podem ser tanto detríticos, quanto subprodutos de soluções aquosas presentes, fortemente influenciáveis pelas condições químicas da solução (Thomas, 2020; Ward, 2016). Por exemplo, a proporção entre ilita e caulinita no carvão pode ser usada - assim como a proporção de S - como um indicador para a presença de influência marinha na sua formação. Isso porque o pH de pântanos de água doce, com pouca influência marinha

costumam ser menores, o que favorece a alteração *in situ* de esmectitas, ilitas e argilas de camadas mistas para caulinita. Em ambientes com influência marinha, o argilomineral dominante, geralmente, é a illita.

A caulinita é um argilomineral muito comum no carvão, em alguns casos pode ser o único presente. A sua forma de ocorrência pode ser como pelotas discretas vistas em microscópio em cavidades celulares e também como agregados vermiculares. A origem da caulinita no carvão é claramente autigênica. A precipitação pode ser decorrente de mudanças no pH do leito da turfa devido a instabilidade do alumínio em pH mais baixo. Além disso, ela também pode ser formada em processos epigenéticos, quando ocorre como preenchimento de fraturas, ou em processos derivados da atividade biológica (Ward, 2016).

Os carbonatos estão presentes em muitos carvões, mas não em todos. Os mais comuns são calcita ( $\text{CaCO}_3$ ), siderita ( $\text{FeCO}_3$ ) e a série ankerita – dolomita (Ward, 2016). Conforme Finkelman et al. (2019), quando presentes podem ser hospedeiros de Ca, Mg, Fe, Mn e Sr, principalmente, e em menor escala, ETR e F, e em alguns casos, Zn. Na maioria dos casos as fases carbonáticas são de origem autigênica e ocorrem no preenchimento de poros, nódulos, ou fraturas. Pequenos nódulos de siderita são comuns e abundantes em carvões que tiveram sua formação em ambiente de água doce, onde a concentração de íons de sulfato na água dos poros era muito baixa para favorecer a formação de pirita. A siderita pode estar associada a cristais de pirita singenéticos, sugerindo transições entre as condições de formação de sulfeto e de carbonato de ferro (Ward, 2016).

Entre os sulfetos, a pirita é, de longe, a mais comum. Inquestionável, também, é o seu impacto, dentre os minerais encontrados no carvão (Finkelman et al., 2019). A pirita pode ocorrer de forma framboidal, massiva, como preenchimento de células e de fraturas ou nodular. Outros sulfetos podem estar presentes como marcasita, esfalerita, galena e pirrotita (Ward, 2016).

A pirita associada com a matéria orgânica provavelmente foi formada durante, ou logo após o acúmulo da turfa, como os micro-organismos podem estar envolvidos na formação da pirita autigênica, alguns sulfetos podem ser considerados como parte da matéria mineral biogênica. No entanto, sulfetos também podem ocorrer como nódulos maiores e agregados cristalinos, como veios epigenéticos e preenchimento posterior de poros. Quando a pirita ocorre como

framboidais, ou pequenos agregados policristalinos intimamente associada aos macerais é sin-deposicional ou diagenética (Ward, 2016).

A abundância de S no carvão está associada a influência de água marinha durante o processo de deposição da turfa e as mudanças pós deposicionais (Ward, 2016), conforme a seguintes reações: o sulfato da água do mar difunde-se na turfa e é subsequentemente reduzido pelas bactérias em sulfeto de hidrogênio, polissulfetos e enxofre elementar. A reação do sulfeto de hidrogênio com o ferro ferroso gera cristais finos de pirita e outros compostos de S e Fe que vão dar origem à pirita framboidal. As espécies de enxofre reduzido na turfa (sulfeto de hidrogênio, enxofre elementar e polissulfetos) também podem reagir com a matéria orgânica para formar compostos orgânicos de enxofre. Contudo, a pirita sin-deposicional também pode ser abundante em carvões formados em ambiente lacustre sem conexão com o mar. Em locais onde águas do lago ou águas subterrâneas ricas em sulfato podem ser responsáveis pela produção de pirita no carvão (Ward, 2016).

Os elementos As, Se e Sb presentes na pirita substituem o S, enquanto Hg e Pb substituem o Fe da pirita (Kolker, 2012 em Finkelman, 19). Finkelman et al. (2019) verificaram pela lixiviação com ácido nítrico que a pirita seria o principal hospedeiro dos elementos As e Hg, contendo alta porcentagem em peso de As. Quanto ao As, pode ocorrer em vários estados de valência, conforme Etschmann et al. (2017) (em Finkelman, 19), o arsênio possui um padrão de especiação complexo e pode, dessa forma, ocorrer em compostos aniônicos e catiônicos, e na pirita pode substituir tanto o S, quanto o Fe.

A interação da pirita, e outros sulfetos, com água ou com atmosfera – como na exposição de cavas de mineração, depósitos de resíduos, ou de beneficiamento – pode produzir uma variedade de sulfatos contendo Fe, como jarosita. A hematita e outros óxidos e hidróxidos – de fraca cristalização – podem ser desenvolvidos nesse processo. Os ácidos gerados na oxidação do sulfeto podem interagir com a calcita presente no carvão para a formação de gesso – o qual pode ser parcialmente desidratado para formar bassanita quando o carvão é incinerado (Ward, 2016).

Assim como a geração de soluções ácidas, a oxidação da pirita pode converter alguns elementos traços da pirita mais solúveis, liberando esses elementos mais prontamente para as águas de escoamento e para o ambiente associado. Em estudo com carvão brasileiro com até 5% de pirita no material

mineral, Oliveira et al. (2012) descobriram que a interação de carvão relativamente fresco com água produziu lixiviados com valores de pH quase neutros (levemente ácidos). Mas o carvão no qual a pirita havia oxidado, identificado pela presença de jarosita, produziu um lixiviado fortemente ácido com maiores concentrações de Cd, Co, Cu, Ni, Zn. Dessa forma, os lixiviados derivados de carvões onde a pirita foi oxidada durante o armazenamento poderia, portanto, ter um impacto ambiental mais adverso do que os lixiviados derivados de carvão em que a oxidação da pirita não teve oportunidade de se desenvolver.

Pilhas de rejeito originadas no beneficiamento do carvão (separação do material combustível do não – combustível) costumam concentrar o material mineral do carvão, no qual está inserida a pirita. Os resíduos do carvão também são enriquecidos em elementos traços (Davison et al., 1974; Natusch et al., 1974; Pires et al., 1991, Jamieson, 2011), que também podem ser liberados para o ambiente conforme a oxidação da pirita se desenvolve no armazenamento, gerando soluções ácidas.

Os minerais são os componentes mais importantes da fração inorgânica do carvão e têm o papel de hospedar elementos químicos, que podem ser tóxicos, ou não. Além disso, tais minerais podem afetar positiva ou negativamente os processos da mineração e da indústria. O conhecimento dos minerais presentes no carvão é indispensável não apenas para o estudo dos impactos ambientais, como também para a otimização dos processos de extração, beneficiamento e queima (ou gaseificação). Constituintes como alguns argilominerais, podem ter características abrasivas e causar fricção e erosão de equipamentos. Os minerais com baixo ponto de fusão podem causar, durante a operação, o desligamento de equipamentos quando fundidos.

No que tange os riscos à saúde humana, é importante ressaltar a noção de biodisponibilidade dos elementos presentes no carvão. Trata-se da disponibilidade de elementos potencialmente tóxicos para os seres vivos, e assim se constitui no dano de maior impacto. A inalação de elementos como As e Hg a partir de partículas finas de pirita, por exemplo, podem causar graves doenças pulmonares.

#### 1.4. Materiais e métodos

A metodologia utilizada nesta pesquisa é constituída de duas etapas principais: 1.4.1) levantamento bibliográfico e 1.4.2) aplicação de conjunto de técnicas analísticas para caracterização geológica e geoquímica da poluição potencial da exploração mineral da Jazida Guaíba. De forma que, o critério para a escolha das análises da etapa 2 está diretamente relacionado ao objetivo de contribuir no dimensionamento dos impactos decorrentes da atividade de mineração do carvão mineral da Jazida Guaíba.

A primeira etapa contou com: 1.4.1.1) o levantamento da legislação ambiental relevante para o EIA de um projeto de mineração de carvão; e 1.4.1.2) o estudo detalhado do Diagnóstico Ambiental do Meio Físico do EIA do Projeto Mina Guaíba. A segunda etapa contou com três outras sub-etapas: 1.4.2.1) Amostragem; 1.4.2.2) Análise de fácies do testemunho de sondagem; 1.4.2.3) Preparação das amostras; 1.4.2.4) Microscopia óptica; 1.4.2.5) Difração de Raio-x; 1.4.2.6) Microscopia Eletrônica de Varredura; e 1.4.2.7) Análise Química em Espectrômetros de Massa (ICP-MS) e (ICP-AES).

##### 1.4.1. Etapa 1: Levantamento bibliográfico

###### 1.4.1.1. Levantamento da legislação pertinente

O levantamento da legislação ambiental presente na pesquisa teve como objetivo a avaliação legal dos estudos presentes no EIA/RIMA e uma leitura crítica sobre as recentes alterações atualmente em vigor. Devido a extensão da legislação ambiental brasileira, optou-se por fazer uma seleção restrita de legislações e resoluções pertinentes aos estudos do meio físico e às atividades de mineração. O resultado desta etapa está descrito no capítulo de Estado da Arte e as legislações e resoluções selecionadas e analisadas estão listadas no Quadro 1.

Quadro 1: Lista das legislações analisadas na pesquisa

Nível	Número/Código	Assunto	Data
<b>Leis e Decretos Federais</b>	Decreto nº 24.643	Código das Águas	1934
	Decreto nº 23.793	Código Florestal	1934
	Decreto Federal 1.179	Plano Nacional de	1971

		Desenvolvimento (PND I)	
	Lei 6.151	Plano Nacional de Desenvolvimento (PND II)	1974
	Lei Federal nº 6.938	Política Nacional do Meio Ambiente – PNMA	1981
	Constituição Federal		1988
	Decreto nº 99.274	Estações Ecológicas e Áreas de Proteção Ambiental	1990
	Lei nº 9.433	Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH)	1997
	Lei nº 9.985	Sistema Nacional de Unidades de Conservação (SINUC)	2000
	Lei Federal nº 12.305	Política Nacional de Resíduos Sólidos	2010
	Decreto-lei nº 1.985	Código de Minas	1940
	Decreto-lei nº 227	Código de Minas	1967
	Lei nº 14.066	Código de Mineração	2020
<b>Leis e Decretos Estaduais (RS)</b>	Lei 11.520	Código Estadual do Meio Ambiente do Rio Grande do Sul	2000
	Lei nº 15.434	Novo Código Estadual do Meio Ambiente do Rio Grande do Sul	2020
	Lei 10.350	Política Estadual de Recursos Hídricos	1994
	Decreto 34.256	Sistema Estadual de Unidades de Conservação (SEUC)	1992
	Lei nº 15047	Política Estadual do Carvão Mineral	2017
<b>Resoluções Federais do Conselho Nacional do Meio Ambiente</b>	Resolução do CONAMA nº001	Critérios básicos e as diretrizes gerais para uso e implementação da Avaliação de Impacto Ambiental	1986
	Resolução do	Revisão dos	1997

	CONAMA nº 237	procedimentos e critérios utilizados no licenciamento ambiental	
	Resolução do CONAMA nº 357	Padrões de lançamento de efluentes em corpos d'água	2005
	Resolução do CONAMA nº 430	Padrões de lançamento de efluentes em corpos d'água	2011
	Resolução do CONAMA nº 428	Procedimentos de licenciamento ambiental em Unidades de Conservação e Zonas de Amortecimento	2010
	Resolução do CONAMA nº 420	Valores orientadores de qualidade do solo e gerenciamento ambiental de áreas contaminadas	2009
	Resolução do CONAMA nº 05	Programa Nacional de Controle de Poluição do Ar (PRONAR)	1989
	Resolução do CONAMA nº 003	Controle da qualidade do ar	1990
	Resolução do CONAMA nº 382	Controle da qualidade do ar	2006
	Resolução do CONAMA nº 436	Controle da qualidade do ar	2011
<b>Resoluções Estaduais do Conselho Estadual do Meio Ambiente (RS)</b>	Resolução do CONSEMA nº 347	Poligonais em áreas de atividades de extração mineral	2017
	Resolução do CONSEMA nº 128	Padrões de emissão de efluentes líquidos em águas superficiais.	2006
	Resolução do CONSEMA nº 355	Padrões de emissão de efluentes líquidos em águas superficiais.	2017
	Resolução do CONSEMA nº 319	Zonas de Amortecimento em Unidades de Conservação	2016

### 1.4.1.2. Avaliação dos estudos contidos no Diagnóstico Ambiental do Meio Físico

A avaliação dos estudos contidos no capítulo de Diagnóstico Ambiental do Meio Físico do EIA do Projeto Mina Guaíba foi realizada após a leitura e avaliação da legislação considerada pertinente. Assim, o enquadramento legal foi um dos critérios críticos da avaliação realizada. Além da leitura cuidadosa do Diagnóstico Ambiental do Meio Físico, outros trabalhos técnicos e ofícios da FEPAM anexados no processo de licenciamento contribuíram para a avaliação (Prates et al., 2019).

### 1.4.2. Etapa 2: Aplicação de técnicas analíticas no carvão mineral da Jazida Guaíba

Tendo como base os resultados obtidos na primeira etapa desta pesquisa, a metodologia proposta nesta etapa está representada no fluxograma da Figura 1. O critério para a escolha das análises está diretamente relacionado ao objetivo de contribuir no dimensionamento dos impactos decorrentes da atividade de mineração do carvão mineral da Jazida Guaíba.

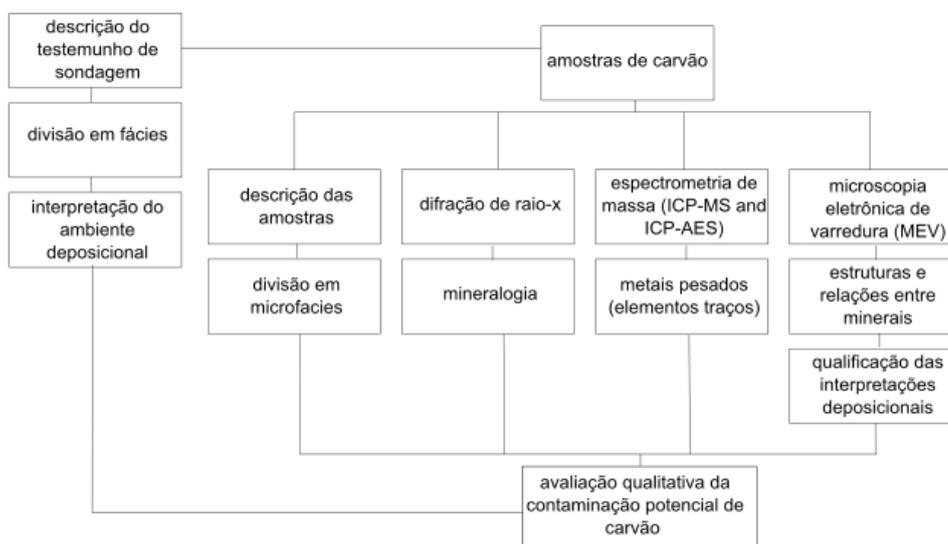


Figura 1: Fluxograma apresenta a sequência de análises utilizadas na etapa 2 da metodologia.

#### 1.4.2.1. Trabalho de campo e amostragem

Para realização das análises planejadas, obteve-se acesso a três testemunhos de sondagem disponíveis na Litoteca da CPRM (Serviço Geológico do Brasil), em Caçapava do Sul (RS): GB-RS-01, GB-RS-03 e GB-RS-04 (ver Figura 2). A escolha por fazer a amostragem no testemunho GB-04-RS teve como critério a proximidade com a área de lavra definida no Projeto da Mina Guaíba e pela melhor condição da camada de carvão no testemunho de sondagem. Os testemunhos de sondagem da CPRM para esta área foram perfurados na década de 1980 e devido ao pouco cuidado da instituição na liberação de amostras, a camada de carvão dos outros testemunhos encontram-se esgotadas.

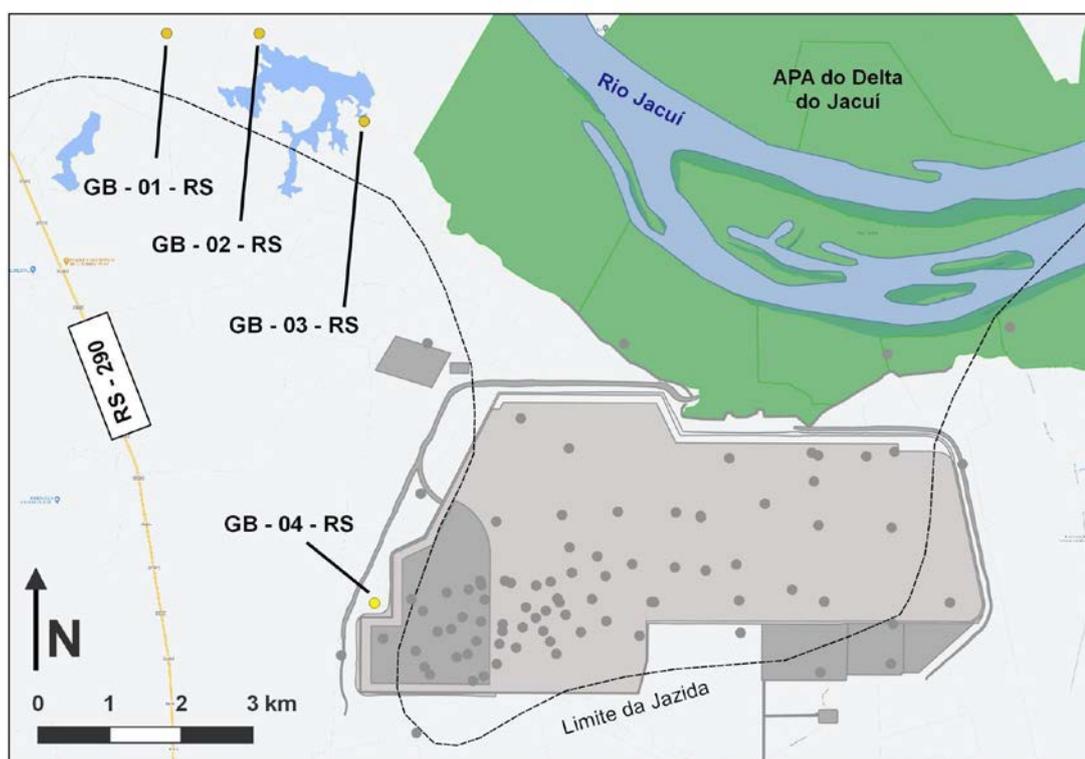


Figura 2: Localização dos testemunhos de sondagem disponíveis pela CPRM, na área/ projeto de estudo.

#### 1.4.2.2. Análise de fácies do testemunho de sondagem

A análise de fácies foi feita no testemunho de sondagem GB-04-RS, localizado na porção sul da Jazida e oeste na área do Projeto Mina Guaíba (Figura 2). A camada inferior portadora de carvão, neste perfil, apresenta uma espessura de 67 cm, localizada a uma profundidade entre 49,50 m e 50,30 m. Foram retiradas

cinco amostras de carvão dessa camada e denominadas, da base para o topo, de C1 a C5. A amostra C1 situa-se a uma profundidade de 50,25 m; C2, a 50,2 m; C3 a 50,10 m; C4 a 50,0 m; e C5 a 49,65 m. A análise de fácies do testemunho de sondagem e das amostras de carvão coletadas foi realizada com base em parâmetros texturais, estruturais e petrográficos, de acordo com os conceitos de Walker (Walker, 1993).

#### **1.4.2.3. Preparação das amostras**

As amostras foram serradas transversalmente a sua laminação, em pequenos fragmentos de 1,5 cm de espessura aproximadamente. Os fragmentos foram resinados em moldes formando pequenas pastilhas e, depois de secos, lixados até as faces com as laminações ficarem expostas. Logo após, foi realizado o polimento das pastilhas com pasta de alumina 3  $\mu\text{m}$ , pasta de diamante 1,0  $\mu\text{m}$  e 0,25  $\mu\text{m}$  (Figura 3). As pastilhas foram usadas para análise em microscopia óptica de luz refletida e depois em MEV. Para essa última, as amostras foram metalizadas com ouro.

Depois deste processo, as amostras foram cominuídas até 80 mesh em porções de 8 g aproximadamente (Figura 4). Destas, 5 g foram destinadas às análises químicas em ICP-AES e ICP-MS e, em torno de 3 g foram destinadas à análise mineralógica em Difração de Raio-X (DRX). A cominuição foi realizada manualmente em gral de porcelana (Figura 5), para evitar a contaminação e o desperdício das amostras, cuja parcela não utilizada foi armazenada estudos futuros.

Figura 3: A) fragmento serrado da amostra de carvão sendo resinada em um molde; B) Politriz para ajudar a lixar as pastilhas até atingir a face do carvão; C) Polimento mais delicado fora da politriz para evitar rachaduras nas amostras.

Figura 4: Foto das amostras de carvão moídas e separadas para as análises.

Figura 5: Foto das amostras de carvão sendo moídas em gral de cerâmica.

#### **1.4.2.4. Microscopia óptica**

As pastilhas produzidas foram analisadas no Zeiss axio Z2m2 com magnificação de 500x a 1000x. O objetivo principal desta análise foi a identificação dos grupos macerais e minerais presentes no carvão da Jazida Guaíba. As seções mais interessantes, ou que levantaram dúvidas na microscopia óptica, foram identificadas para análise posterior em Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV).

#### **1.4.2.5. Difração de Raios-X (DRX)**

As análises de Difração de Raios-X (DRX) foram realizadas nas cinco amostras no Laboratório de Análises Química e Mineralógica de Materiais Sólidos do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Para identificação das fases mineralógicas dos compostos em Rocha Total (RT) presentes nas amostras. O laboratório contou com dois difratômetros Siemens

(Bruker) D-5000 (theta/theta) e (theta/2theta), assim como tubos de Raios X de Cu K $\alpha$ .

#### **1.4.2.6. Microscopia Eletrônica de Varredura**

A microscopia óptica foi realizada e seguida de estudos de MEV no Laboratório de Geologia Isotópica (CPGq-IGEO-UFRGS), incluindo imagens de Elétrons Retroespalhados (BSE) e caracterização química com Espectroscopia por Energia Dispersiva (EDS). O estudo de microscopia eletrônica de varredura (MEV) e semiquantitativo sem padrão utilizou-se de espectrometria de raios X de energia dispersiva (EDS) nas seções polidas. O microscópio eletrônico de varredura é um JEOL JSM-6610LV, equipado com um espectrômetro de raios X dispersivo de energia Bruker XFLASH 5030. As condições analíticas foram entre 12 e 20 kV, tamanho do ponto 60, distância de trabalho (WD) 0,7 mm e tempo de contagem de 30 s para as análises EDS.

#### **1.4.2.7. Análise Química em ICP-MS e ICP-AES**

A determinação dos elementos maiores (Si, S, Ca, Mg e Fe) foi realizada por espectrometria óptica com plasma indutivamente acoplado (modelo Optima 4300 DV, PerkinElmer, USA). A determinação dos elementos traços (As, Be, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Li, Ni, Pb, Sb, Se, Ti, V, Zn, Ba, Sr e U) obtida por espectrometria de massa com plasma indutivamente acoplado (modelo Elan DRC II, PerkinElmer Sciex, Canadá) . Já a determinação de F foi realizada por cromatografia de íons (MagIC Professional 850, Metrohm), tendo sido a amostra preparada com base no sistema de piroidrólise com 0,100 g de massa amostra.

Foram realizadas análises químicas nas cinco amostras do carvão mineral para quantificação de 24 elementos no carvão: As, Be, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Li, Ni, Pb, Sb, Se, Ti, V, Zn, Ba, Sr, Si, S, Ca, Mg, Fe, U e F. Tais elementos comumente são referidos por seu potencial de toxicidade e perigo para saúde humana (Finkelman et al., 2018; Finkelman et al, 2019; Kalkreuth et al., 2006). E também são encontrados em alto teor nos carvões sul-brasileiros (em comparação com a média mundial) (Finkelman et al., 2018;Finkelman et al, 2019; Kalkreuth et al., 2006).

### 1.5. Contexto geológico

O carvão no sul do Brasil ocorre na Formação Rio Bonito, uma unidade sedimentar permiana da Bacia Sedimentar do Paraná (Figura 6). O espesso pacote vulcano-sedimentar desta bacia estrutura-se em seis supersequências deposicionais (Milani et al., 2007), dentre as quais a Formação Rio Bonito pertence à Supersequência Gondwana I. Essa formação tem sido descrita como sendo constituída por uma sucessão de pacotes alternados, ora mais arenosos e ora mais pelíticos, resultantes de evento transgressivo pós-glacial no Artinskiano-Kunguriano (Guerra-Sommer et al., 1991, Guerra-Sommer et al., 2001; Cazzulo-Klepzig et al., 2002; Milani et al., 2007; Guerra-Sommer et al., 2008a; Guerra-Sommer et al., 2011; Simas et al., 2012).

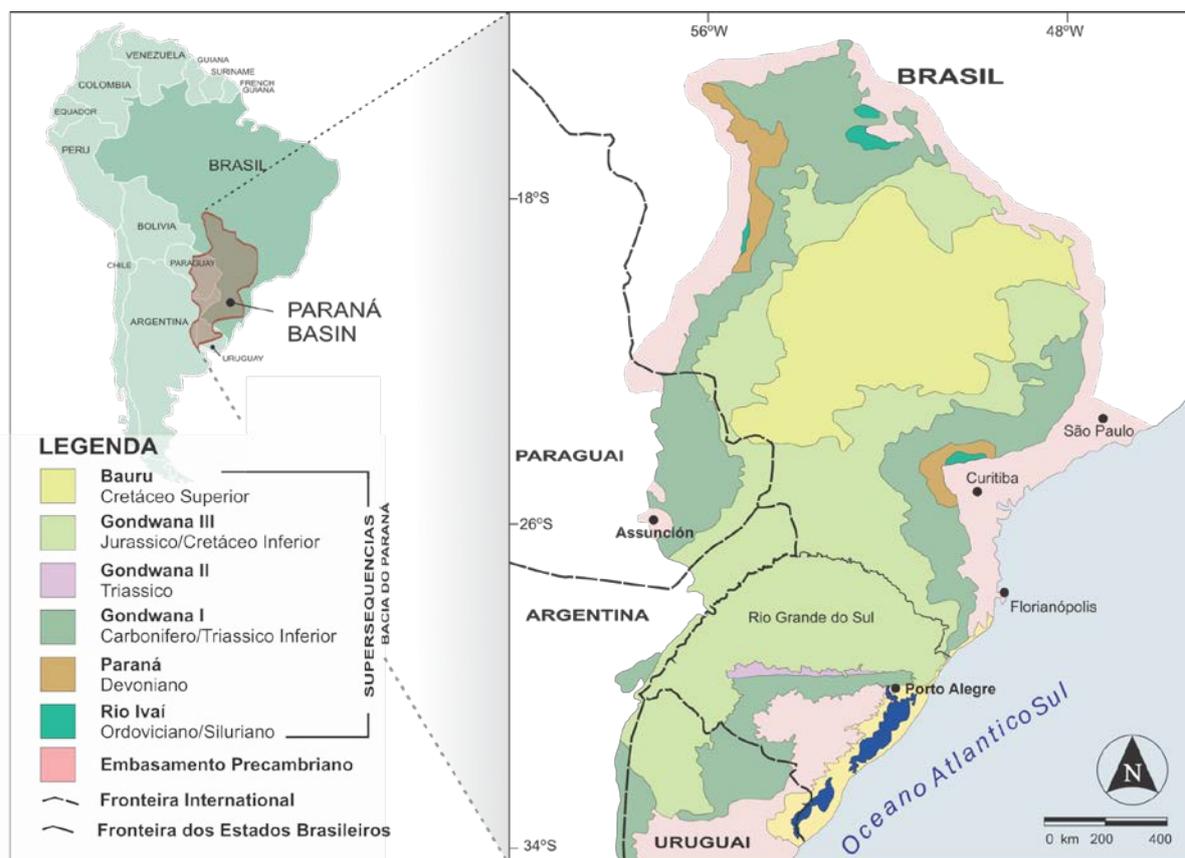


Figura 6: Mapa da Bacia do Paraná e suas Supersequências

Os pacotes basais da Formação Rio Bonito, segundo Holz (2003), foram depositados em ambiente flúvio-deltaico em uma associação de fácies composta por conglomerados e arenitos subarcosianos, com interflúvios de leito de carvão descontínuos lateralmente e argilitos. As camadas portadoras de carvão mais espessas não ultrapassam 2,5 m de espessura e comumente estão associadas a

horizontes de arenitos quartzosos e argilitos maciços e laminados. Já as associações de fácies de pacotes intermediários e de topo representam um sistema estuarino lagunar/barreira influenciado por marés e ondas (Holz, 2003). O carvão da Formação Rio Bonito apresenta uma variedade estratigráfica em suas propriedades (conteúdo maceral, distribuição de minerais e elementos e reflectância de vitrinita), principalmente quando há deposição de sedimentos marinhos na camada de carvão (Holz et al., 2002; Kalkreuth et al., 2006).

As maiores jazidas de carvão ocorrem no sul do Brasil (Figura 7), onde 89,23% das reservas situam-se no Estado do Rio Grande do Sul, 10,42% em Santa Catarina, 0,32% no Paraná e 0,03% em São Paulo. Apesar do Rio Grande do Sul ser o detentor da maior parte dessas reservas, Santa Catarina é o estado com maior exploração deste recurso, com 5.614.266 ton/ano (ABCM, 2020) de produção de carvão com uso exclusivo no território nacional e principalmente - cerca de 90% - na queima e geração de energia (ABCM, 2020).

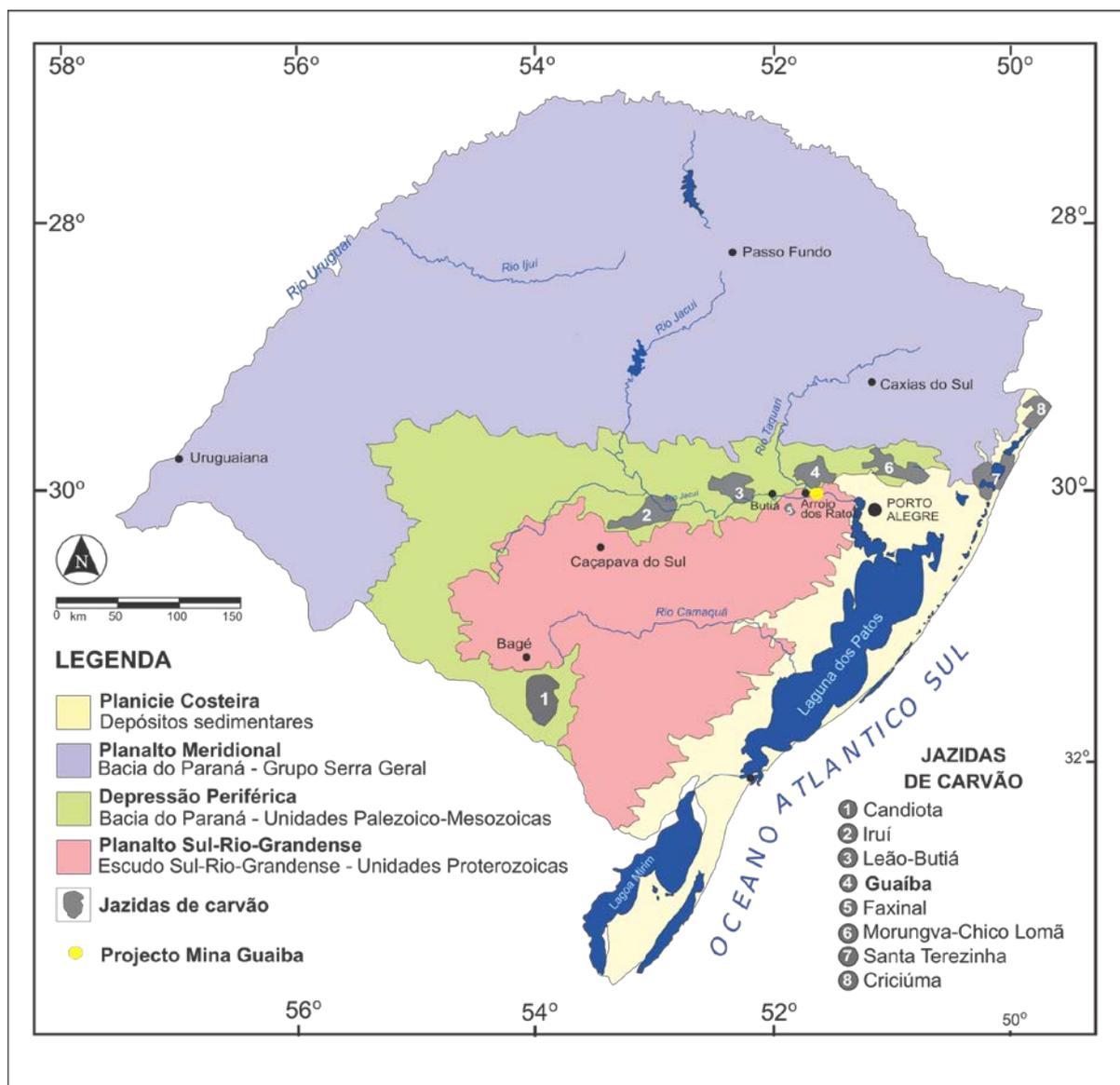


Figura 7: Distribuição das principais jazidas de carvão do Permiano na Bacia Sul do Paraná, Rio Grande do Sul.

O local de instalação do projeto de mineração da Jazida Guaíba (Figura 8) apresenta vários tipos de sensibilidades ambientais e sociais, que requerem a adoção de precauções devido aos riscos associados à contaminação dos recursos hídricos e atmosféricos. A área do projeto situa-se na planície de inundação do Rio Jacuí, a aproximadamente 1,5 km do canal. A borda norte do polígono do projeto de mineração é limítrofe com o Parque Estadual do Delta do Jacuí e está totalmente incluída na Área de Amortecimento desta Unidade de Conservação Estadual, que pertence à Reserva da Biosfera da Mata Atlântica. O Rio Jacuí é o principal afluente do Lago Guaíba, contribuindo com cerca de 80 % do volume de água do lago. Os

mananciais dessa região são responsáveis pelo abastecimento de 4,5 milhões de habitantes do aglomerado urbano metropolitano. Além do risco de desabastecimento de água desta população, a proximidade da mineração ao Rio Jacuí também confere maior dificuldade operacional ao projeto, devido ao grande volume de água a ser drenado para viabilizar em segurança a mineração a céu aberto, com cavas de 110 m de profundidade.

Na área do projeto, atualmente situam-se o um conjunto habitacional denominado Guaíba City, e pelo assentamento da reforma agrária Apolônio de Carvalho entre outros sítios agrícolas. Esses agricultores produzem a maior produção de arroz orgânico da América Latina. A leste, a área da mineração dista apenas 16 km do centro de Porto Alegre, a capital do Estado. O projeto abrange uma área de 4 mil hectares e as cavas de mineração foram projetadas para a exploração a céu aberto a 100 metros de profundidade com o objetivo de extrair 166 milhões de toneladas de carvão mineral durante um período de 23 anos. Além das vulnerabilidades ambientais, que agravam os riscos de contaminação, os mananciais hídricos encontram-se em um contexto já ambientalmente saturado da Região Metropolitana de Porto Alegre (Possanti and Menegat, 2019), onde situam-se grandes plantas da indústria petroquímica, refinaria de petróleo e oleoduto. Também situa-se nessa região plantas industriais metais-mecânicas, coureiro-calçadistas e químicas. Por fim, nessa região situam-se também duas aldeias indígenas Guarani, sendo uma delas a apenas 1,5 km do perímetro da área do projeto de mineração.

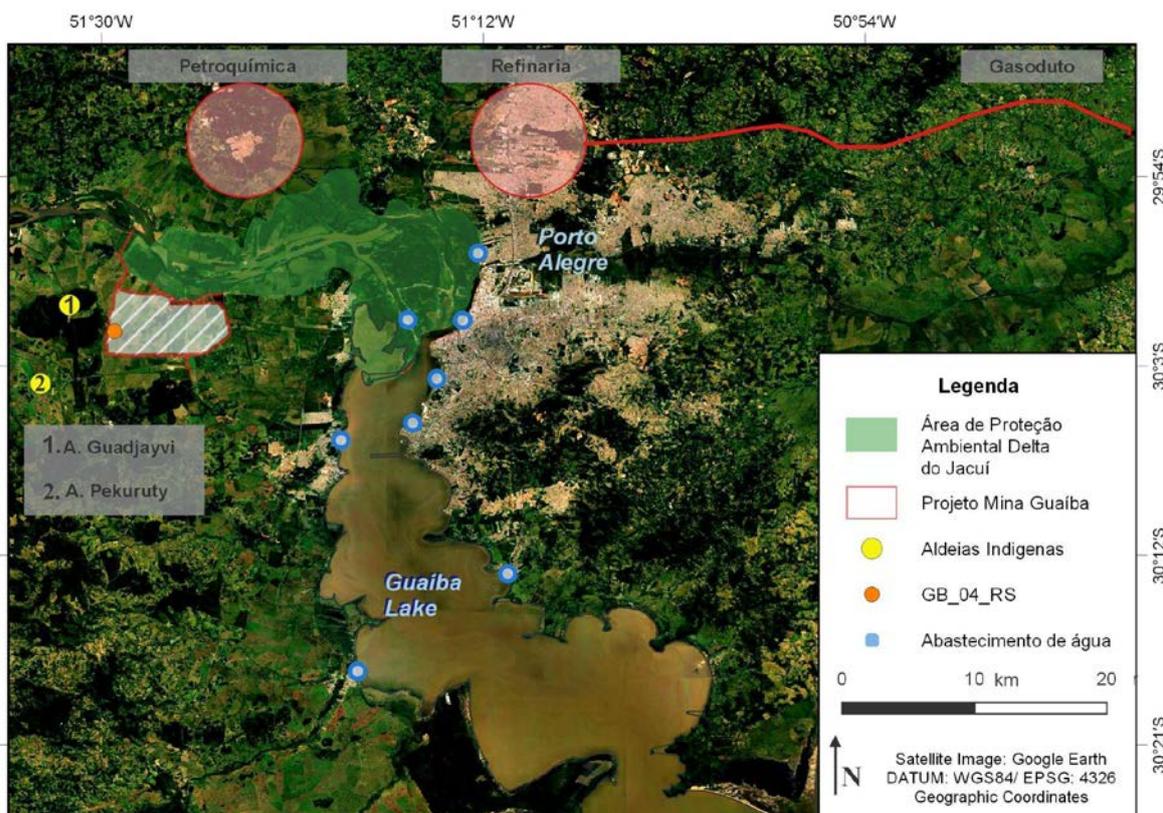


Figura 8: Localização da área do Projeto Mina Guaíba. Mapa construído a partir de dados disponíveis no processo de licenciamento ambiental, base cartográfica e imagem de satélite disponível no Google Earth.

## 1.6. Resultados

O capítulo de Enquadramento Legal dentro do Estado da Arte faz referência ao resultado do levantamento da legislação. O resultado obtido da análise dos estudos contidos no Diagnóstico Ambiental do Meio Físico do EIA/RIMA do Projeto Mina Guaíba está sistematizado no Quadro 2.

Quadro 2: Análise dos estudos contidos no EIA Rima Volume I, II e IV

<p>Vol. I Cap. 6.6. Detalhamento do Projeto - Fase de Operação. 6.6.4. Projeto Técnico do Preenchimento dos Cortes de Lavra</p>	<p>- O projeto prevê a disposição do rejeito e do siltito removido sobre uma camada de siltito "supostamente" de 40 m de espessura e "naturalmente impermeável". Segundo o estudo, até mesmo águas ácidas que possam se formar estariam controladas. O que está duplamente equivocado, pois as camadas da formação Rio Bonito não são homogêneas, mas sim, apresentam muita variação granulométrica, laminações incipientes e fraturas. E também porque, mesmo que ocorram uma camadas de 40</p>
---	--

	<p>m de siltito homogêneo, este não apresenta características impermeabilizantes capazes de conter drenagens ácidas, ou simplesmente, drenagens.</p>
<p>Vol. I Cap. 6.6. Detalhamento do Projeto - Fase de Operação. 6.6.8. Tratamento de Efluentes</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- A proposta de tratamento de efluente da lavra apresentada prevê a diluição do efluente contaminado, com a água oriunda do processo de rebaixamento, o que não eliminaria os contaminantes.</li> <li>- No dimensionamento do sistema de tratamento da ETE industrial foram considerados apenas parâmetros de contaminação por DAM (ferro, alumínio, manganês), embora no projeto esteja previsto também o tratamento do efluente doméstico;</li> <li>- Para a caracterização dos efluentes foram utilizados dados de outra Mina à 50 km do Projeto;</li> <li>- Não é apresentado um cenário de lançamento sem tratamento para um caso crítico;</li> <li>- Não é apresentado um mapa da dispersão dos poluentes no Rio Jacuí. (Pedidos de Complementação Técnica - Ofício FEPAM, 2019)</li> </ul>
<p>Volume II Cap. 7 - Definições das Áreas de Estudo</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Escolha da Área de Influência Indireta (AII) do Meio Físico definida como Bacia Hidrográfica do Baixo Jacuí, apesar do empreendimento estar localizado próximo ao exutório da Bacia Hidrográfica. AII deixou de fora áreas de extrema sensibilidade ambiental a cerca de 15 km a jusantes da área do Projeto.</li> <li>- Apesar da Bacia Hidrográfica comumente ser usada como referência de AII do Meio Físico, a definição das Áreas de Influência servem de guia para os estudos de impacto ambiental e devem ser usadas como uma hipótese a ser testada nos estudos do EIA.</li> </ul>
<p>Volume II Cap. 8 - Diagnóstico Ambiental 8.1. Meio Físico 8.1.1. Clima e Meteorologia</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Estudos realizados sobre a precipitação ignoram o aumento da precipitação concentrada na Região Sul do Brasil devido à intensificação das Mudanças Climáticas.</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Estudos da direção dos ventos na região são realizados em apenas um dia, sem um período adequado de aquisição de dados, os resultados do estudo não representam a realidade.</li> </ul>
<p>Volume II Cap. 8 - Diagnóstico Ambiental 8.1. Meio Físico 8.1.2. Qualidade do Ar</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- A Resolução CONAMA 03/1990 utilizada nos estudos foi revogada ainda em 2018 para Resolução CONAMA 491/2018 e utilizam parâmetros referenciados pelas orientações da OMS de 2015. Em 2021, a OMS lançou uma atualização nos valores orientadores para qualidade do ar. Os quais devem ser atualizado em um prazo de 24 meses para adequação à Lei da Política Nacional sobre Mudança do Clima.</li> </ul>
<p>Volume II Cap. 8 - Diagnóstico</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Não há estudos de sismicidade induzida e estudos e mapas apresentados em escala global e continental são de</li> </ul>

<p>Ambiental 8.1. Meio Físico 8.1.4. Geologia</p>	<p>pouca relevância para o caso; -As camadas adjacentes ao carvão são tratadas por siltito de forma genérica, embora pontualmente seja informando a ocorrência local de arenitos, conglomerados e paraconglomerados; - A representação das litologias é apresentada constantemente de forma genérica e induz a ideia de que as camadas são homogêneas; - Mineralogia é apresentada sem informar os métodos analíticos usados; - Análises químicas restringem-se às qualidades econômicas do minério (C, H, N, S e O) e também omitem a metodologia utilizada; - Não é apresentado análise elementar do carvão a ser minerado; -Por não incluir o Guaíba e o PE do Delta do Jacuí na All, não foram identificados Patrimônios Geológicos, ou atrativos geoturísticos na área. - A ausência de análises sobre a composição do carvão e do siltito impedem a previsão de DAM na Pilha de Estéril</p>
<p>Volume II Cap. 8 - Diagnóstico Ambiental 8.1. Meio Físico 8.1.7. Geotecnia</p>	<p>- Modelos apresentados desconsideram comportamento na lâmina d'água presente no contato entre o cascalho e pacote carbonoso, oriunda do aquífero constantemente drenado. E a previsão para estabilidade dos taludes no estudo não é confiável. (Pedidos de Complementação Técnica - Ofício FEPAM, 2019)</p>
<p>Volume II Cap. 8 - Diagnóstico Ambiental 8.1. Meio Físico 8.1.9. Ensaio de predição de Drenagem Ácida de Mina (DAM)</p>	<p>- Há um erro no método de precisão de DAM, pois considera o grande volume de areia e cascalho para diluir no cálculo de massas a acidez gerada pelo "siltito", de forma que na prática dificilmente ocorreria pela baixa reatividade da areia quartzo feldspática; - Além disso, não há previsão de disposição destes materiais de forma conjunta, visto que existe previsão de comercialização da areia e o cascalho; - Depois de apresentada a não-geração de DAM, uma das alternativas de neutralização para o caso de ela ocorrer, foi o uso das cinzas da queima do carvão. As quais podem conter enriquecimento de metais pesados; - As incoerências e distorções presentes no estudo de predição de DAM, invalidam também os cenários de disposição da pilha de bota-fora. E colocam em risco a contaminação do aquífero e do Rio Jacuí.</p>
<p>Volume IV Cap. 16. Análise, avaliação e gerenciamento de risco</p>	<p>- Não são apresentados cenários de contaminação do aquífero ou do Rio Jacuí, rompimento do dique de contenção, sismicidade, para o gerenciamento de risco e a elaboração de planos de contingência;</p>

De forma geral, os resultados da avaliação do EIA/RIMA e, principalmente do Diagnóstico Ambiental do Meio Físico, revelam que a ausência de dados relativos ao material que será extraído sob os aspectos físicos (tamanho de grão e capacidade impermeável ou não) e geoquímicos (composição química do carvão e estéril) influenciam em decisões e alternativas tecnológicas e locacionais do projeto e aumentam o risco de desastres ambientais. Outro ponto central identificado foi a definição do AII, desconsiderando áreas extremamente sensíveis a poucos quilômetros a jusante da área do projeto, tais como o Parque Estadual do Delta do Jacuí e o Lago Guaíba, conforme descrito no Capítulo 1.5 de Contexto Geológico. Além disso, foram identificados problemas metodológicos e ausência de dados e estudos relevantes.

Os resultados obtidos na segunda etapa da pesquisa encontram-se no Capítulo 3, composto do artigo submetido à revista *Journal of South American Earth Sciences*. Segue abaixo uma breve apresentação destes resultados:

- O resultado das análises de fácies do testemunho de sondagem GB-04-RS resultou na identificação de oito fácies diferentes entre pelitos, camadas portadoras de carvão e arenitos finos a grossos intercalados (Tabela 1 e Figura 9).
- As seis Associações de Fácies (AFs) (Figura 9) representam, na base, a progradação de lobos fandeltaicos, com ou sem turfeira sobreposta, em uma margem de lago. O topo das AFs é constituído pelas fácies pelíticas (M1a, M1b ou M2) que denotam a subida do nível de água do lago e representam as porções mais distais dos lobos fandeltaicos onde predominam processos de decantação pelítica.

Tabela 1: Tabela de fácies testemunho de sondagem GB 04 RS

<b>Código de Fácies</b>	<b>Descrição</b>
<b>C</b>	Camadas portadoras de carvão, cinza preto, com lâminas e lentes intercaladas de lamito e lâminas e lentes de carvão, incluindo vitrinita.
<b>M2</b>	Pelito laminado, lamito cinza escuro.
<b>M1b</b>	Pelito laminado incipiente, cinza escuro, com intraclastos esparsos ( $\phi_{\max} = 1 \text{ mm}$ ) de matéria orgânica e níveis pouco selecionados com grãos esparsos de areia média.
<b>M1a</b>	Pelito cinza muito claro, com intraclastos esparsos de matéria orgânica. Níveis centimétricos de areia grossa mal selecionada, lentes e níveis de matéria orgânica.
<b>S4</b>	Arenito laminado fino a médio incipiente, mal selecionado, cinza claro, com fragmentos de matéria orgânica.
<b>S3</b>	Arenito laminado incipiente de médio a grosso, mal selecionado, cinza claro, com níveis (0,15 cm) de arenito laminado cinza escuro.
<b>S2</b>	Arenito laminado incipiente de médio a grosso, mal selecionado, cinza claro, com níveis de arenito laminado cinza escuro e níveis de areia muito grossa.
<b>S1</b>	Arenito incipiente laminado grosso a muito grosseiro, mal selecionado, cinza claro a médio, com níveis conglomeráticos centimétricos ( $\phi_{\max} = 10 \text{ mm}$ , clastos angulares a subangulares, predominantemente feldspato e quartzo).

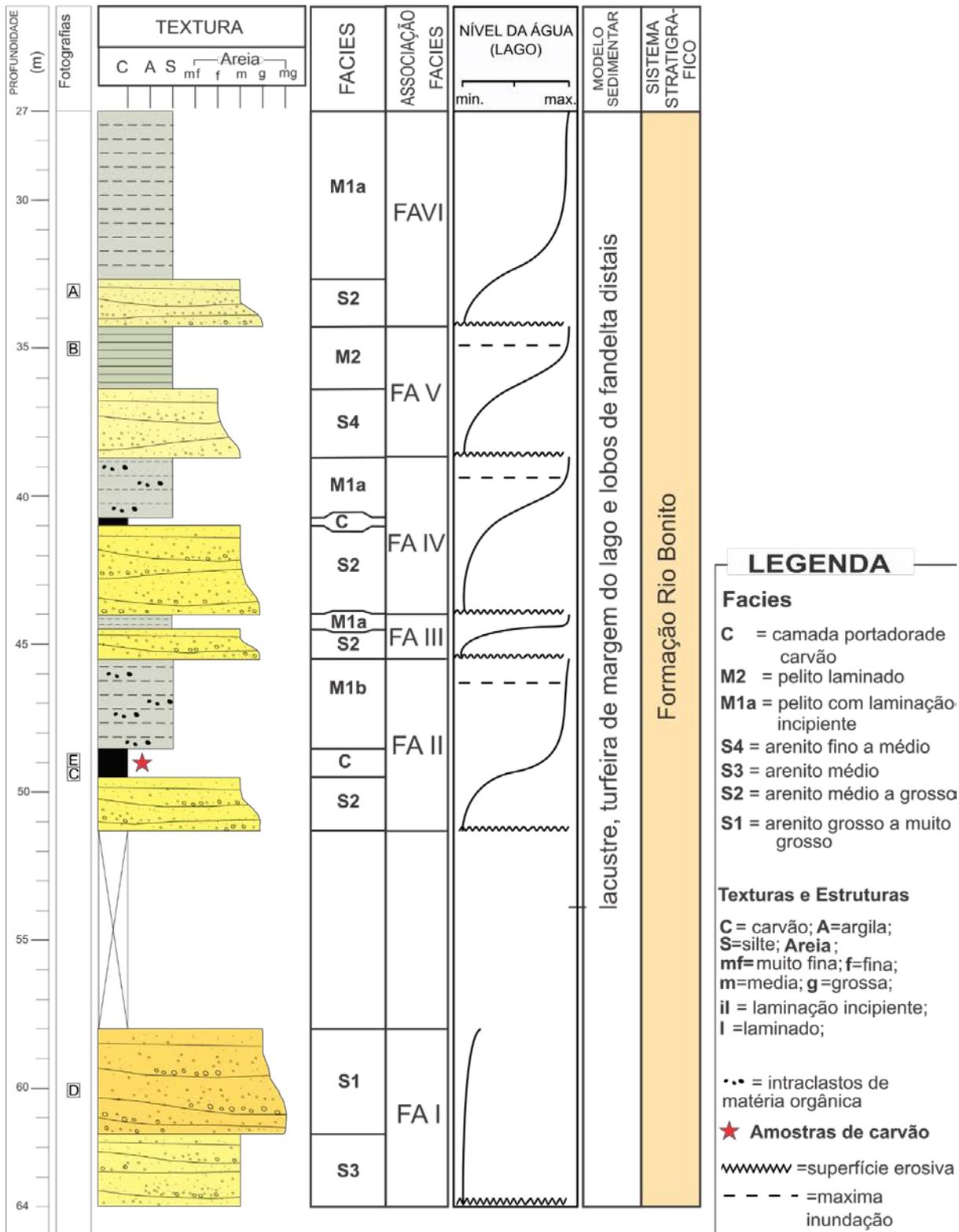


Figura 9: Fácies, associação de fácies da Formação Rio Bonito identificadas no perfil colunar do testemunho GB 04 RS.

- Macerais do grupo da vitrinite e da inertinite, como fusinitas e semifusinitas, ocorrem nas lâminas do carvão conforme análise em microscópio óptico de luz refletida (Figura 10).

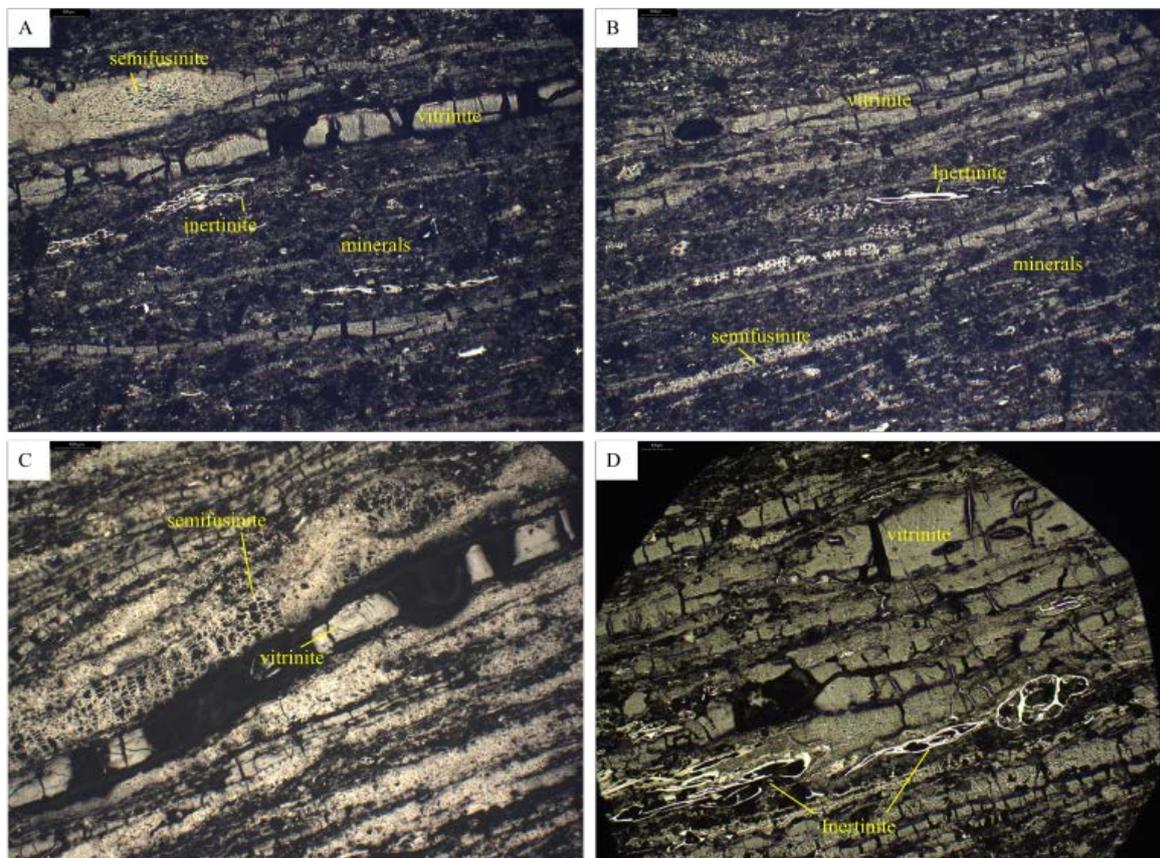


Figura 10: Fotos das amostras em microscópio óptico de luz refletida; A) fusinita, semifusinita e vitrinita na amostra C2 com aumento de 500x; B) fusinita, semifusinita e vitrinita na amostra C3 com aumento de 500x; C) fusinita, semifusinita e vitrinita na amostra C4 com aumento de 1000x; D) fusinita, semifusinita e vitrinita na amostra C3 com aumento de 500x.

- Os resultados da difração de raios X (DRX) foram concentrados no gráfico abaixo (Figura 11), no qual identificam-se a ocorrência de quartzo (Qz), caulinita (Ka), feldspato (microclínio) (F), illita (mica) (M), illita-esmectita (IS), goethita (Gt) e jarosita (Ja) sem apresentar diferenças significativas entre as amostras.

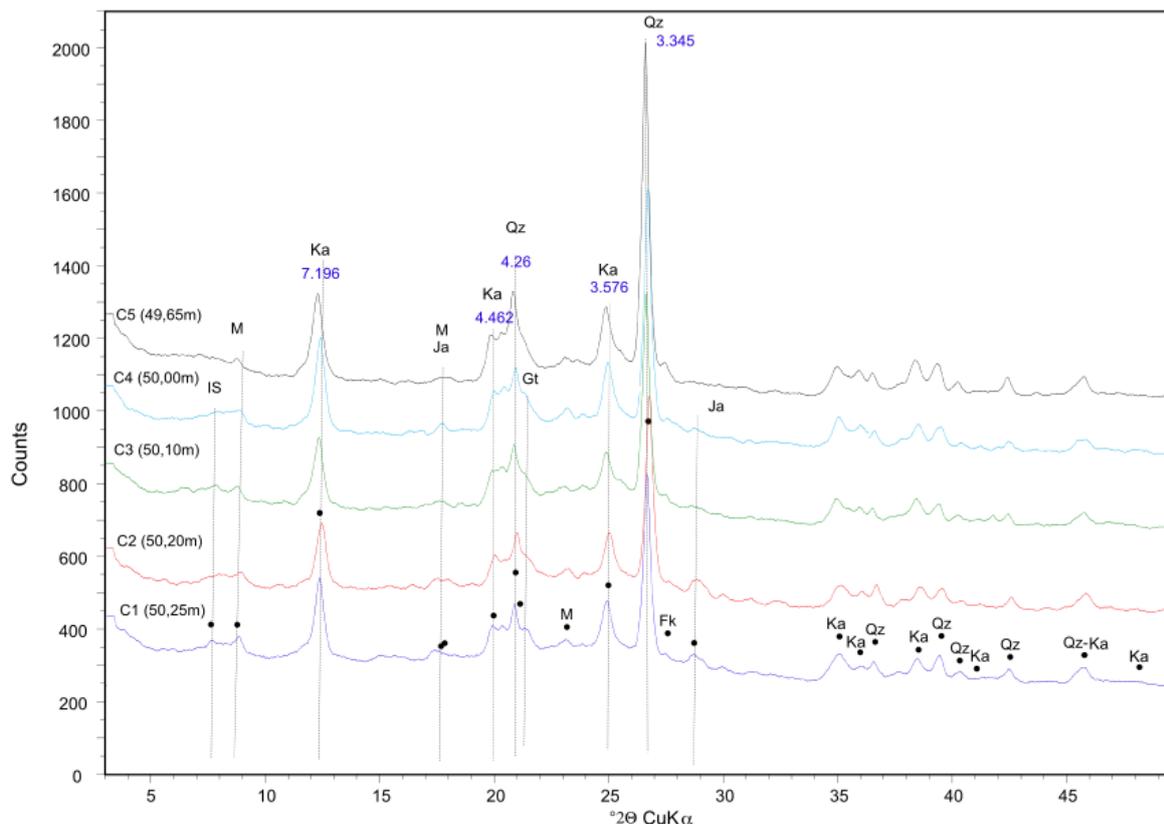


Figura 11: Difração de raios-X de rocha total das cinco amostras de carvão. Abreviaturas: Qz = Quartzo; Ka = caulinita; Gt = Goethita; M = Ilita (Mica); IS = Ilita-Esmectita; Ja = jarosita; Fk = K-feldspato e plagioclásio.

- O quartzo (Qz) observado nas imagens do MEV tem origem detrítica e corroboram a proposta de um ambiente próximo da área fonte devido a presença de grãos angulosos (Figura 12e). Os feldspatos (F) também indicam proximidade com a área fonte e ocorrem com alterações para caulinitas (Figura 12f). As piritas (Py) ocorrem de três formas principais nas lâminas de carvão: 1) como pequenos grãos associados às vitrinitas; 2) como jarosita (Ja), alteração para sulfato de ferro - estas ocorrem em textura framboidal dispersas nas amostras (Figura 12e), ou formando agregados (Figura 12C); e 3) como preenchimento de fusinitas, cuja evidência observada é a ocorrência de goethita (Gt) dentro da estrutura celular (Figura 12d). A esfalerita (Sph) também foi identificada em MEV. A caulinita (Ka) ocorre alterando os grãos de feldspatos, ou como lâminas de agregados microcristalinos de caulinita e ilita que se intercalam com os macerais.

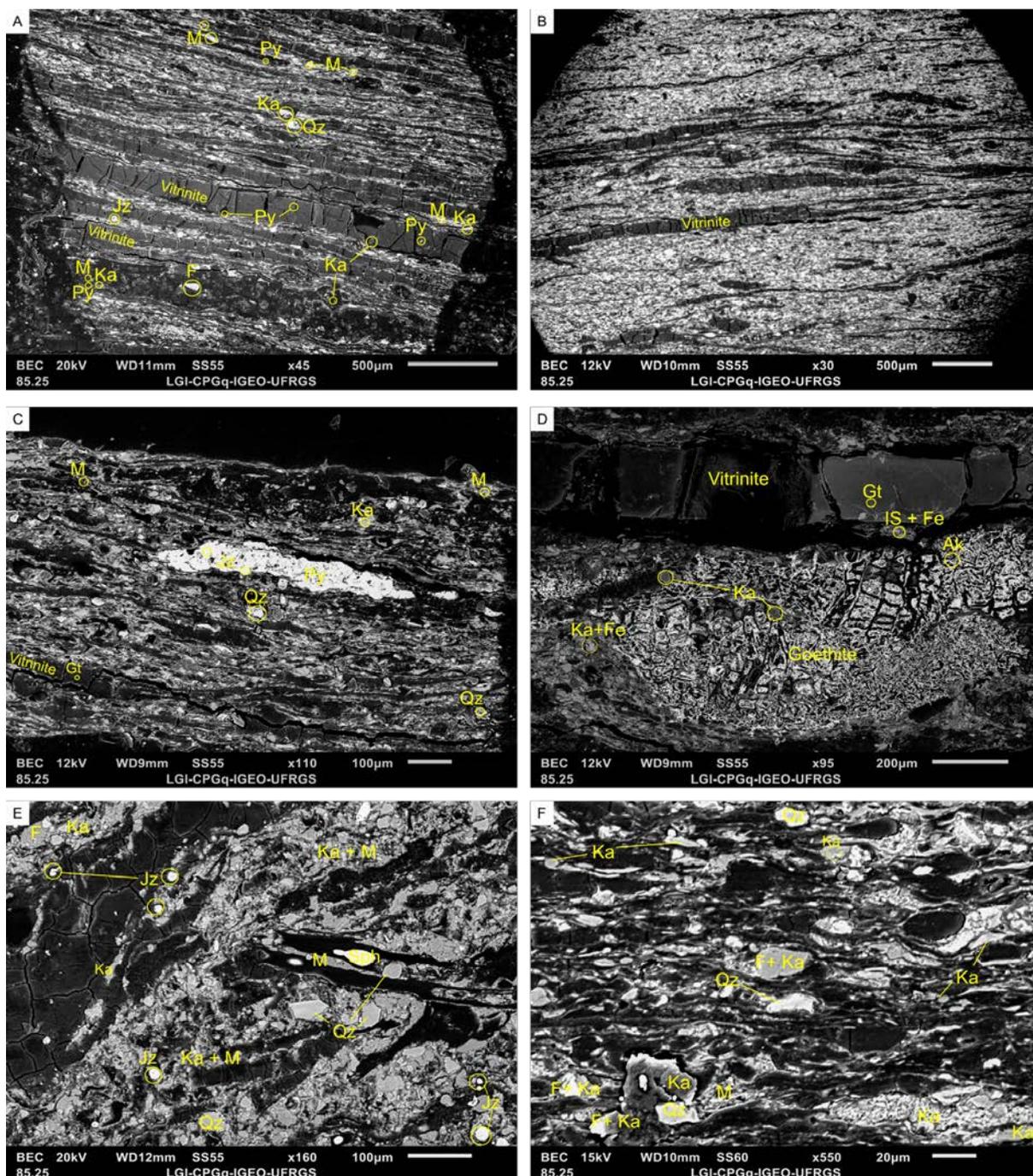


Figura 12: Imagens obtidas no MEV A) relação entre minerais e macerais na amostra C4; B) grande proporção de minerais na amostra C2; C) pirita (Py) framboidal e alteração para jarosita (Ja) na amostra C3; D) goethita (Gt) e outros minerais associados ao ferro como oxidação da pirita de preenchimento da fusinita na amostra C3; E) quartzo (Qz) detrítico anguloso, jarosita (Ja) framboidal e esfalerita na amostra C1; F) feldspatos com alterações para caulinita (F+Ka) na amostra C2.

- As análises de elementos maiores (Tabela 2) apontam um aumento dos teores de Si em direção ao topo da camada portadora de carvão. O percentual

de Si passou de 8,6% na amostra C1, na base, para 14% em C5, no topo. Inversamente, os teores percentuais dos elementos Fe e S diminuíram de 1,8 e 1,4%, respectivamente, em C1, para 0,55 e 0,48% em C5. Para o elemento Mg, as amostras apresentaram baixos teores (em torno de 0,2%) com variações insignificantes e para o Ca também observado teores baixos entre 0,1% a 0,22%, que acompanham o comportamento do Fe e do S. Os teores dos elementos maiores, determinados nas amostras da Jazida Guaíba são concordantes com os valores encontrados para as amostras de carvão do Rio Grande do Sul, de Santa Catarina, bem como da média dos carvões mundiais.

Tabela 2: Resultado da análise química dos elementos principais (%) e elementos traços ( $\mu\text{g/g}$ ) em amostras de carvão. Comparação com outros depósitos próximos e com média para carvões dos EUA e do mundo.

Elemento	Depósitos sul-brasileiros											U.S. Finkelman (1993)	Mundo Ketriss and Yudovich (2009)
	Guaíba					Candiota Pires et al. (2001)	Leão Butiá Kalkreuth et al. (2006)	Santa Terezinha	RS	SC Kalkreuth et al. (2010)			
	C1	C2	C3	C4	C5								
Elementos maiores (%)													
Si	8,6	8,3	9,7	11	14	nd	33,26	29,69	29,52	29,54	31,39	5,8	8,47
Fe	1,6	1,8	1,2	0,72	0,55	2,01	3,46	5,83	4,18	4,21	6,92	1,9	4,85
Ca	0,1	0,1	0,12	0,09	0,22	0,42	0,55	1,09	1,69	1,02	0,65	0,64	1,23
Mg	0,21	0,2	0,25	0,2	0,2	0,21	0,47	0,29	0,51	0,41	0,39	0,18	0,22
S	1,4	1,4	0,86	0,61	0,48	0,96	1,72	2,15	3,43	2,28	3,1	nd	nd
Elementos traços ( $\mu\text{g/g}$ )													
As	99	130	47	14	8,8	4,4	9,9	26,3	17,5	16,9	28	24	8,3
Be	<0,8	<0,8	<0,8	<0,8	<0,8	2,7	6,2	5,3	4,6	5,5	3,9	2,2	1,6
Cd	0,88	1	0,61	0,21	0,36	0,1	0,1	0,2	0,4	0,3	0,2	0,5	0,22
Co	41	42	28	6,1	5,1	10	9,3	14,5	13	11,9	15,7	6	5,1
Cr	42	53	49	39	46	25,9	35,5	43,1	43,7	40,2	54,5	15	16
Cu	23	25	62	29	28	20,1	12,3	17,1	19,2	16	25,9	16	16
Hg	0,18	0,22	0,22	0,05	0,08	0,06	0,14	0,31	0,13	0,19	0,46	0,17	0,10
Li	33	39	16	17	38	14	20,8	61,8	43	39,2	59,3	16	12
Ni	99	99	60	23	17	17,1	15,5	23,3	33	23,9	30	14	13
Pb	22	46	44	15	26	20,5	14	42,6	33,7	28,2	58	11	7,8
Sb	7,1	7,2	4,6	3,8	2,6	0	0,9	1,6	2,8	1,7	1,3	1,2	0,92
Se	1,7	2,6	2,9	0,96	0,96	nd	1,5	2,7	2,2	2	2,1	2,8	1,3
Tl	1,3	2,2	1,2	0,84	0,98	0,7	1	2,9	1,4	1,7	4,6	1,2	0,63
U	2,8	3,1	2,1	3	3,3	3,3	4,2	4,9	11,2	6,5	7,4	2,1	2,4
V	80	95	112	84	69	59,7	55,8	74,5	90,3	71,7	99,6	22	25

Elemento	Depósitos sul-brasileiros											U.S.	Mundo
	Guaíba					Candiota		Leão Butiá	Santa Terezinha	RS	SC		
	C1	C2	C3	C4	C5	Pires et al. (2001)	Kalkreuth et al. (2006)		Kalkreuth et al. (2010)	Finkelman (1993)	Ketris and Yudovich (2009)		
Elementos maiores (%)													
Si	8,6	8,3	9,7	11	14	nd	33,26	29,69	29,52	29,54	31,39	5,8	8,47
Zn	626	743	294	30	109	85,1	75,4	55,3	92	74,8	84,9	53	23
Ba	130	141	122	145	215	152,3	122,93	118,38	142,81	nd	454,2	170	150
F	281	314	300	140	166	nd	nd	nd	nd	nd	nd	98	88
Sr	60	22	54	45	94	41,8	78,70	133,22	207,49	nd	68,7	130	110

nd, sem dados

Be - abaixo do limite de detecção

- Em comparação com a média dos carvões do mundo (Ketris e Yudovich, 2009), um grande número de elementos traços ocorre enriquecido nos carvões da jazida Guaíba (Tabela 2; Figura 13). Os elementos traços com valores do coeficiente de concentração (CC = razão entre a concentração do elemento no carvão da jazida Guaíba e a média dos carvões do mundo)  $CC > 10$  incluem apenas As e Zn. Os elementos traços com um CC entre 5–10 incluem Co, Ni, Pb e Sb. Muitos outros elementos, incluindo Cd, Cr, Cu, Li, Tl, V e F são levemente enriquecidos no carvão (CC = 2-5). As concentrações dos elementos Be, Hg, Se, U e Ba ( $0,5 < CC < 2$ ), estão próximas da média dos carvões do mundo. No entanto, o Sr ocorre empobrecido no carvão ( $CC < 0,5$ ).

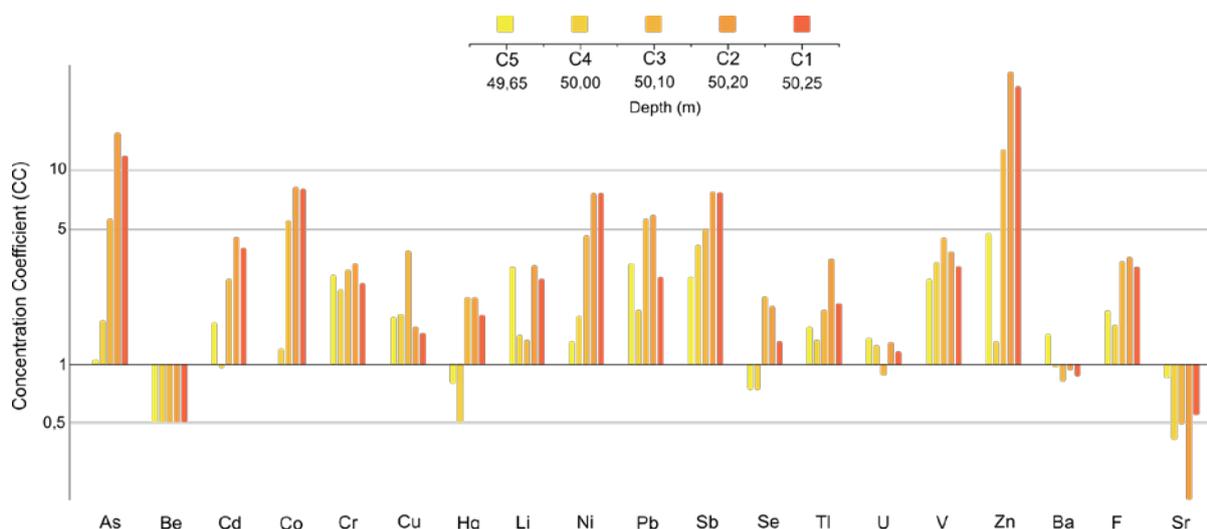


Figura 13: Gráfico em escala logarítmica do Coeficiente de Concentração (CC), usando a concentração média mundial para carvões (Ketriss e Yudovich, 2009) como background.

Uma apresentação mais detalhada dos resultados obtidos na segunda etapa da metodologia encontra-se descrito no artigo (Capítulo 3). Da mesma forma, as discussões também estão descritas no artigo.

### 1.7. Conclusões

A avaliação feita dos estudos presentes - e ausentes - no Diagnóstico Ambiental do Meio Físico do EIA/RIMA do Projeto Mina Guaíba associada ao recorte feito na legislação ambiental demonstrou que há carência de técnicas e de informações essenciais para a compreensão do impacto decorrente da mineração. Contudo, a evolução da legislação ambiental vem, sistematicamente facilitando o licenciamento, através de sutis flexibilizações, ou criando políticas de incentivo a determinados setores. São exemplos a Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) nº 355/17, que retirou da resolução anterior a necessidade de apresentação da composição dos efluentes a serem lançados, e a Lei nº 15047, que cria a Política Estadual do Carvão Mineral no Estado do Rio Grande do Sul sem passar por um amplo debate público.

Na segunda etapa da pesquisa, as análises de fácies e associações de fácies da GB 04 RS mostram que as camadas carboníferas se formaram na margem de um sistema lacustre em uma zona costeira, com alguma influência marinha. As fácies que recobrem as camadas carboníferas, arenitos grosseiros a

finos, mal selecionados, indicam que as turfeiras progrediram em fandelts quando o nível da água lacustre estava baixo. A fácies pelítica laminada ou laminada incipiente sobrejacente às camadas carboníferas indica a elevação do nível da água do lago.

O carvão analisado é enriquecido em elementos químicos. A concentração dos elementos As e Zn é dez vezes maior que a média mundial, enquanto a dos elementos Co, Ni, Pb e Sb é cinco vezes, e a de Cd, Cr, Cu, Li, Tl, V e F é 2 a 5x. Os elementos Be, Hg, Se, U e Ba estão na média e Sr abaixo da média.

O teor total de enxofre é de 1,4%, indicando que houve alguma influência marinha no sistema lacustre. A pirita ocorre como pequenos cristais isolados associados à vitrinita ou como alterações. Sua principal ocorrência é como alteração da jarosita framboidal e como goethitas de carga no lúmen de fusinitas e semifusinitas, como produto da oxidação de uma pirita de carga.

O impacto causado pela mineração do carvão da Jazida Guaíba apresenta alto risco de contaminação do solo e da água na região devido à mobilização de metais pesados no complexo sistema hídrico que circunda a área do projeto. Os seguintes fatores contribuem para este cenário: 1) a condição natural de concentrador de partículas finas e contaminantes do Delta do Jacuí e Lago Guaíba, a jusante da área de mineração; 2) a umidade intensa da várzea onde o projeto pretende ser instalado; 3) os altos níveis observados para elementos associados a graves problemas de saúde, como As, Zn e F, especialmente As e Zn, cujos níveis foram observados acima de 10 vezes a média mundial para o carvão; e 4) as ligações químicas mais fracas entre os metais, matéria orgânica e argilas, devido à oxidação dos sulfetos originalmente presentes nas amostras analisadas.

Com base nos dados apresentados sobre o contexto do carvão no Brasil e no Rio Grande do Sul, sugere-se que a Política Estadual do Carvão Mineral deve passar por estudos de impacto socioeconômico e ambiental para o estado, assim como precisa apresentar caminhos para a transição e para a recuperação ambiental nos territórios que dependem economicamente desta atividade. Devido a grande heterogeneidade conferida ao carvão mineral e aos resultados apresentados nesta pesquisa, propomos a revisão da Resolução CONSEMA nº 355/17.

## Referências

Associação Brasileira de Carvão Mineral (ABCM), 2020. Dados Estatísticos. p.9 (in Portuguese). Disponível na internet em 7 de Agosto de 2022: [https://www.siecesc.com.br/dados\\_estatisticos](https://www.siecesc.com.br/dados_estatisticos).

Brazilian Energy Balance 2021 Year 2020 / Empresa de Pesquisa Energética – Rio de Janeiro: EPE, 2021. 292 p. Disponível na internet em 16 de Julho de 2022: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-2021>

Cazzulo-Klepzig, M., Guerra-Sommer, M., Formoso, N.L., Calarge, L.M, 2002. Geochemical and Palynological evidence for the age determination of Permian coals, Southern Brazil Journal of South American Earth Sciences, 15 (2), 375-380. [https://doi.org/10.1016/S0895-9811\(02\)00042-1](https://doi.org/10.1016/S0895-9811(02)00042-1)

COPELMI Minerações LTDA/TetraTech/ ABG Engenharia e Meio Ambiente, 2018. EIA/RIMA– Estudo de Impacto Ambiental e Relatório de Impacto Ambiental da Mina Guaíba. Tetra Tech/ AGB Engenharia e Meio Ambiente. 8 vol. Disponível na internet em 7 de Agosto de 2022: <http://copelmi.com.br/eia-rima-mina-guaiba/>

EPA Environmental Protection Agency, 2011. Questions and Answers on Fluoride. EPA-Office of Water, 10p. Disponível na internet em 7 de Agosto de 2022: <https://www.epa.gov/>.

Ofício. FEPAM/DMIN-OFGSOL nº 02696 / 2019 - Disponível no processo SOL nº. 6354-05.67/18-1 em: <http://www.fepam.rs.gov.br/eia-mina-guaiba/>

Finkelman, R.B., Palmer, A.C., Wang P., 2018. Quantification of the modes of occurrence of 42 elements in coal. International Journal of Coal Geology. 185, 138-160. <https://doi.org/10.1016/j.coal.2017.09.005>

Finkelman, R.B., Dai, S., French, D., 2019. The importance of minerals in coal as the hosts of chemical elements: A review. International Journal of Coal Geology. 212, 103-251. <https://doi.org/10.1016/j.coal.2019.103251>

FREIRIA, Rafael Costa., 2015. Aspectos históricos da legislação ambiental no Brasil: da ocupação e exploração territorial ao desafio da sustentabilidade. História e Cultura, v. 4, n. 3, p. 156-179.

Guerra-Sommer, M., Marques-Toigo, M., Corrêa da Silva, Z.C, 1991. Original biomass and coal deposition in Southern Brazil (Lower Permian, Paraná Basin). Bulletin de la Société Géologique de France, Paris. 162, 227-237.

Guerra-Sommer, M., Cazzulo-Klepzig, M., Menegat, R., 2001. Roof-shale floras in Early Permian southern Brazilian Gondwana: evidences of the icehouse waning. Contributions to Geology and Palaeontology of Gondwana in honour of Helmut Wopfner. In: Weiss, R.H. (Ed.), 231–251.

Guerra-Sommer, M., Cazzulo-Klepzig, M., Formoso, M.L.L., Menegat, R., Fo, J.G.M., 2008. U–Pb dating of tonstein layers from a coal succession of the southern Paraná Basin (Brazil): A new geochronological approach. Gondwana Research. 14, 474-482. <https://doi.org/10.1016/j.gr.2008.03.003>.

Guerra-Sommer, M., Cazzulo-Klepzig, M., Menegat, R., Formoso, M.L.L., Basei, M.A.S., Barboza, E.G., Simas, M.W., 2008. Geochronological data from the Faxinal coal succession, southern Paraná Basin, Brazil: A preliminary approach combining radiometric U-Pb dating and palynostratigraphy. Journal of South American Earth Sciences. 25, 246-256. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2007.06.007>.

Guerra-Sommer, M., Cazzulo-Klepzig, M., Menegat, R., Santos, J.O.S., 2011. Radiometric Ages from Tonsteins and Geochronological Datum for the Early Permian Coal Succession in Southern Paraná Basin, Brazil. In: Veress, B., Szigethy, J., Horizons in Earth Science Research. 5, cap. 15.

HUDSON-EDWARDS, Karen A.; JAMIESON, Heather E.; LOTTERMOSER, Bernd G., 2011. Mine wastes: past, present, future. Elements, v. 7, n. 6, p. 375-380.

Holz, M., Kalkreuth, W., Banerjee, I., 2002. Estratigrafia de sequência de estratos de carvão parálico: uma visão geral. International Journal of Coal Geology. 48, 147-179. [https://doi.org/10.1016/S0166-5162\(01\)00056-8](https://doi.org/10.1016/S0166-5162(01)00056-8)

Holz, M., 2003. Sequence stratigraphy of a lagoonal estuarine system—an example from the lower Permian Rio Bonito Formation, Paraná Basin, Brazil. Sedimentary Geology. 162, 305-331. [https://doi.org/10.1016/S0037-0738\(03\)00156-8](https://doi.org/10.1016/S0037-0738(03)00156-8)

International Energy Agency (IEA), 2021. Phasing Out Unabated Coal: Current Status and Three Case Studies, IEA, Paris. Disponível na internet em 30 de Agosto de 2022: <https://www.iea.org/reports/phasing-out-unabated-coal-current-status-and-three-case>

Jamieson, H. E. 2011. Geochemistry and Mineralogy os Solid Mine Wastes: Essential Knowledge for Predicting Environmental Impact. Int. Elements, Vol. 7, pp. 381–386.

Jasper, A., Menegat, R., Guerra-Sommer M., Cazzulo-Klepzig M., Souza, P. A., 2006. Depositional cyclicity and paleoecological variability in an outcrop of Rio Bonito formation, Early Permian, Paraná Basin, Rio Grande do Sul, Brazil. Journal of South American Earth Science. 21, 276-293. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2006.05.002>

Kalkreuth, W., Holz, M., Kern, M., Machado, G.A., Silva, M. B., Willett, J., Mexias A., Finkelman, R., Burger, H., 2006. Petrology and chemistry of Permian coals from the Paraná Basin: 1. Santa Terezinha, Leão-Butiá and Candiota Coalfields, Rio Grande do Sul, Brazil. *International Journal of Coal Geology*. 68, 79-116. <https://doi.org/10.1016/j.coal.2005.10.006>

Kalkreuth, W., Holz, M., Mexias, A., Balbinot, M., Levandowski, J., Willett, J., Finkelman, R., Burger, H., 2010. Depositional setting, petrology and chemistry of Permian coals from the Paraná Basin: 2. South Santa Catarina Coalfield, Brazil. *International Journal of Coal Geology*. 84, 213-236. <https://doi.org/10.1016/j.coal.2010.08.008>

Ketris, M. P., Yudovich, Ya. E., 2009. Estimations of Clarkes for Carbonaceous biolithes: World averages for trace element contents in black shales and coals. *International Journal of Coal Geology*. 72, ed.2, 135-148. <https://doi.org/10.1016/j.coal.2009.01.002>

Milani, E.J., Melo, J.H.G., Souza, P.A., Fernandes, L.A., França, A.B., 2007. Bacia do Paraná. B. Geoci. Petrobras, Rio de Janeiro, 15 (2), 265-287.

Natusch, D.F.S. Wallace, J.R., Evans Jr, C.A., 1974. Toxic Trace Elements: Preferential Concentration in Respirable Particles. *Science*. 183, 202-204. DOI: 10.1126/ciência.183.4121.202.

Pires, M., Querol, X., Teixeira, E.C., 2001. Caracterização do carvão de Candiota e suas cinzas. *Geochimica Brasiliensis*. 15, 113-130.

Possantti, I., Menegat, R., 2019. Sobre a importância estratégica do Rio Jacuí no planejamento de recursos hídricos da região de Porto Alegre e problemas associados ao projeto Mina Guaíba. In: Prates, C.D., Raguse, E., Alt, J.P., Fleury, L.C., (org). *Painel de Especialistas: análise crítica do Estudo de Impacto Ambiental da Mina Guaíba*. 1, 15-30. Disponível na internet em 7 de Agosto de 2022: <https://rsemrisco.org.br/>.

Prates, C.D., Raguse, E., Alt, J.P., Fleury, L.C., (org). *Painel de Especialistas: análise crítica do Estudo de Impacto Ambiental da Mina Guaíba*. 1, 240p. Disponível na internet em 7 de Agosto de 2022: <https://rsemrisco.org.br/>.

SÁNCHEZ, Luis Enrique., 2020. *Avaliação de impacto ambiental: conceitos e métodos*. São Paulo: Oficina de textos, 3 ed.

Simas, M.W., Guerra-Sommer, M., Cazzulo-Klepzig, M., Menegat, R., Santos, J.O.S., Ferreira, J.A.F., Degani-Schmidt, I., 2012. Geochronological correlation of the main coal interval in Brazilian Lower Permian: Radiometric dating of tonstein and calibration of biostratigraphic framework. *Journal of South American Earth Sciences*. 39, 1-15. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2012.06.001>.

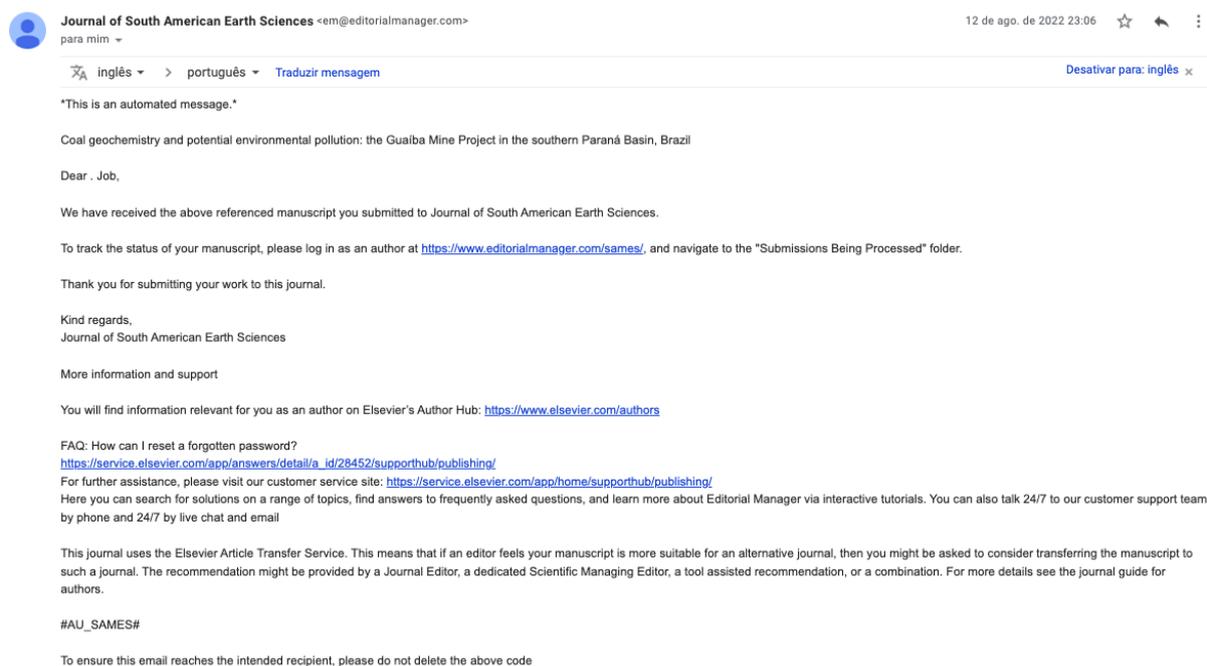
Thomas, L., 2020. Coal Geology. Wiley-Blackwell, 3 ed, 513 p.

Walker, R.G., James, N.P., 1992. Facies models—response to sea level change. St. John Newfoundland, Geological Association of Canada, 409 p.

Ward C.R., 2016. Analysis, Origin and Significance of Mineral Matter in Coal: An updated review. International Journal of Coal Geology. 165, 1-27.  
<https://doi.org/10.1016/j.coal.2016.07.014>

## 2. ARTIGO

O artigo **“Coal geochemistry and potential environmental pollution: the Guaíba Mine Project in the southern Paraná Basin, Brazil”** foi submetido na Revista Journal of South American Earth Science, qualis A3 em 12 de agosto de 2022. O comprovante de submissão, recebido por email e o corpo do artigo seguem abaixo.



**Journal of South American Earth Sciences** <em@editorialmanager.com>  
para mim ▾

12 de ago. de 2022 23:06 ☆ ↶ ⋮

🌐 inglês ▾ > português ▾ Traduzir mensagem Desativar para: inglês ×

\*This is an automated message.\*

Coal geochemistry and potential environmental pollution: the Guaíba Mine Project in the southern Paraná Basin, Brazil

Dear . Job,

We have received the above referenced manuscript you submitted to Journal of South American Earth Sciences.

To track the status of your manuscript, please log in as an author at <https://www.editorialmanager.com/sames/>, and navigate to the "Submissions Being Processed" folder.

Thank you for submitting your work to this journal.

Kind regards,  
Journal of South American Earth Sciences

More information and support

You will find information relevant for you as an author on Elsevier's Author Hub: <https://www.elsevier.com/authors>

FAQ: How can I reset a forgotten password?  
[https://service.elsevier.com/app/answers/detail/a\\_id/28452/supporthub/publishing/](https://service.elsevier.com/app/answers/detail/a_id/28452/supporthub/publishing/)  
 For further assistance, please visit our customer service site: <https://service.elsevier.com/app/home/supporthub/publishing/>  
 Here you can search for solutions on a range of topics, find answers to frequently asked questions, and learn more about Editorial Manager via interactive tutorials. You can also talk 24/7 to our customer support team by phone and 24/7 by live chat and email

This journal uses the Elsevier Article Transfer Service. This means that if an editor feels your manuscript is more suitable for an alternative journal, then you might be asked to consider transferring the manuscript to such a journal. The recommendation might be provided by a Journal Editor, a dedicated Scientific Managing Editor, a tool assisted recommendation, or a combination. For more details see the journal guide for authors.

#AU\_SAMES#

To ensure this email reaches the intended recipient, please do not delete the above code

## **Coal geochemistry and potential environmental pollution: the Guaíba Mine Project in the southern Paraná Basin, Brazil**

**Authors:** J. M. Job<sup>1</sup>, R. Menegat<sup>2</sup>, M. L. Vignol-Lelarge<sup>3</sup>, N. Dani<sup>4</sup>.

1. Graduate Program in Geosciences (PPGeo-UFRGS), Federal University of Rio Grande do Sul, 91501-970 Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brazil.

2. Department of Paleontology and Stratigraphy, Institute of Geosciences, Federal University of Rio Grande do Sul, 91501-970 Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brazil.

3. Laboratory of Isotopic Geology (LGI), Center for Studies in Petrology and Geochemistry (CPGq), Institute of Geosciences, Federal University of Rio Grande do Sul, 91501-970 Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brazil.

4. Laboratory of Chemical Analysis of Rocks (LAQR), Center for Studies in Petrology and Geochemistry (CPGq), Institute of Geosciences, Federal University of Rio Grande do Sul, 91501-970 Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brazil.

### **Abstract:**

Geochemical studies of coal mining projects in Environmental Impact Studies (EIA) are restricted to the economic characterization of the mineral resource, which causes a gap in the reading and dimensioning of the potential impact caused by the exploration. A set of analytical techniques were carried out with the general objective of measuring the potential impact of the possible exploitation of coal from the Guaíba deposit, southernmost Brazil. The results indicate coal deposition in a lacustrine environment with significant continental contribution from a fandelta and with little marine influence. Most of the analyzed chemical elements present high contents in the samples in comparison with world average. These elements become more easily available to the environment when associated with organic matter and clay minerals than sulfides. The elements As, Zn and F are the most critical due to their enrichment (>10 times for As and Zn) and the potential impact on human health.

**Keywords:** Coal, Guaíba coalfield, arsenic enrichment, Rio Bonito Formation, environmental impact

## 1. Introduction

Coal mining has global relevance. Coal was of great importance for the technological development of post-industrial revolution civilization. However, after 200 years of exploitation, the environmental and social liabilities produced by this activity still have repercussions in large degraded and contaminated areas, mainly in countries without alternatives to the generation of thermoelectric energy. Explosions, landslides, induced seismicity, acid drainage, contamination by heavy metals in soil and groundwater, atmospheric emission of gases that are harmful to human health, such as CO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub> and fine particulate matter are examples of impact of this activity.

In Brazil, coal mining began in the 19th century in the southern states of Santa Catarina and Rio Grande do Sul. Currently, the activity has little relevance in the national energy matrix – 4.9% (EPE, 2021). On the other hand, in some places which historically exploit this resource, the environmental consequences due to the activities of the coal sector still have repercussions. The expanding scenario of exploration and burning of mineral coal in thermoelectric plants in southern Brazil, with the proposal of new exploration projects. Expansion occurs even in the light of restrictive recommendations for the use of this energy source by The Glasgow Climate Pact (COP26, 2021).

Numerous gaps are observed in the characterization of coal as described in environmental impact studies presented by new mining projects, even in common technical topics. Geochemical studies, for example, are restricted to the economic characterization of the mineral resource. This restriction causes a gap in the reading and dimensioning of the potential impact caused by the exploitation of a coal deposit. In this sense, guidelines are lacking on the part of environmental licensing bodies to guide more precisely the parameters that matter to dimension the potential impacts, using geochemical knowledge. To advance this objective, the Mina Guaíba Project, Metropolitan Region of Porto Alegre, southern Brazil, was selected for the present analysis, because it is located in an environmentally and socially sensitive region. The region is part of a highly vulnerable environment, situated less than 2 km from the main water resource for 4.5 million people. These factors require a well-dimensioned project regarding the impacts.

Although the coal deposits of southern Brazil are included in the Rio Bonito Formation of the Paraná Basin, they are heterogeneous geochemically and compositionally. This is due to both environmental and temporal differences in their formation, which occurred in intervals of time spaced as much as 10 Ma. These regional differences in coal formation were considered adequate to show the diversified potential impact. Therefore, precise geochemical analyses are required for each deposit. In addition to the environmental sensitivity of the purported installation site of the Guaíba mining project, there is a lack of geochemical studies related to it in the literature. This characterization is also absent from the Environmental Impact Study of the mining project submitted to the environmental agency of the State of Rio Grande do Sul. Thus, the objective of this investigation is to dimension the potential impact of the possible exploitation of this coal deposit. Geochemical characterization was made by application of a set of analytical techniques. The choice of techniques was based on the production of data related to the potential impact on the environment and human health derived from the composition of coal. For this, samples were analyzed of drilling cores from the Guaíba deposit belonging to the collection of the Geological Survey of Brazil (CPRM). Facies analyses were performed on the cores. Samples were submitted to X-Ray Diffraction (XRD) analysis, Mass Spectrometry (ICP-OES and ICP-MS), and chemical analysis and Scanning Electron Microscope (SEM) imaging.

## **2. Geological and environmental setting**

Coal in southern Brazil occurs in the Rio Bonito Formation, a Permian sedimentary unit of the Paraná Basin (Figure 1). The thick volcano-sedimentary package of this basin is structured in six depositional supersequences (Milani et al., 2007); the Rio Bonito Formation belongs to the Gondwana Supersequence I. This formation has been described as constituted by a succession of packages alternating dominantly sandy and some pelitic rocks. The sediments resulted from a transgressive post-glacial event in the Artinskian-Kungurian (Guerra-Sommer et al., 1991, Guerra-Sommer et al., 2001;Cazzulo-Klepzig et al., 2002; Milani et al., 2007; Guerra-Sommer et al., 2008a; Guerra-Sommer et al., 2011; Simas et al., 2012).

The basal packages of the Rio Bonito Formation (Holz, 2003) were deposited in a fluvio-deltaic environment in a facies association composed of conglomerates and

subarcose sandstones, with laterally discontinuous coal bed interfluvial and claystones. The thickest coal-bearing layers (<2.5 m thick) are commonly associated with horizons of quartz sandstones and massive and laminated mudstones. On the other hand, the intermediate and top facies associations are a lagoon/barrier estuarine system influenced by tides and waves (Holz, 2003). The coal of the Rio Bonito Formation presents a stratigraphic variety (maceral content, distribution of minerals and elements and vitrinite reflectance). The variety is more pronounced with marine sediments intercalated with the coal bed (Holz et al., 2002; Kalkreuth et al., 2006).

The largest coal deposits occur in southern Brazil – 89.23% in the state of Rio Grande do Sul, 10.42% in Santa Catarina, 0.32% in Paraná and 0.03% in São Paulo. Rio Grande do Sul has the largest volume reserves, but Santa Catarina has the greatest exploitation (5,614,266 t/year; ABCM, 2020). Coal is used exclusively in the national territory and mainly – about 90% – in burning for energy generation (ABCM, 2020).

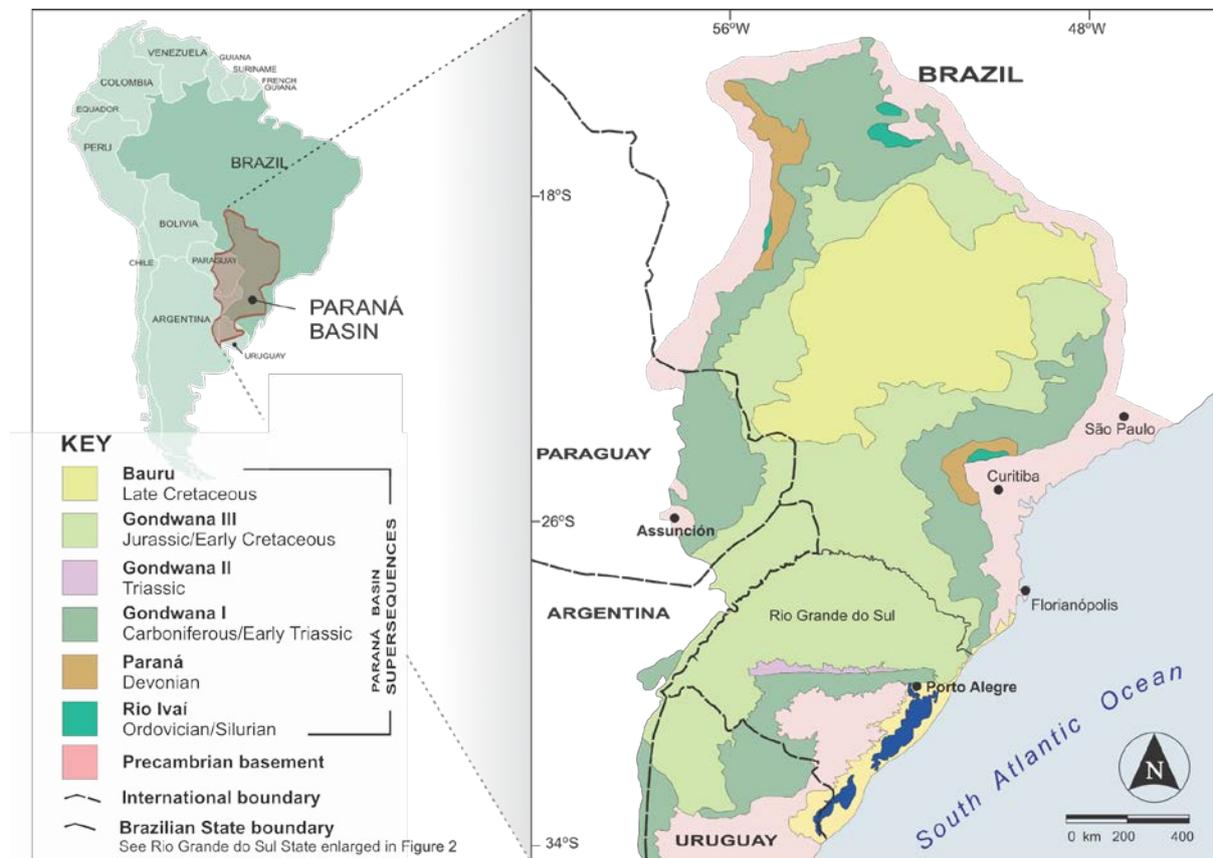


Figure 1: Paraná Basin map and supersequences.

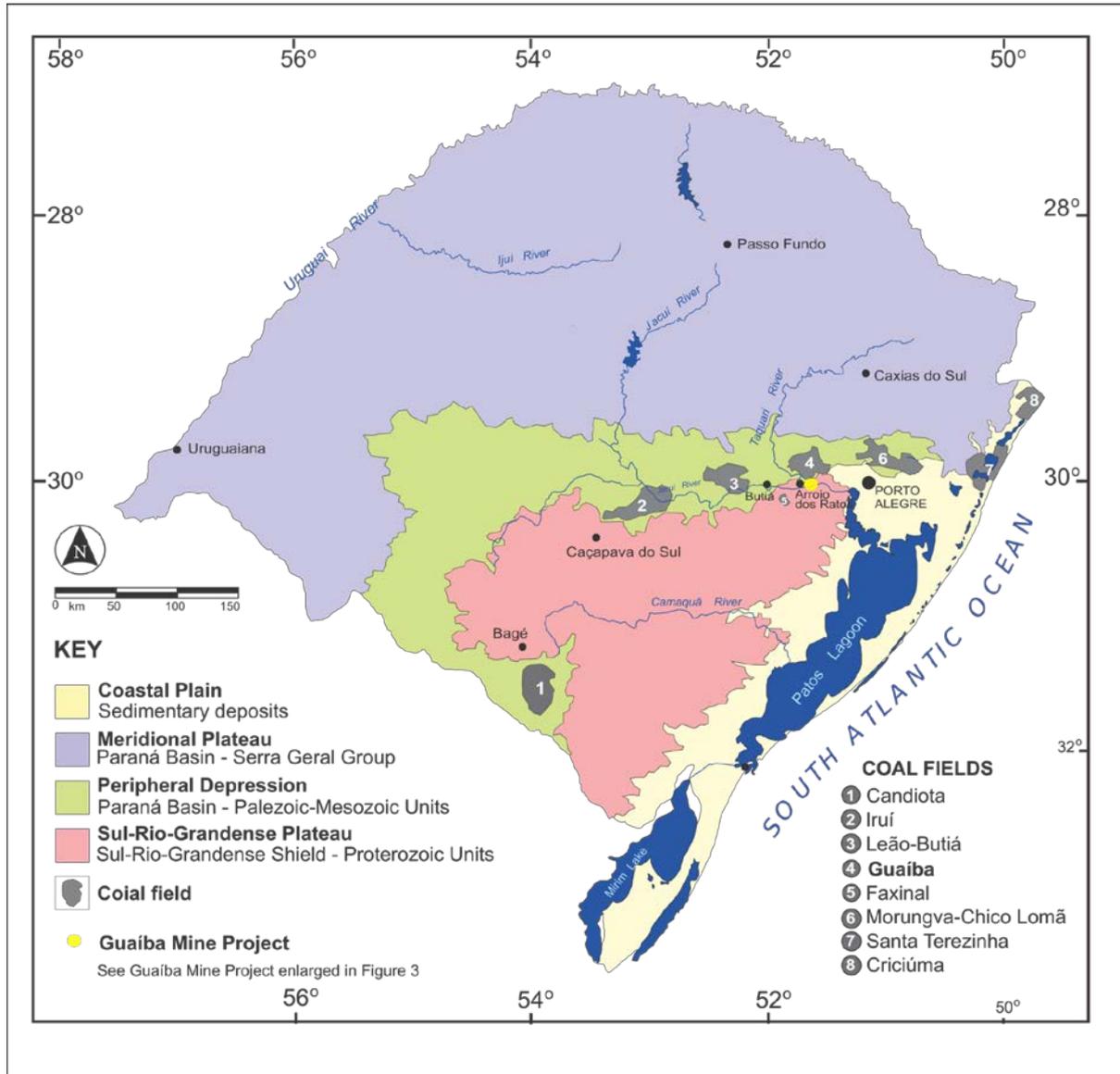


Figure 2: Distribution of the main Permian coalfields in the southernmost Paraná Basin, Rio Grande do Sul state.

The installation site of the Guaíba mining project (Figure 2 and 3) presents several types of environmental and social sensitivities, which require the adoption of precautions due to the risks associated with the contamination of water and atmospheric resources. The project area is located in the Jacuí River floodplain, approximately 1.5 km from the channel. The northern edge of the polygon that delimits the mining project borders the Delta do Jacuí State Park and is fully included in the Buffer Area of this State Conservation Unit. The unit belongs to the Atlantic Forest Biosphere Reserve. The Jacuí River is the main tributary of Lake Guaíba, contributing about 80% of the lake water volume. Freshwater from this region

supplies 4.5 million inhabitants of the metropolitan urban agglomeration. A risk of water shortages for this population becomes clear. Nevertheless, the proximity of mining to the Jacuí River also makes the project more operational, due to the large volume of water required to safely enable open pit mining – pits 110 m deep.

The project area is currently occupied by the housing complex Guaíba City, and the Apolônio de Carvalho agrarian reform settlement, among other agricultural sites. These farmers produce the largest volume of organic rice in Latin America. To the east, the mining area is 16 km from downtown Porto Alegre, the state capital. The project covers an area of 4,000 ha and mining was designed for open pit exploration to a depth of 100 m with the objective of extracting 166 million tons of mineral coal over 23 years. In addition to environmental vulnerabilities, which exacerbate the risks of contamination, water sources are in an environmentally saturated context of the Metropolitan Region of Porto Alegre (Possanti and Menegat, 2019). Large plants of the petrochemical industry, oil refinery and pipeline, metal-mechanical, leather-footwear and chemical industrial plants are also located in this region. In addition, two Guarani indigenous villages are also located in this region, one at 1.5 km from the perimeter of the mining project area.

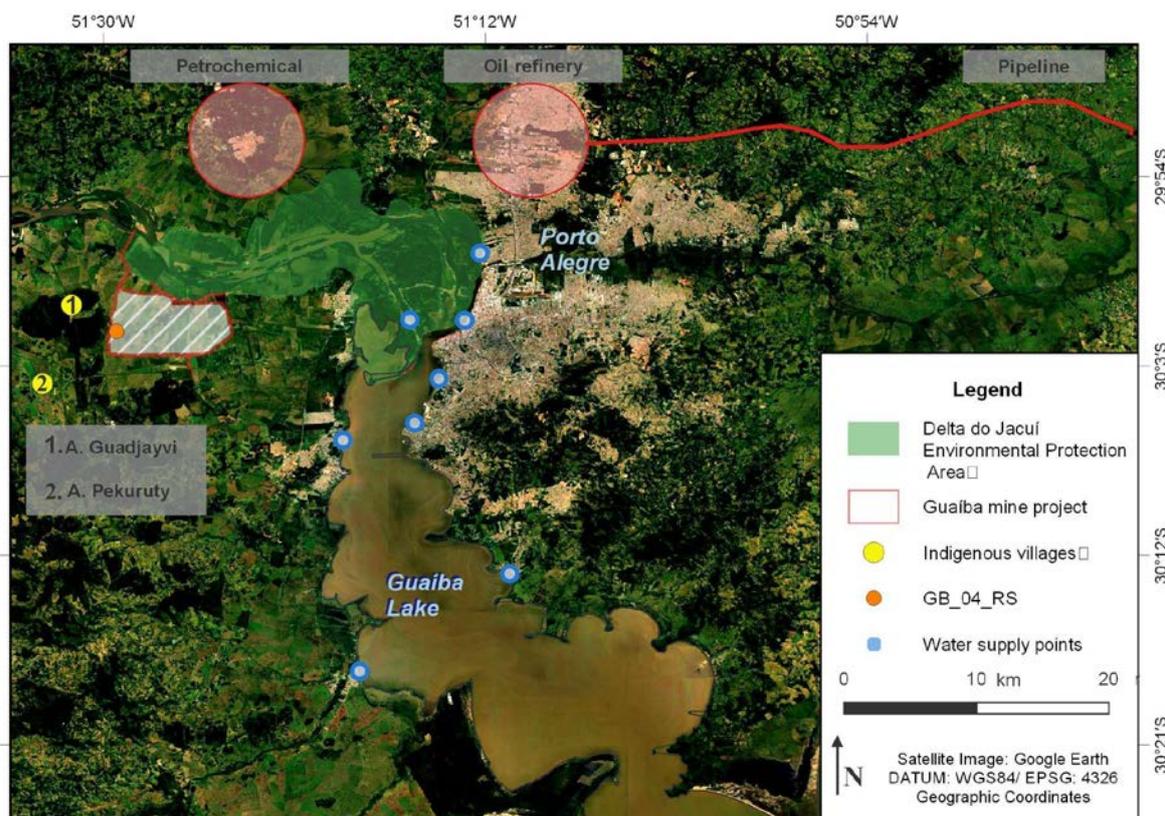


Figure 3: Location of the Guaíba Mine Project area. Map built from data available in the environmental licensing process, cartographic base and Google Earth satellite image.

The environmental impact study of the mining project shows the occurrence of 200 million tons of coal in the Guaíba deposit. The coal is available and distributed among three layers located between depths of 40 m and 100 m. Coal is classified as sub-high-volatile bituminous A to high-volatile bituminous C, with average ash contents of 48% (range 39-57%), average sulfur 1.5% (range 1.2 to 3.4%) in situ and calorific value of 3,600 kcal/kg (range 2,700 to 4,365 kcal/kg) on a dry basis. The average quality of this resource is described (on a dry basis) as 10% humidity, 23.5% volatile matter, 37.5% carbon, 2.5% hydrogen, 0.6% nitrogen, and 9.9% oxygen (COPELMI et al., 2018 vol. I and II)

### 3. Methodology

The methodology followed the steps represented in the flowchart of Figure 3. The criterion for choosing the analyses is directly related to the objective of dimensioning the impacts resulting from the mining activity of mineral coal at the Guaíba deposit.

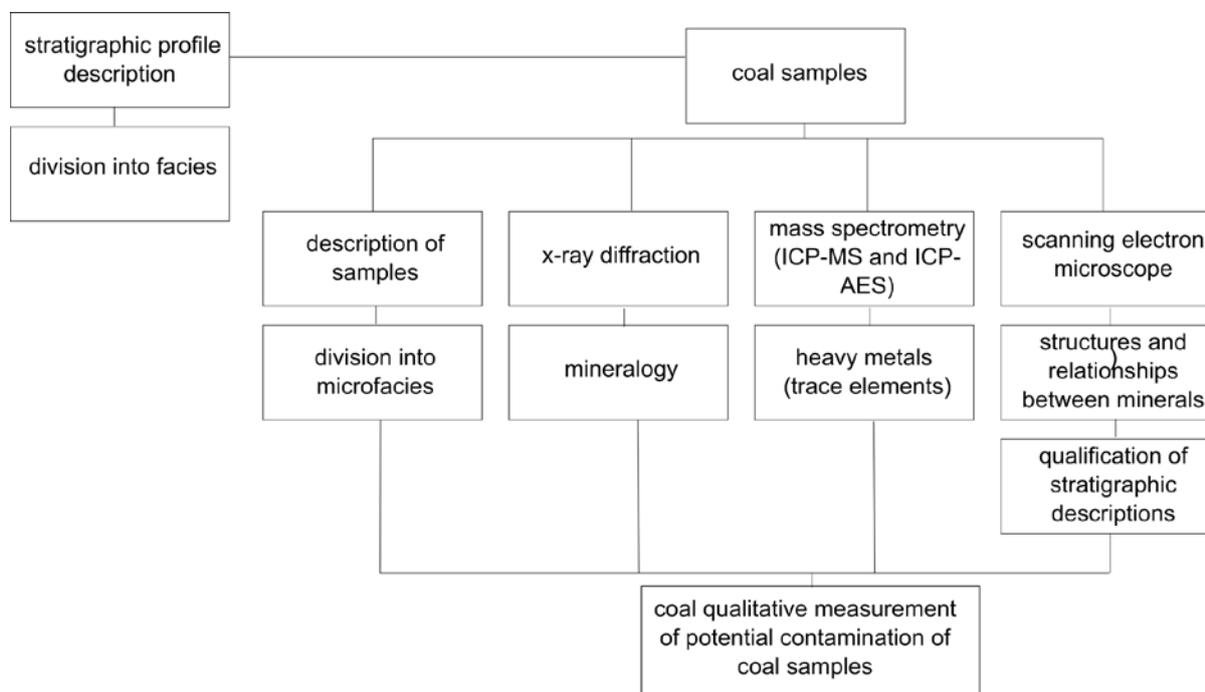


Figure 4: Flowchart of the set of analyses in the methodology of this study.

The facies analysis was performed on the GB-04-RS drill core, located in the southern portion of the deposit and west of the Guaíba Mina Project area (Figures 2 and 3), belonging to the CPRM (Brazilian Geological Service) rock collection in Caçapava do Sul (RS). The lower coal-bearing layer in this profile has a thickness of 67 cm, located at a depth between 49.50 m and 50.30 m. Five coal samples were taken from this layer and named, from bottom to top, C1 to C5. Sample C1 is located at a depth of 50.25 m; C2, at 50.2 m; C3 at 50.10 m; C4 at 50.0 m; and C5 at 49.65 m. The facies analysis of the drill core and the collected coal samples was performed based on textural, structural and petrographic parameters, according to the Walker concepts (Walker and James, 1992).

X-Ray Diffraction (XRD) analyses were performed on seven samples previously ground to 80 mesh at the Laboratory of Chemical and Mineralogical Analysis of Solid Materials of the Geosciences Institute of the Federal University of Rio Grande do

Sul. Minerals were thus identified in whole rock samples (WR). The laboratory has two Siemens (Bruker) D-5000 (theta/theta) and (theta/2theta) diffractometers and Cu K $\alpha$  X-ray tubes.

Chemical analyses were performed on five samples of coal to quantify 24 elements: As, Be, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Li, Ni, Pb, Sb, Se, Ti, V, Zn, Ba, Sr, Si, S, Ca, Mg, Fe, U and F. Such elements are commonly referred to for their potential for toxicity and danger to human health (Finkelman et al., 2018; Finkelman et al., 2019; Kalkreuth et al., 2006). And they are also found in high content in southern Brazilian coals (compared to the world average) (Finkelman et al., 2018; Finkelman et al., 2019; Kalkreuth et al., 2006).

The analyses were performed by the LAQIA laboratory of the Federal University of Santa Maria. Sample preparation was performed using 0.250 g of charcoal together with 6 mL of concentrated, distilled HNO<sub>3</sub>. The digestion of the samples was carried out in a high pressure oven (UltraWave model, Milestone, Italy). The determination of major elements (Si, S, Ca, Mg and Fe) was performed by optical spectrometry with inductively coupled plasma (Optima model 4300 DV, Perkin Elmer, USA). The determination of trace elements (As, Be, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Li, Ni, Pb, Sb, Se, Ti, V, Zn, Ba, Sr and U) was made by inductively coupled (model Elan DRC II, Perkin Elmer Sciex, Canada). The determination of F was performed by ion chromatography (MagIC Professional 850, Metrohm), and the sample was prepared based on the pyrohydrolysis system with 0.1 g of sample.

Optical microscopy was performed before and after SEM studies at the Laboratory of Isotopic Geology (CPGq-IGEO-UFRGS), including backscattered electron (BSE) imaging and chemical characterization with EDS. Scanning electron microscopy (SEM) and semiquantitative analyses were done with energy dispersive X-ray spectrometry (EDS) in polished sections. The scanning electron microscope was a JEOL JSM-6610LV, equipped with a Bruker XFLASH 5030 energy dispersive X-ray spectrometer. Analytical conditions were between 12 and 20 kV, spot size 60, working distance (WD) 0.7 mm and 30 s counting time for the EDS analyses.

## 4. Results

### 4.1. Description of the stratigraphic profile and facies analysis

Two depositional packages were identified in the GB 04 RS drill core (Figure 5). At the base, between depths of 64 m and 27 m, are the Permian sedimentary rocks of the Rio Bonito Formation. Quaternary unconsolidated sedimentary deposits occur at the top, from a depth of 27 m to the surface. The Rio Bonito Formation package presents alternating layers of a few meters to centimeters of gray laminated pelite and fine to coarse sandstone with gray, incipient lamination. Two coal-bearing layers occur at two intervals. A lower one at a depth of 49.50 m, and an upper one at 40.70 m, made up of alternating sheets and lenses of carbonaceous pelite and coal.

The Quaternary deposits present six levels of unconsolidated and poorly sorted sandy material with upward gradation, with clasts and lithoclasts in the basal portions of up to 6 cm thickness, interspersed with a muddy level. Quaternary deposits were interpreted as fluvial deposits related to the Jacuí River channel and floodplain; these layers constitute an aquifer.

#### 4.1.1. Facies Analysis and Facies Associations

In the 37 m-thick package of the Rio Bonito Formation, eight facies were identified, described in the Table 1, corresponding to four coarse to fine sandstones, three pelitic with higher or lower organic matter content and one coal facies. The sandstone facies are predominantly graded, from coarse to very coarse sandstone, in some cases conglomeratic, to medium and fine sandstone, poorly sorted, with incipient lamination, and eventually with sheets, lenses and intraclasts of pelite and organic matter. The pelitic facies are in many cases constituted by intercalations of pelite with laminae of carbonaceous pelite (M1b), generating incipient lamination (M1a). Some are dark gray sandstone, with good thin lamination (M2) and, finally, coal-bearing layers (C), with levels of laminated coal with vitrinite. The facies were grouped into six associations, numbered from bottom to top by Roman numerals I to VI. The base of the facies associations is constituted by sandstone (S1 to S4) either followed or not by C facies and at the top by M facies (M1a, M1b or M2). Facies Associations (FAs) represent, at the base, the progradation of fan-deltaic lobes, with or without overlapping peat bog, on a lake shore. The top of the FAs is constituted by a pelitic facies (M1a, M1b or M2) that denotes the rise of the lake water level and

represent the most distal portions of the fandeltaic lobes where pelitic decantation processes predominated.

Tabela 1: Facies from drill core GB 04 RS

Facies Code	Description
C	Coal seams, black grey, with interleaved blades and lenses of mudstone and blades and lenses of coal, including vitrinite.
M2	Laminated breast, dark gray mudstone.
M1b	Incipient laminated mudstone, dark gray, with sparse intraclasts ( $\phi_{\max} = 1$ mm) of organic matter, and poorly selected levels with sparse grains of medium sand.
M1a	Mudstone, very light gray, with sparse intraclasts of organic matter. Centimeter levels of poorly sorted coarse sand, lenses and levels of organic matter.
S4	Incipient laminated fine-to-medium sandstone, poorly sorted, light gray, with fragments of organic matter.
S3	Incipient laminated medium-to-coarse sandstone, poorly sorted, light gray, with levels (0.15 cm) of dark gray laminated sandstone.
S2	Incipient laminated medium- to-coarse sandstone, poorly sorted, light gray, with levels of dark gray laminated sandstone and levels of very coarse sand.
S1	Incipient laminated coarse-to-very-coarse sandstone, poorly sorted, light-to-medium gray, with centimetric conglomeratic levels ( $\phi_{\max} = 10$ mm, angular to subangular clasts, predominantly feldspar and quartz).

This association of coarse to medium sandstone facies, superimposed by layers of coal followed by layers of laminated silt, was also observed in the Quitéria outcrop (Jasper et al., 2006, Piccoli et al, 1991), near the studied area (Figure 2). However, the facies associations described here correspond to more distal portions of the lake shore, given the absence of paleosols or subaerial exposure. In contrast, Jasper et al. (2006) described occurrences of paleosols and conglomerates in greater

quantities than the profile studied in this article. However, the sandstone facies described here also contain subangular grains of quartz and feldspar, such as those of the Quitéria outcrop, indicative of proximity to the source area. The most likely alternative for the source area of these sandy and conglomeratic debris was the Porto Alegre Suture, which is located 14 km south of the drilling site.

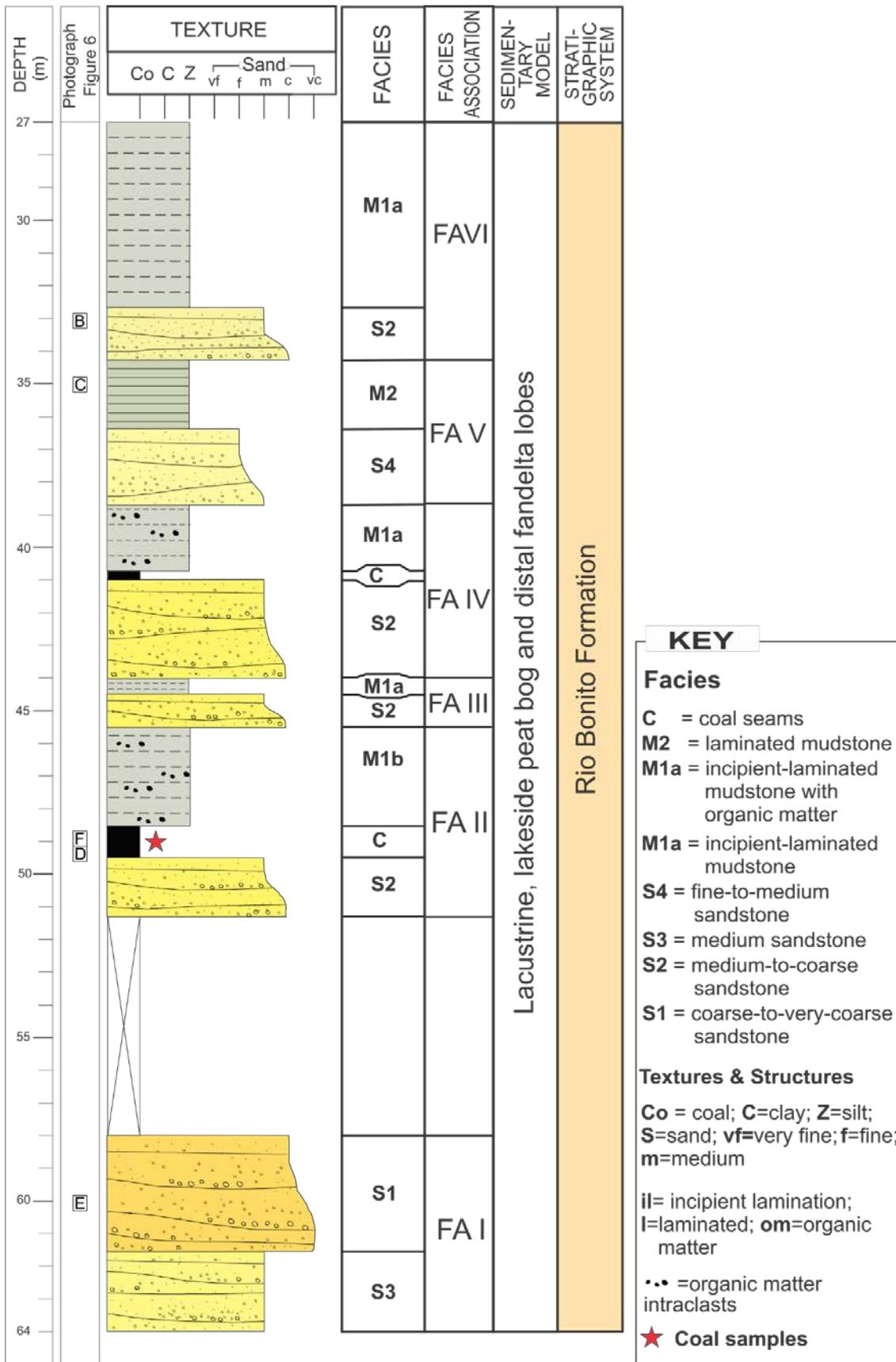


Figure 5: Facies, association of facies of the Rio Bonito Formation identified in the columnar profile of the GB 04 RS core.

#### 4.2. Description of coal samples

The five samples collected refer to the lower C facies (coal seams), contained in the interval between the depths of 49.65 to 50.25 m of the columnar profile (Figure 5). The samples contain alternating pelite lenses with detrital coal, and sometimes millimeter (<0.5 to 3 mm) lenticular laminations of vitreous detrital coal, corresponding to vitrinite. In turn, the coal levels consist of lenticular coal laminations interspersed with pelitic laminae. Iron sulfides and oxides occur disseminated in the carbonaceous material. Macerals from the vitrinite and inertinite groups, such as fusinites and semifusinites, occur in coal slabs and were analyzed under a reflected light optical microscope of (Figure 7).

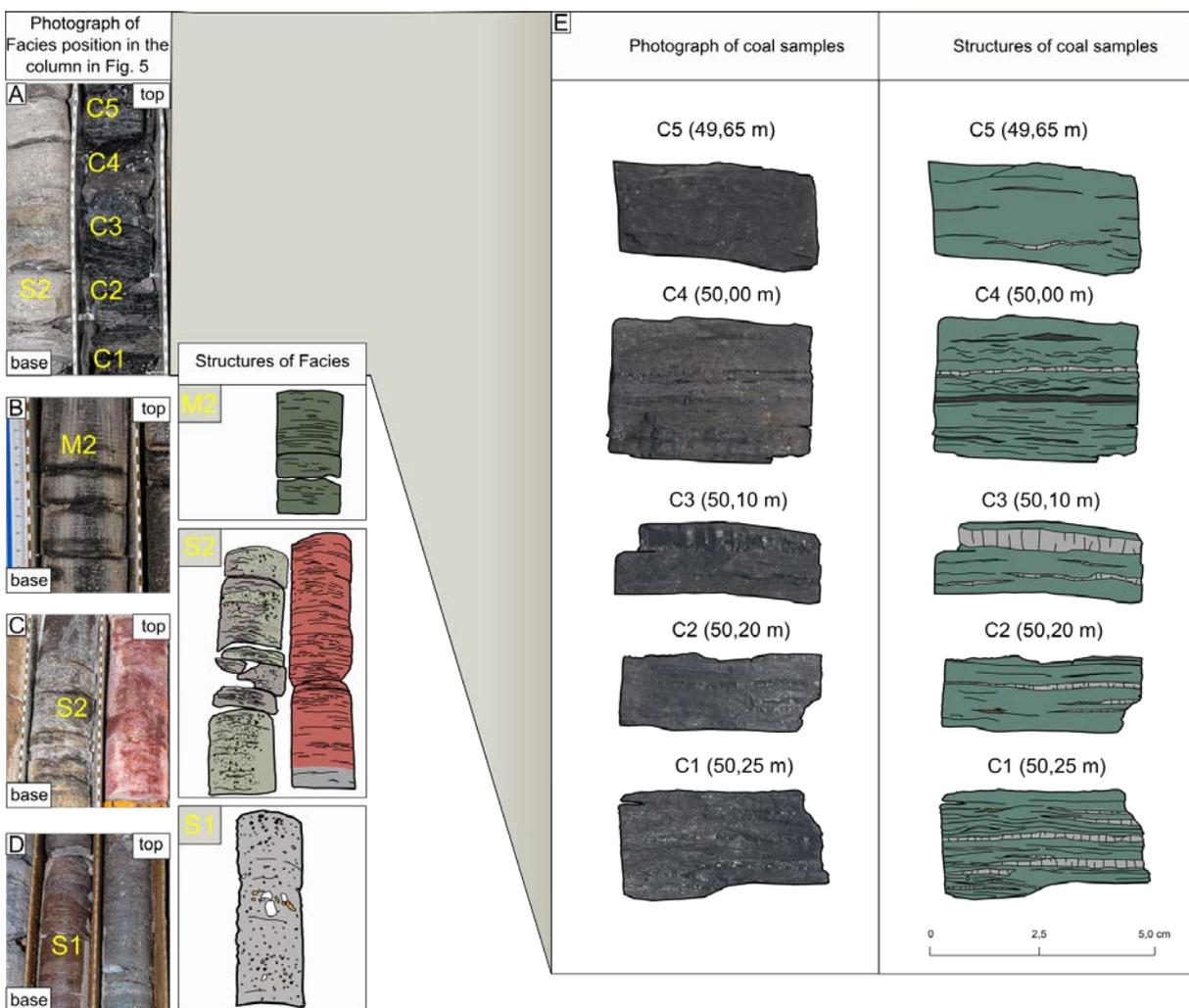


Figure 6: Photography of facies in the drill (position in the column in Fig.5): A) photography of S2 and C facies; B) photography of M2 facies and structure sketch; C) photography of S2 facies and structure sketch; D) photography of S1 facies and structure sketch; E) photography of coal samples and structure sketch.

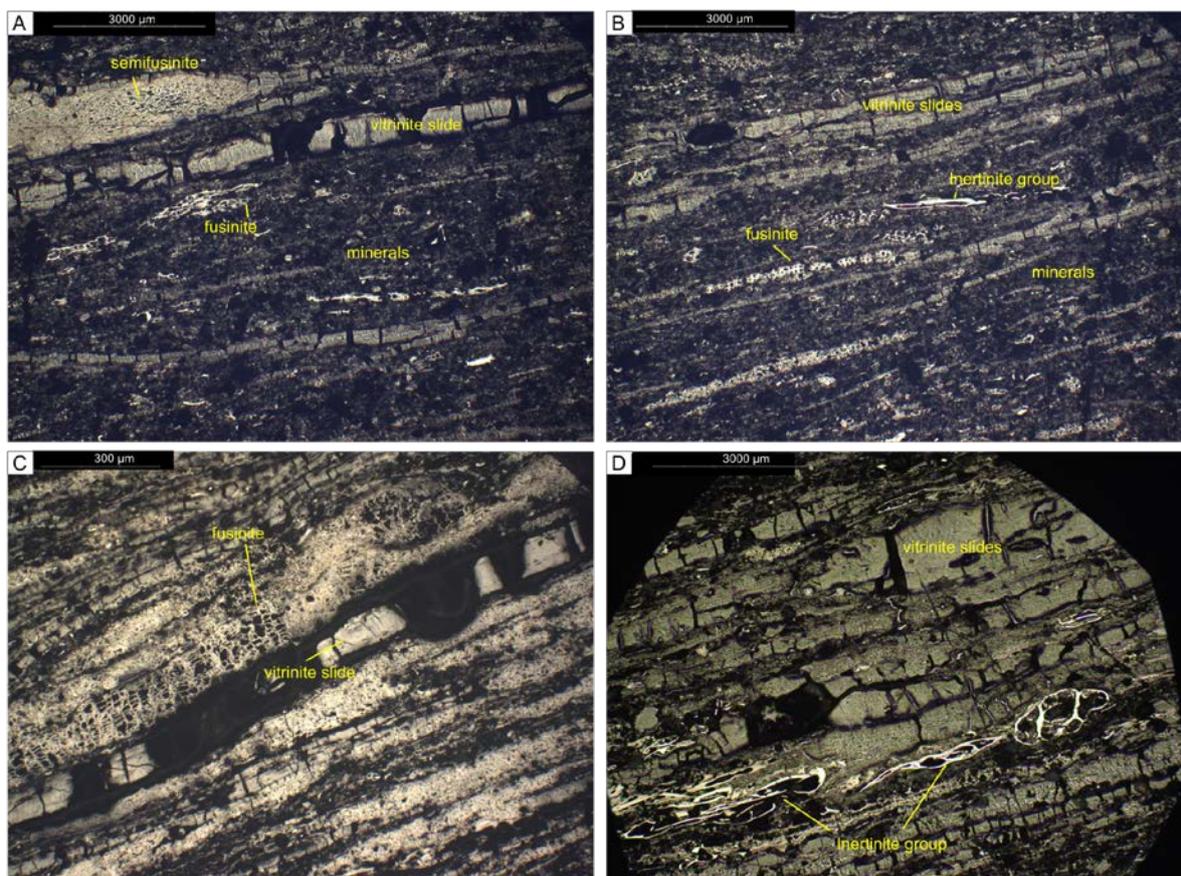


Figure 7: photomicrography of the samples in an optical reflected light microscope; A) fusinite, semifusinite and vitrinite slide in sample C2 with 500x magnification; B) fusinite, inertinite group, minerals and vitrinite slides in sample C3 with 500x magnification; C) fusinite and vitrinite slide in sample C4 with 1000x magnification; D) inertinite group and vitrinite slides in sample C3 with 500x magnification.

#### 4.3. X-ray diffraction

The results of X-ray diffraction (XRD) were concentrated in the graph below, which identifies the occurrence of quartz, kaolinite, feldspar (microcline), illite (mica), illite-smectite, goethite and jarosite without significant differences between samples. Proportionally, in all samples there is a predominance of quartz in relation to other minerals, followed by kaolinite. Samples C3, C4 and C5, at greater depths, present the most accentuated feldspar peak. Samples C1 and C2 showed higher occurrences of jarosite and goethite. Jarosite is related to the oxidation of pyrite, which was not detected with this technique.

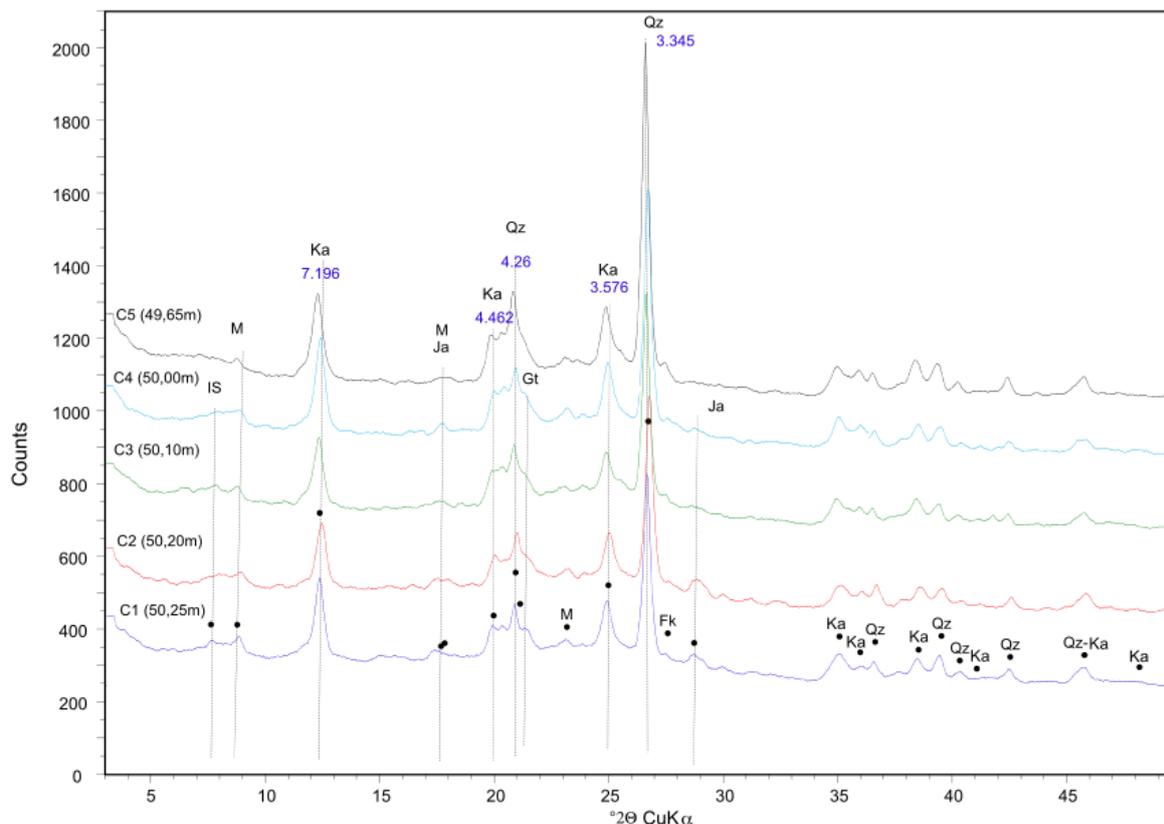


Figure 8: Whole rock X-ray diffraction from the five coal samples. Abbreviations: Qz = Quartz; Ka = Kaolinite; Gt = Goethite; M = Illite (Mica); IS = Illite-Smectite; Ja = Jarosite; Fk = K-feldspar and plagioclase.

The result from this analysis is consistent with other deposits in southern Brazil (Kalkreuth et al., 2006; Pires et al., 2001; Kalkreuth et al., 2010). Nevertheless, this result does not reflect the totality of the inorganic fraction present in the coal. The X-ray diffraction technique makes it possible to identify the crystalline materials present in the sample, so that poorly crystalline or non-crystalline minerals are not included. Low grade coal commonly has large amounts of non-mineral or poorly crystalline inorganic materials (Ward et al., 2016). According to Given and Spackman (1978), in low grade coals, 50% of the inorganic material is represented by non-crystalline material.

#### 4.4. Scanning Electron Microscopy

Scanning electron microscopy (SEM) analyses were carried out to identify the different structures present in the coal sheets, the organic components (macerals) and the presence of inorganic components (mineral material), their dimensions and

morphology. All samples showed a large amount of quartz, also observed in XRD (Figure 8). The quartz observed in the SEM images has detrital origin and corroborates the proposal of an environment close to the source area due to the presence of angular grains (Figure 9e). Feldspar also indicates proximity to the source area and displays alteration to kaolinite (Figure 9f). Pyrite occurs in three ways in coal sheets: 1) small grains associated with vitrinites; 2) jarosite, altered to iron sulfate – these occur either in a framboidal texture dispersed in the samples (Figure 9e) or forming aggregates (Figure 9C); and 3) as a filling of fusinites, the evidence of which is the occurrence of goethite within the cell structure (Figure 9d). Sphalerite was also identified in SEM. Kaolinite occurs by altering the feldspar grains, or as sheets of microcrystalline aggregates of kaolinite and illite that are intercalated with the macerals.

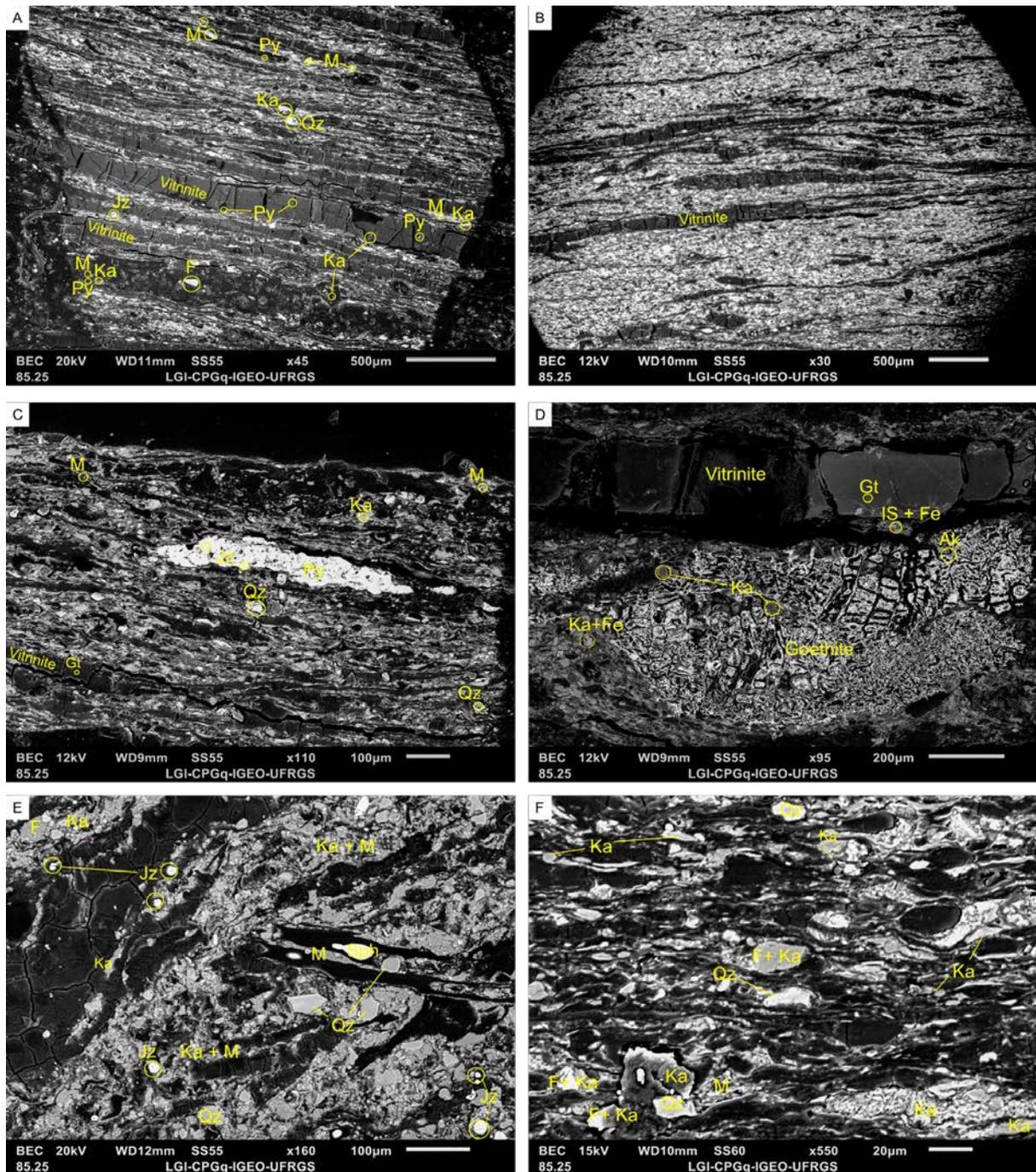


Figure 9: Images obtained from SEM A) relationship between minerals and macerals in sample C4; B) large proportion of minerals in sample C2; C) pyrite (Py) framboidal and alteration to jarosite in sample C3; D) goethite and other minerals associated with iron as oxidation of pyrite filling fusinite in sample C3; E) angular detrital quartz, jarosite framboidal and sphalerite (Sph) in sample C1; F) feldspars with changes to kaolinite (F+Ka) in sample C2.

#### 4.5. Chemical analysis

Major element analyses (Table 2) indicate an increase in Si contents towards the top of the coal-bearing layer. The percentage of Si varies from 8.6% in sample C1 at the base to 14% in C5 at the top. Conversely, the percentage contents of Fe and S decrease from 1.8 and 1.4% in C1 to 0.55 and 0.48% in C5. For Mg, the samples show low levels (around 0.2%) with insignificant variations and for Ca there are also low levels between 0.1% and 0.22%, which follow the behavior of Fe and S. The contents of the major elements, determined in the samples from the Guaíba deposit, are in agreement with the values found for coal samples from Rio Grande do Sul, Santa Catarina, as well as the average of world coals.

Table 2: Result of chemical analysis of major elements (%) and trace elements ( $\mu\text{g/g}$ ) in coal samples. Comparison with other nearby deposits and with the US and world average.

Element s	South brazilian deposits											U.S. Finkel man (1993)	World Ketr is and Yudovich (2009)
	Guaíba					Candiota		Leão Butiá	Santa Terezinha	RS	SC		
	C1	C2	C3	C4	C5	Pires et al.(20 01)	Kalkreuth et al. (2006)		Kalkreu th et al. (2010)				
Major elements (%)													
Si	8.6	8.3	9.7	11	14	nd	33.26	29.69	29.52	29.54	31.39	5.8	8.47
Fe	1.6	1.8	1.2	0.72	0.55	2.01	3.46	5.83	4.18	4.21	6.92	1.9	4.85
Ca	0.1	0.1	0.12	0.09	0.22	0.42	0.55	1.09	1.69	1.02	0.65	0.64	1.23
Mg	0.21	0.2	0.25	0.2	0.2	0.21	0.47	0.29	0.51	0.41	0.39	0.18	0.22
S	1.4	1.4	0.86	0.61	0.48	0.96	1.72	2.15	3.43	2.28	3.1	nd	nd
Trace elements ( $\mu\text{g/g}$ )													
As	99	130	47	14	8.8	4.4	9.9	26.3	17.5	16.9	28	24	8.3
Be	<0.8	<0.8	<0.8	<0.8	<0.8	2.7	6.2	5.3	4.6	5.5	3.9	2.2	1.6
Cd	0.88	1	0.61	0.21	0.36	0.1	0.1	0.2	0.4	0.3	0.2	0.5	0.22
Co	41	42	28	6,1	5.1	10	9.3	14.5	13	11.9	15.7	6	5.1
Cr	42	53	49	39	46	25.9	35.5	43.1	43.7	40.2	54.5	15	16
Cu	23	25	62	29	28	20.1	12.3	17.1	19.2	16	25.9	16	16
Hg	0.18	0.22	0.22	0.05	0.08	0.06	0.14	0.31	0.13	0.19	0.46	0.17	0.10
Li	33	39	16	17	38	14	20.8	61.8	43	39.2	59.3	16	12
Ni	99	99	60	23	17	17.1	15.5	23.3	33	23.9	30	14	13
Pb	22	46	44	15	26	20.5	14	42.6	33.7	28.2	58	11	7.8
Sb	7.1	7.2	4.6	3,8	2.6	0	0.9	1.6	2.8	1.7	1.3	1.2	0.92
Se	1.7	2.6	2.9	0.96	0.96	nd	1.5	2.7	2.2	2	2.1	2.8	1.3

Elements	South Brazilian deposits											U.S.	World
	Guaíba					Candiota		Leão Butiá	Santa Terezinha	RS	SC		
	C1	C2	C3	C4	C5	Pires et al. (2001)	Kalkreuth et al. (2006)		Kalkreuth et al. (2010)	Finkelman (1993)	Ketris and Yudovich (2009)		
Major elements (%)													
Si	8.6	8.3	9.7	11	14	nd	33.26	29.69	29.52	29.54	31.39	5.8	8.47
Tl	1.3	2.2	1.2	0.84	0.98	0.7	1	2.9	1.4	1.7	4.6	1.2	0.63
U	2.8	3.1	2.1	3	3.3	3.3	4.2	4.9	11.2	6.5	7.4	2.1	2.4
V	80	95	112	84	69	59.7	55.8	74.5	90.3	71.7	99.6	22	25
Zn	626	743	294	30	109	85.1	75.4	55.3	92	74.8	84.9	53	23
Ba	130	141	122	145	215	152.3	122.93	118.38	142.81	nd	454.2	170	150
F	281	314	300	140	166	nd	nd	nd	nd	nd	nd	98	88
Sr	60	22	54	45	94	41.8	78.70	133.22	207.49	nd	68.7	130	110

nd, sem dados

Be - abaixo do limite de detecção

As expected for chalcophile and siderophile elements, the concentrations of As, Ni, V, Co, Li, Cu, Pb, Zn, F, Sb, Se, Tl, Cd, and Hg increase with Fe and S in this carbon-bearing interval (Figures 9 and 10). As, Cr, Pb, F, Zn, Tl, Cd and Hg present the highest concentrations in sample C2, along with Fe. Ni, Co and Sb have the highest contents in samples C2 and C1, following the behavior of S. Ba, U and Sr are lithophiles and follow Si. The result of Be content is below the detection limit of the technique used. Li shows a double behavior, initially following Si and then Fe, with a drop in its concentration between samples C5 and C4 and then an enrichment with higher values in C2. Despite this drop, Li is a lithophile element (Goldschmidt Classification in the Periodic Table) and is hosted in silicates (Kalkreuth et al., 2006; Finkelman et al., 2018). V, Cu and Se show higher concentrations in sample C3, different from the behavior of other elements.

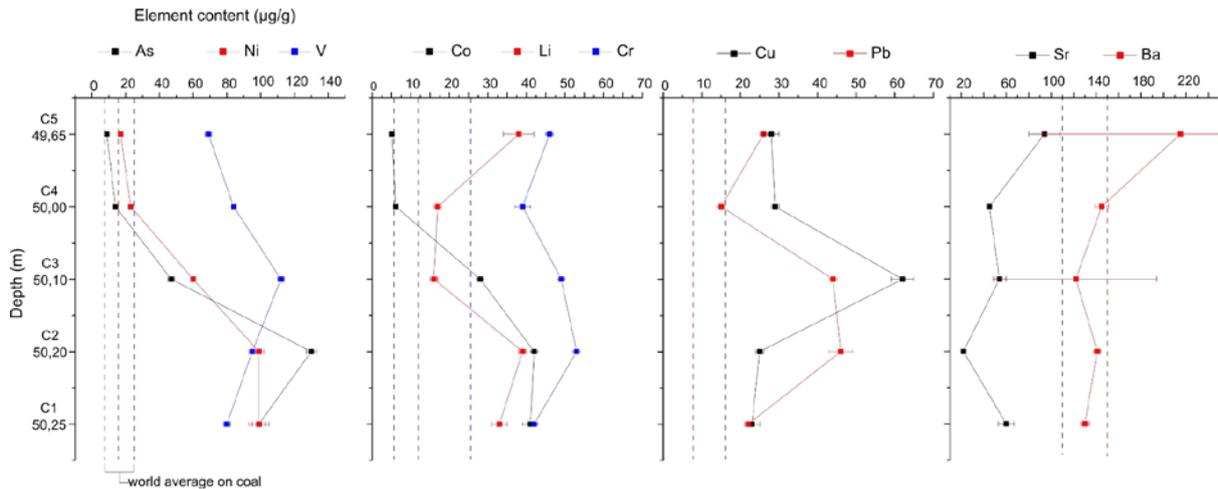


Figure 10: Graphs of the vertical distribution of the concentration of elements As, Ni, V, Co, Li, Cr, Cu, Pb, Sr and Ba in the coal-bearing layer of the Guaíba deposit. The dotted lines represent the world average for each element.

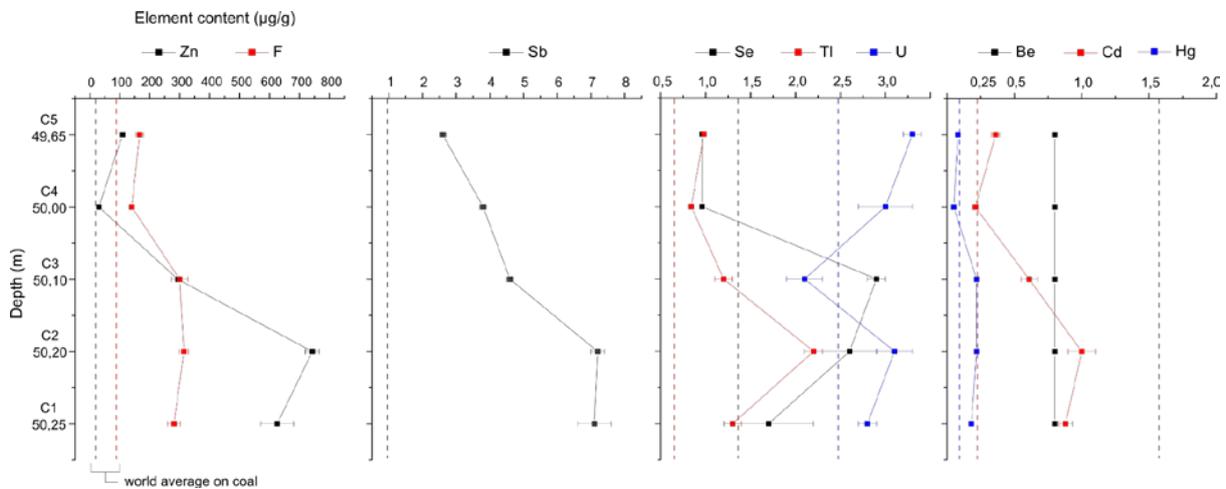


Figure 11: Graphs of the vertical distribution of the concentration of elements Zn, F, Sb, Se, Ti, U, Be, Cd and Hg in the coal seam of the Guaíba deposit. The dotted lines represent the world average for each element.

To compare the levels of trace elements determined in coal of the Guaíba deposit with average world coals, we use the Concentration Coefficient method (Dai et al., 2014) ( $CC = [\text{element}]/[\text{world average}]$ ), defined as the ratio between the concentration of the element in the sample and the concentration of the same element in world coals. The results are shown in Figure 12. In this graph,  $CC > 10$  values are considered highly enriched;  $5 < CC < 10$  are enriched;  $2 < CC < 5$  are moderately enriched;  $0.5 < CC < 2$  are close to the mean and  $CC < 0.5$  are impoverished.

Compared to the world average coal (Ketrís and Yudovich, 2009), a large number of trace elements are enriched in coals of the Guaíba deposit (Table 2; Figure 12). Trace elements with concentration coefficient values (CC = ratio between the concentration of the element in the coal of the Guaíba deposit and the average coals in the world)  $CC > 10$  include only As and Zn. Trace elements with a CC between 5–10 include Co, Ni, Pb and Sb. Many other elements, including Cd, Cr, Cu, Li, Tl, V and F are slightly enriched in coal ( $CC = 2-5$ ). The concentrations of elements Be, Hg, Se, U and Ba ( $0.5 < CC < 2$ ), are close to the average of coals in the world. However, Sr is depleted in coal ( $CC < 0.5$ ).

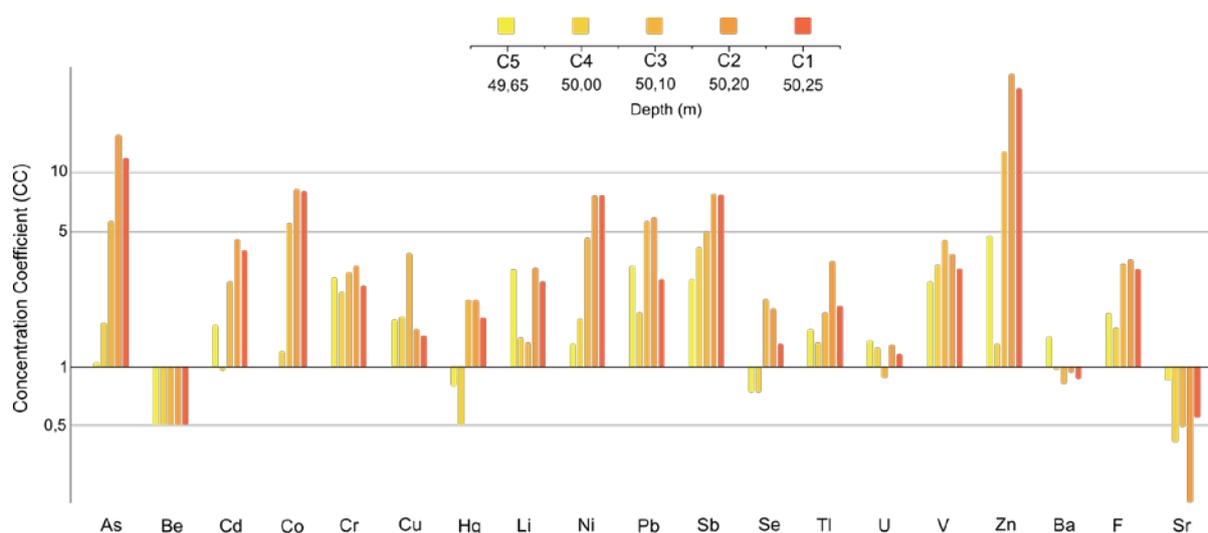


Figure 12: Logarithmic scale graph of the Concentration Coefficient (CC), using the world average concentration for coals (Ketrís and Yudovich, 2009) as a background.

## 5. Discussion

Many authors explored the importance of knowledge of mineralogy and geochemistry of coal and have signalled the relevance to the analysis of environmental impacts (Finkelman et al., 2018; Finkelman et al., 2019; Ward et al., 2016; Kuhn et al., 2016; Kuhn et al., 2018; Finkelman et al., 2019; Ward et al., 2016; Kuhn et al. al., 1980; Dai et al., 2012). Studies in this direction were developed for American (Finkelman et al., 2018, Kuhn et al., 1980), Chinese (Dai et al, 2014; Dai et al., 2007; Dai et al., 2012), and Brazilian (Dai et al., 2012) coals. Pires et al., 2001; Kalkreuth et al., 2006; Kalkreuth et al., 2010). In addition to contributing to the study of environmental impacts related to the exploration and burning of coal, knowledge of mineralogy and geochemistry helps to understand the paleoenvironment of deposition and the processes involved in the genesis of coal.

In the Guaíba Mine Project, the use of “siltite” layers is planned for waterproofing some areas of the mine, such as the final lake and the final “outside” of the mining plant (COPELMI et al., 2018 vol. I and II). In the EIA-Rima of the project, we evaluated that little relevance was given to the faciological studies of the coal-bearing layer and also of the underlying and overlying layers. This gap in knowledge can lead to severe errors in the lithological definition of the waste and amplify the risks of technological disasters of the activity. Thus, the initial proposal of using a layer of supposedly homogeneous “siltstone” as a waterproofing agent is inconsistent in two aspects; the siltstone occurs associated at the base and on the top of the coal layer. The aspects are: 1) the siltstone, although homogeneous, does not have waterproofing properties comparable to clays and; 2) layers that occur associated with coal are faciological heterogeneous, with discontinuities in their lateral and vertical distribution; alternations between coarse to fine sandstones with normal gradation and layers of silt with wither sandy levels or intraclasts of organic matter. The interpretation of

The depositional model of coal from the Guaíba deposit as a lacustrine margin with a significant siliciclastic contribution from a continental source area includes the distribution as fandelta lobes. The model contributes to the assessment of the heterogeneity of texture and mineral composition and of the technological problems for the industrial use of this material.

The absence of wave marks throughout the studied profile and the total sulfur contents between 0.48% and 1.40% reflect a small marine influence on the genesis of coal from the Guaíba deposit. The possibility is considered that this lake was isolated from the sea by a sandy bar, with rare ruptures, allowing the entry of salt water into the system, eventually developing a lagoon-barrier system (Jasper et al., 2006). Another evidence of the little marine influence on the coal-bearing layer is the low Sr/Ba ratio between 0.16 and 0.46. For a marked marine influence, a Sr/Ba ratio >1.00 (Lv et al., 2016) is expected.

In addition to low total sulfur content, XRD analyses (Figure 8) do not indicate significant occurrence of pyrite or other sulfides in the coal contained in this core of the Guaíba deposit. Gayer et al. (1999) described an increase in the proportion of pyritic sulfur in coal beds with greater marine influence, in relation to beds with little marine influence, in studies of coal from Wales. Gayer et al. (1999) indicated that

most of this sulfur occurs in organic associations. In the case of the Guaíba deposit, the sulfides were identified in the SEM as sphalerite, and framboidal pyrite of syngeneic origin (Gayer et al., 1999; Ward et al., 2016), which may occur as aggregates or isolated and also as alteration of jarosite. (Figure 9c, 9e and 9f). Pyrite also occurs as a filler in macerals, which can be observed in these samples from the southern edge of the Guaíba deposit, as goethite filling the cell lumen of fusinites, and as a residue from the oxidation of filler pyrite (Figures 9d and 13a) of epigenetic origin (Ward et al., 2016).

However, most of the chalcophile and siderophile elements usually associated with sulfides in coal (Kalkreuth et al., 2006; Finkelman et al., 2018; Finkelman et al., 2019) occur enriched in the analysed samples. Because pyrite and other sulphides that were originally present in this layer of coal are oxidized to sulphates and iron oxides, this enrichment in As, Zn, Co, Ni, Pb and Sb, Cd, Cr, Cu, Li, Tl, V and F is not restricted to sulfide crystal structures. The most likely association of these elements must be with organic matter as organometallic complexes, or as amorphous minerals, and/or association with clay minerals, either adsorbed on their surfaces or as replacements in crystalline structures. Occurrences of organically associated As, Cu, Cd, Cr, Pb and Zn are commonly reported in coal (Goodarzi, 1987; Pires and Solari, 1988; Finkelman et al., 1990, Belkin et al., 1997, Zhang et al., 2002; Dai et al., 2006; Kalkreuth, 2006), as well as Ni and V (Pires, 1991). Elements can have varying degrees of organic affinity, especially in low-grade coals (Finkelman et al., 2018). They also depend on the occurrence of a greater amount of non-mineral inorganic materials, or low crystallinity in low ranking coal (Given and Spackman, 1978; Ward et al., 2016). As shows enrichment of >10x world average, the occurrence may also be associated with filling pyrites, as identified by Gayer et al., (1999) in coals in Wales. The behavior graphs of the elements in the layer corroborate this hypothesis and suggest that the same occurs with high contents of other chalcophile and siderophile elements such as Sb, Co, Tl, Zn and Cd (Figure 13).

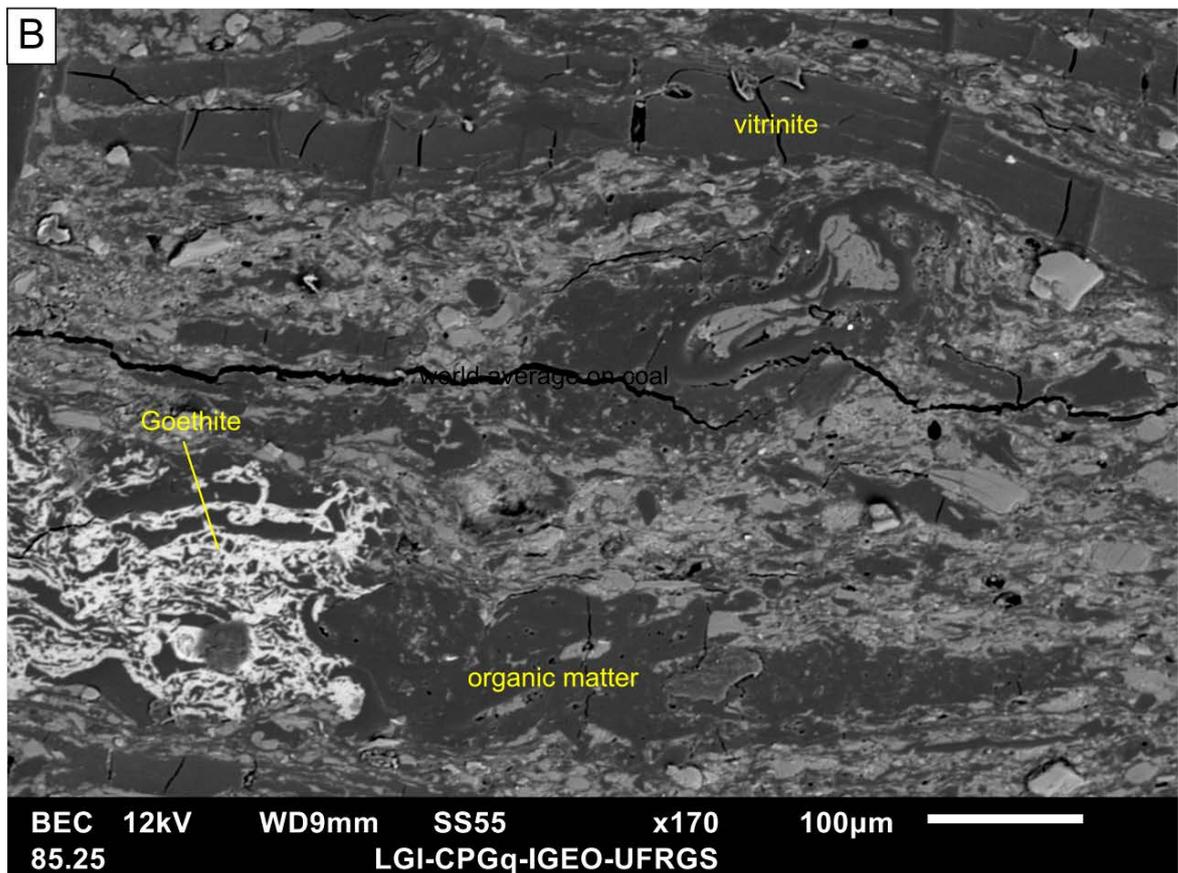
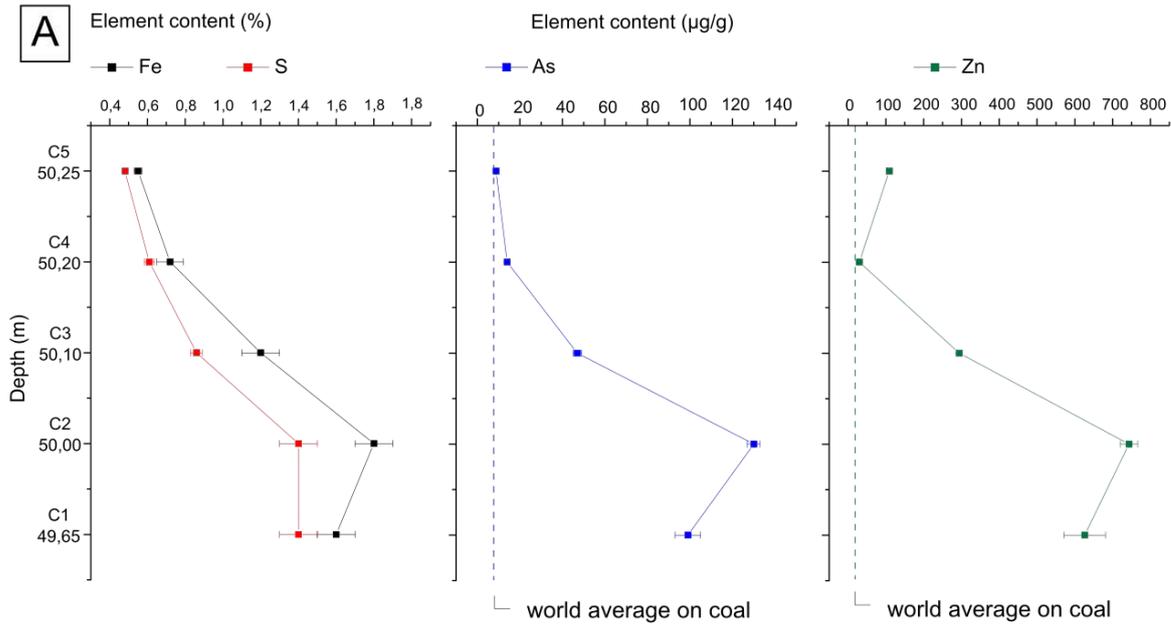


Figura 13: A) Graphs of the vertical distribution of the concentration of major elements Fe S (%) and trace elements As e Zn ( $\mu\text{g/g}$ ); B) Goethite filling organic matter in sample C3, as a product of oxidation of the original pyrite.

Among the high rates of enrichment over the world average for coals and the potential toxicity of the analyzed elements, the elements As, F and Zn stand out. Studies in Guizhou Province (China; Finkelman et al., 2004) point to arsenic poisoning of the population with symptoms such as hyperpigmentation, hyperkeratosis, squamous cell carcinoma (Bowen's disease). According to (ATSDR, 2007), exposure to high levels of As causes damage to the skin or problems in the respiratory system and increases the risk of contracting cancer. In the case of fluorine, the impacts are much more extensive than those caused by arsenic in the Chinese province (Finkelman et al., 2004). Cases of fluorosis caused by domestic coal burning occur in various forms and affect more than 13 other Chinese provinces. In the description by Finkelman et al., (2004), typical signs of fluorosis include loss of tooth enamel (dental fluorosis), limitation of joint movement such as knees, bowed legs and spinal curvature (skeletal fluorosis and osteosclerosis). The (EPA, 2011) warns of the concern of fluorosis in children, due to the problems of bad bone formation. Zinc is an essential element for living beings, but can cause pathological effects in both excess and deficiency (Bartzatt, 2017). High levels of zinc have toxic effects and can cause lethargy, neurotoxicity and glucotoxicity. In southern Rio Grande do Sul, exposure to coal and its by-products showed genotoxic effects on several organisms, generating evidence that associates chromosomal abnormalities with cancer pathogenesis (Souza et al., 2020). For Souza (2021), mutagenicity and genomic instability in humans are associated with exposure to complex mixtures of inorganic elements (such as Si, Ti, S, Zn and Al) and Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAH), which are products of coal burning.

Other studies point to the enrichment of potentially dangerous elements for the environment in the coals of Rio Grande do Sul ( Kalkreuth et al. (2006) and in its fly ash resulting from combustion (Pires et al., 2001). Kalkreuth et al. (2006) evaluated that the enrichment in the content of these elements in Brazilian coals is higher to the United States when compared to the same energy basis. Brazilian coals have a calorific value about twice lower than the United States. The ash yields are substantially higher in Brazilian coals and dilute these concentrations. However, different from stated by Kalkreuth et al. (2006), other studies (Davison et al., 1974; Natusch et al. 1974; Pires, 1991) have shown that residues from coal burning concentrate most of these elements in heavy ash and mainly in fly ash.

Acid Mine Drainage (AMD) is a common impact in coal mining and beneficiation plants and the acidity caused by the oxidation of pyrite is responsible for the mobilization of metals to the water system and to the local soil. Although sulfur concentrations are not as high as in Santa Catarina (Table 2), the levels found in the samples are sufficient to generate DAM. In addition, high levels of elements toxic to human health are made available to the environment when compared to those that occur within the crystalline structure of sulfides. The chemical bonds between metals and clays are weak because of the existence of free charges, the metals being adsorbed on the clay surface by Van der Waals forces. These bonds are also present in metal complexes, formed by the interaction between metal ions and organic matter (Warwick et al., 2005).

The risk of contamination is augmented by the humidity conditions inherent in the environment of the Rio Jacuí floodplain (Figure 3) and by the need for constant pumping of the quaternary aquifer that occurs above the Rio Bonito Formation. Also, the sensitivity is increased in the environment downstream of the project area. In this area, the water system comprises a complex system formed by a delta followed by a lake: Delta do Jacuí and Lake Guaíba, both systems concentrating fine particles and contaminants (Figure 3).

The results cannot be interpreted as representative of the entire Guaíba deposit, but they present a dimension of its potential for contamination, because most elements of environmental importance and for human health were observed at levels more than five times higher compared to world average. The data collected are consistent with geochemical studies carried out in other coal deposits in southern Brazil (Table 2).

## **6. Conclusões**

Facies analysis and facies associations from the GB 04 RS show that the coal-bearing layers formed at the margin of a lake system in a coastal zone, with some marine influence. The facies overlying the coal-bearing layers, coarse to fine, poorly sorted sandstones, indicate that the peat bogs progressed on fandelts when the lacustrine water level was low. The laminated or incipiently laminated pelitic facies overlying the coal-bearing layers indicate the elevation of the lake water level.

The coal-bearing layers consist of interlayers of centimeter to millimeter levels of coal and siltstone. The coal is laminated with occurrence of vitrinite and inertinite macerals. The mineral fraction contains quartz, feldspar, kaolinites, illite and illite-smectite, also goethite, jarosite and some pyrite and crumbles.

The analyzed coal is enriched in chemical elements. The concentration of the elements As and Zn is ten times higher than the world average, while that of the elements Co, Ni, Pb and Sb is five times, and that of Cd, Cr, Cu, Li, Tl, V and F is 2 to 5x. The elements Be, Hg, Se, U and Ba are average and Sr below average.

The total sulfur content is 1.4% indicating that there has been some marine influence on the lake system. Pyrite occurs as small isolated crystals associated with vitrinite or as alterations. Its main occurrence is as alteration to framboidal jarosite and as filler goethites in the lumen of fusinites and semifusinites, as a product of oxidation of a filler pyrite.

The impact caused by mining the coal from the Guaíba deposit presents a high risk for soil and water contamination in the region due to the mobilization of heavy metals in the complex water system surrounding the project area. The following factors contribute to this scenario: 1) the natural condition of concentrator of fine particles and contaminants of the Jacuí Delta and Lake Guaíba, downstream of the mining area; 2) the intense humidity of the floodplain where the project intends to be installed; 3) the high levels observed for elements associated with serious health problems, such as As, Zn, and F, especially As and Zn, whose levels were observed to be above 10x the world average for coal; and 4) the weaker chemical bonds between the metals, organic matter, and clays, due to oxidation of the sulfides originally present in the samples analyzed.

### **Acknowledgments**

This study was supported by the Climate and Society Institute (ICS). The authors would like to thank the Senior Coordinator of the ICS'Energy Portfolio Roberto Kishinami, the Prof. Dr. Léo Hartmann for his contributions, and the Graduate Program in Geosciences (PPGeo-UFRGS).

## References

Associação Brasileira de Carvão Mineral (ABCM), 2020. Dados Estatísticos. p.9 (in Portuguese). From Internet on 7 August 2022: [https://www.siecesc.com.br/dados\\_estatisticos](https://www.siecesc.com.br/dados_estatisticos).

Agency for Toxic Substances and Disease Registry(ATSDR), 2007. Public Health Statement for Arsenic. Division of Toxicology and Human Health Sciences. From Internet on 7 August 2022: <https://www.atsdr.cdc.gov/>.

Bartzatt, R., 2017. Neurological Impact of Zinc Excess and Deficiency In vivo. European Journal of Nutrition & Food Safety. 7(3), 155-160. <https://doi.org/10.9734/EJNFS/2017/35783>

Belkin, H.E, Finkelman, R.B., Zheng, B., and Zhou, D., 1997. Preliminary results on the geochemistry and mineralogy of arsenic in mineralized coals from endemic arsenosis areas in Guizhou Province. United States. Conference. From Internet on 8 August 2022: <https://www.osti.gov/>.

Brazilian Energy Balance 2021 Year 2020 / Empresa de Pesquisa Energética – Rio de Janeiro: EPE, 2021. 292 p. From Internet on 16 July 2022: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-2021>

Cazzulo-Klepzig, M., Guerra-Sommer, M., Formoso, N.L., Calarge, L.M, 2002. Geochemical and Palynological evidence for the age determination of Permian coals, Southern Brazil Journal of South American Earth Sciences, 15 (2), 375-380. [https://doi.org/10.1016/S0895-9811\(02\)00042-1](https://doi.org/10.1016/S0895-9811(02)00042-1)

COP26: The Glasgow Climate Pact, 2021 <https://ukcop26.org/the-glasgow-climate-pact/>

COPELMI Minerações LTDA/TetraTech/ ABG Engenharia e Meio Ambiente, 2018. EIA/RIMA– Estudo de Impacto Ambiental e Relatório de Impacto Ambiental da Mina Guaíba. Tetra Tech/ AGB Engenharia e Meio Ambiente. 8 vol.(in Portuguese). From Internet on 7 August 2022: <http://copelmi.com.br/eia-rima-mina-guaiba/>

Dai, S.,Zeng, R., Sun, Y., 2006. Enrichment of arsenic, antimony, mercury, and thallium in a Late Permian anthracite from Xingren, Guizhou, Southwest China. International Journal of Coal Geology. 66, 217-226. <https://doi.org/10.1016/j.coal.2005.09.001>

Dai, S., Chou, CL., 2007. Occurrence and origin of minerals in a chamosite-bearing coal of Late Permian age, Zhaotong, Yunnan, China. American Mineralogist. 92, 1253–1261. <https://doi.org/10.2138/am.2007.2496>

Dai, S., Rena, D., Chou, CL., Finkelman, R. B., Seredin, V. V. , Zhou, Y..2012. Geochemistry of trace elements in Chinese coals: A review of abundances, genectypes, impacts on human health, and industrial utilization. *International Journal of Coal Geology*. 94, 3-21. <https://doi.org/10.1016/j.coal.2011.02.003>

Dai, S., Luo, Y., Seredin, V. V., Ward, C.R., Howerd, J. C., Zhao, L., Liu, S., Zhao, C., Tian, H., Zou, J., 2014. Revisiting the late Permian coal from the Huayingshan, Sichuan, southwestern China: Enrichment and occurrence modes of minerals and trace elements. *International Journal of Coal Geology*. 122, 110-128. <https://doi.org/10.1016/j.coal.2013.12.016>

Davison, R.S., Natusch, D.F.S., Wallace, J.R., Evans Jr, C.A., 1974. Trace elements in fly ash. Dependence of concentration on particle size. *Environmental Science & Technology*. 8(13), 1107-1113. <https://doi.org/10.1021/es60098a003>.

Finkelman, R.B., Bragg, L.J., Tewalt, S.J., 1990. Byproduct recovery from high-sulfur coals. *Processing and Utilization of High-Sulfur Coals*, vol. III. Elsevier, Amsterdam, pp. 89–96.

Finkelman, R.B., 2004. Potential health impacts of burning coal beds and waste banks. *International Journal of Coal Geology*. 59, 19-24. <https://doi.org/10.1016/j.coal.2003.11.002>

Finkelman, R.B., Palmer, A.C., Wang P., 2018. Quantification of the modes of occurrence of 42 elements in coal. *International Journal of Coal Geology*. 185, 138-160. <https://doi.org/10.1016/j.coal.2017.09.005>

Finkelman, R.B., Dai, S., French, D., 2019. The importance of minerals in coal as the hosts of chemical elements: A review. *International Journal of Coal Geology*. 212, 103-251. <https://doi.org/10.1016/j.coal.2019.103251>

Gayer, R.A., Rose, M., Dehmer, J., Shao L-Y., 1999. Impact of sulphur and trace element geochemistry on the utilization of a marine-influenced coal—case study from the South Wales Variscan foreland basin. *International Journal of Coal Geology*. 40, 151-174. [https://doi.org/10.1016/S0166-5162\(98\)00066-4](https://doi.org/10.1016/S0166-5162(98)00066-4)

Given, P.H., Spackman, W., 1978. Reporting of analyses of low-rank coals on the dry, mineral-matter-free basis. *Fuel* 57, 319-320. [https://doi.org/10.1016/0016-2361\(78\)90014-5](https://doi.org/10.1016/0016-2361(78)90014-5)

Goodarzi, F., 1987. Elemental concentrations in Canadian coals: 2. Byron creek collieries, British Columbia. *Fuel*. 66, 250-254. [https://doi.org/10.1016/0016-2361\(87\)90250-X](https://doi.org/10.1016/0016-2361(87)90250-X)

Guerra-Sommer, M., Marques-Toigo, M., Corrêa da Silva, Z.C, 1991. Original biomass and coal deposition in Southern Brazil (Lower Permian, Paraná Basin). *Bulletin de la Societé Geologique de France*, Paris. 162, 227-237.

Guerra-Sommer, M., Cazzulo-Klepzig, M., Menegat, R., 2001. Roof-shale floras in Early Permian southern Brazilian Gondwana: evidences of the icehouse waning. *Contributions to Geology and Palaeontology of Gondwana in honour of Helmut Wopfner*. In: Weiss, R.H. (Ed.), 231–251.

Guerra-Sommer, M., Cazzulo-Klepzig, M., Formoso, M.L.L., Menegat, R., Fo, J.G.M., 2008. U–Pb dating of tonstein layers from a coal succession of the southern Paraná Basin (Brazil): A new geochronological approach. *Gondwana Research*. 14, 474-482. <https://doi.org/10.1016/j.gr.2008.03.003>.

Guerra-Sommer, M., Cazzulo-Klepzig, M., Menegat, R., Formoso, M.L.L., Basei, M.A.S., Barboza, E.G., Simas, M.W., 2008. Geochronological data from the Faxinal coal succession, southern Paraná Basin, Brazil: A preliminary approach combining radiometric U-Pb dating and palynostratigraphy. *Journal of South American Earth Sciences*. 25, 246-256. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2007.06.007>.

Guerra-Sommer, M., Cazzulo-Klepzig, M., Menegat, R., Santos, J.O.S., 2011. Radiometric Ages from Tonsteins and Geochronological Datum for the Early Permian Coal Succession in Southern Paraná Basin, Brazil. In: Veress, B., Szigethy, J., *Horizons in Earth Science Research*. 5, cap. 15.

Holz, M., Kalkreuth, W., Banerjee, I., 2002. Estratigrafia de seqüência de estratos de carvão parálico: uma visão geral. *International Journal of Coal Geology*. 48, 147-179. [https://doi.org/10.1016/S0166-5162\(01\)00056-8](https://doi.org/10.1016/S0166-5162(01)00056-8)

Holz, M., 2003. Sequence stratigraphy of a lagoonal estuarine system—an example from the lower Permian Rio Bonito Formation, Paraná Basin, Brazil. *Sedimentary Geology*. 162, 305-331. [https://doi.org/10.1016/S0037-0738\(03\)00156-8](https://doi.org/10.1016/S0037-0738(03)00156-8)

Jasper, A., Menegat, R., Guerra-Sommer M., Cazzulo-Klepzig M., Souza, P. A., 2006. Depositional cyclicity and paleoecological variability in an outcrop of Rio Bonito formation, Early Permian, Paraná Basin, Rio Grande do Sul, Brazil. *Journal of South American Earth Science*. 21, 276-293. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2006.05.002>

Kalkreuth, W., Holz, M., Kern, M., Machado, G.A., Silva, M. B., Willett, J. Mexias A., Finkelman, R., Burger, H., 2006. Petrology and chemistry of Permian coals from the Paraná Basin: 1. Santa Terezinha, Leão-Butiá and Candiota Coalfields, Rio Grande do Sul, Brazil. *International Journal of Coal Geology*. 68, 79-116. <https://doi.org/10.1016/j.coal.2005.10.006>

Kalkreuth, W., Holz, M., Mexias, A., Balbinot, M., Levandowski, J., Willett, J., Finkelman, R., Burger, H., 2010. Depositional setting, petrology and chemistry of Permian coals from the Paraná Basin: 2. South Santa Catarina Coalfield, Brazil. *International Journal of Coal Geology*. 84, 213-236. <https://doi.org/10.1016/j.coal.2010.08.008>

Ketris, M. P., Yudovich, Ya. E., 2009. Estimations of Clarkes for Carbonaceous biolithes: World averages for trace element contents in black shales and coals. *International Journal of Coal Geology*. 72, ed.2, 135-148. <https://doi.org/10.1016/j.coal.2009.01.002>

Kuhn, J.K., Fiene, F.L., Cahill, R.A., Glukoter, H.J., Shimp, N.F., 1980. Abundance of Trace and Minor Elements in Organic and Mineral Fractions of Coal. Interagency Energy-Environment Research and Development serie USEPA.p.68.

Ly, D., Zonga, R., Li, X., Wang, D., Liu, H., Wu, X., Wang, X., Yu, D., Feng, T., Zhao, L., Yang, Q., Yong, P., 2016. Oil shale paleo-productivity disturbed by sea water in a coal and oil shale bearing succession: A case study from the Paleogene Huangxian basin of Eastern China. *Journal of Petroleum Science and Engineering*. 139, 62-70. <https://doi.org/10.1016/j.petrol.2015.12.014>

Milani, E.J., Melo, J.H.G., Souza, P.A., Fernandes, L.A., França, A.B., 2007. Bacia do Paraná. B. Geoci. Petrobras, Rio de Janeiro, 15 (2), 265-287.

Natusch, D.F.S. Wallace, J.R., Evans Jr, C.A., 1974. Toxic Trace Elements: Preferential Concentration in Respirable Particles. *Science*. 183, 202-204. DOI: 10.1126/ciencia.183.4121.202.

Piccoli, A.E.M., Menegat, R., Guerra-Sommer, M., Marques-Toigo, M., Porcher, C. (1991). Faciologia da Sequência Sedimentar nas Folhas de Quitéria e Várzea do Capivarita, Rio Grande do Sul. *Pesquisas Em Geociências*, 18(1), 31–43. (In Portuguese). <https://doi.org/10.22456/1807-9806.21360>.

Pires, M., Querol, X., Teixeira, E.C., 2001. Caracterização do carvão de Candiota e suas cinzas. *Geochimica Brasiliensis*.15, 113-130.

Pires, M., Teixeira, E.C., 1991. Distribuição geoquímica dos elementos traço no carvão de Leão, RS. *Geochimica Brasiliensis*. 5(1), 45-52. (in Portuguese) Recovered from: <https://www.geobrasiliensis.org.br/geobrasiliensis/article/view/36>.

Possantti, I., Menegat, R., 2019. Sobre a importância estratégica do Rio Jacuí no planejamento de recursos hídricos da região de Porto Alegre e problemas associados ao projeto Mina Guaíba. In: Prates, C.D., Raguse, E., Alt, J.P., Fleury, L.C., (org). *Painel de Especialistas: análise crítica do Estudo de Impacto Ambiental da Mina Guaíba*. 1, 15-30. (in Portuguese). From Internet on 7 August 2022 :<https://rsemrisco.org.br/>.

Simas, M.W., Guerra-Sommer, M., Cazzulo-Klepzig, M., Menegat, R., Santos, J.O.S., Ferreira, J.A.F., Degani-Schmidt, I., 2012. Geochronological correlation of the main coal interval in Brazilian Lower Permian: Radiometric dating of tonstein and calibration of biostratigraphic framework. *Journal of South American Earth Sciences*. 39, 1-15. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2012.06.001>.

Souza, M.R, Rohr, P., Kahl, V.F.S., Kvitko, K., Cappetta, M., Lopes, W.M., Simon, D., Silva, J., 2020. The influence of polymorphisms of xenobiotic-metabolizing and DNA repair genes in DNA damage, telomere length and global DNA methylation evaluated in open-cast coal mining workers. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 189. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2019.109975>.

Souza, M.R, 2021. Efeitos biológicos induzidos por emissões atmosféricas geradas pelo carvão e por sua queima: Avaliação in vitro de amostras de solo e de populações ambientalmente expostas. Tese de doutoramento. Programa de Pós-Graduação em Biologia Celular e Molecular Aplicada à Saúde da Universidade Luterana do Brasil (ULBRA). (In Portuguese). From Internet on 7 August 2022: <https://www.ulbra.br/canoas/pos-graduacao/presencial/ppgbiosaude/doutorado/teses-defendidas>.

EPA Environmental Protection Agency, 2011. Questions and Answers on Fluoride. EPA-Office of Water, 10p. From Internet on 7 August 2022: <https://www.epa.gov/>.

Walker, R.G., James, N.P., 1992. Facies models—response to sea level change. St. John Newfoundland, Geological Association of Canada 409 p.

Ward C.R., 2016. Analysis, Origin and Significance of Mineral Matter in Coal: An updated review. *International Journal of Coal Geology*. 165, 1-27. <https://doi.org/10.1016/j.coal.2016.07.014>

Warwick. P., Inam, E., Evans, N., 2005. Arsenic's interactions with humic acid. *Environmental Chemistry*. 2(2), 119-124. <https://doi.org/10.1071/EN05025>.

Zhang, J., Ren, D., Zheng, C., Zeng, R., Chou, C.-L., Liu, J., 2002. Trace element abundances in major minerals of Late Permian coals from southwestern Guizhou Province, China. *International Journal of Coal Geology* 53, 55–64 [https://doi.org/10.1016/S0166-5162\(02\)00164-7](https://doi.org/10.1016/S0166-5162(02)00164-7)

<b>ANEXO I</b>
Título da Dissertação:
<b>“A Importância Da Geologia Para A Compreensão Sistêmica Do Impacto Ambiental Decorrente Da Mineração De Carvão: Estudo De Caso No EIA/RIMA Do Projeto Mina Guaíba (Rs), Brasil”</b>
Área de Concentração: Geoquímica
Autora: <b>Juliana Martellet Job</b>
Orientador: Prof. Dr. Norberto Dani
Examinadora: Profa. Dra. Margot Guerra Sommer
Data: 28/11/2022
Conceito: A
PARECER:
<p>A dissertação de mestrado está estruturada em um (1) artigo submetido a periódico classificado nos estratos Qualis-CAPES (A3) e um Texto Integrador, em concordância ao que estabelece o Regimento do PPGEGEO/UFRGS.</p> <p>A dissertação teve como objetivo geral a avaliação da adequabilidade dos estudos apresentados para licenciamento ambiental do Projeto Mina Guaíba e a contribuição no dimensionamento dos impactos decorrentes da atividade de mineração de carvão da Jazida Guaíba.</p> <p>O <b>Texto Integrador</b> está estruturado de acordo com os requisitos formais exigidos para apresentação da dissertação junto ao PPGGEO /UFRGS .Na <b>Introdução</b> é enfatizado o paradoxo entre a baixa qualidade energética do carvão mineral em diferentes bacias brasileiras e o aumento no número de proposições de empreendimentos termelétricos a carvão mineral e de mineração de carvão no sul do Brasil. Dentre eles, destaca-se o Projeto Mina Guaíba, na Região Metropolitana de Porto Alegre - RS, objeto do estudo.</p> <p>O <b>Estado da Arte</b> (1.3) apresenta, além do levantamento da legislação, também o registro feito pelo autor de lacunas e erros metodológicos contidos no diagnóstico ambiental do meio físico do EIA/RIMA do projeto de mineração estudado e análise histórica e crítica da legislação pertinente.</p> <p>Considero que a estruturação do texto extrapola a temática a ser abordada nesse capítulo, que deveria resumir referencial teórico. Todavia o texto constitui, muito mais do que uma perspectiva histórica, também uma análise crítica (subcapítulo 1,3.1), análise essa que já está sistematizada no quadro 2 do capítulo <b>Resultados (1.6)</b> quando são apresentadas análises dos estudos contidos no Diagnóstico Ambiental do Meio Físico do EIA/RIMA do Projeto Mina Guaíba .</p> <p>Considero que a seleção de legislações e resoluções pertinentes aos estudos do meio físico e às atividades de mineração incluído no quadro 1 do sub capítulo <b>1.4.1 ( Levantamento Bibliográfico )</b> deveria ser incluída no Estado da Arte (1.3) . Ressalto, porém, que a temática do subcapítulo 1.3.2 (Sobre o carvão mineral; O material inorgânico no carvão), enquadrando-se muito bem no Estado</p>

da Arte.

Em **Materiais e métodos** (1.4) é justificada a escolha da amostragem no testemunho GB-04-RS e são descritas as diferentes técnicas utilizadas na análise de facies e técnicas analíticas para caracterização do carvão mineral da Jazida Guaíba a partir de fluxograma que demonstra que o critério para a escolha das análises está diretamente relacionado ao objetivo geral da dissertação. .

O Contexto **Geológico** (1.5) caracteriza sinteticamente e localiza a as ocorrências das jazidas de carvão ocorrentes no sul do Brasil incluídas na Formação Rio Bonito . É enfatizado, nesse contexto, que o local de instalação do projeto de mineração da Jazida Guaíba situada na planície de inundação do Rio Jacuí apresenta vários tipos de sensibilidades ambientais e sociais, que requerem a adoção de precauções devido aos riscos associados à contaminação dos recursos hídricos e atmosféricos.

**Resultados** (1.6) :O resultado obtido da análise dos estudos contidos no Diagnóstico Ambiental do Meio Físico do EIA/RIMA do Projeto Mina Guaíba está bem sistematizado no Quadro 2. Todavia, as observações ali estabelecidas, embora bem fundamentadas, deveriam ser corroboradas por jurista especializado na condição de co- autor e a discussão voltada ao contexto ambiental deveria então ser submetida a publicação em periódico voltado a direito ambiental.

Os resultados obtidos na segunda etapa da pesquisa encontram-se no Capítulo 3, que corresponde a artigo submetido à periódico especializado.

O manuscrito “Coal geochemistry and potential environmental pollution: the Guaíba Mine Project in the southern Paraná Basin, Brazil” submetido ao Journal of South American Earth Science teve como linha mestra a obtenção de análises geoquímicas em testemunhos de sondagem do Projeto Mina Guaíba, na Região Metropolitana de Porto Alegre - RS, (análises de fácies, Difração de Raio-X (DRX), Microscopia óptica em luz refletida, Microscopia Eletrônica de Varredura -MEV e análises químicas em ICP-MS e ICP-AES) dado que essa caracterização está ausente do Estudo de Impacto Ambiental do projeto de mineração submetido ao órgão ambiental do Estado do Rio Grande do Sul. Adicionalmente são apresentados também dados referentes a sensibilidade ambiental do suposto local de instalação do projeto de mineração Guaíba, não registrados ou registrados superficialmente na literatura.na literatura.

Os resultados obtidos demonstram alto conteúdo dos elementos químicos analisados (especialmente As, Zn e F) na maioria das amostras, em comparação com a média mundial e que estes elementos se tornam mais facilmente disponíveis ao meio ambiente quando associados a matéria orgânica e minerais argilosos do que os sulfuretos.

Com relação a interpretação do ambiente sedimentar, que relaciona a deposição de carvão em um ambiente lacustre com significativa contribuição continental de um fanelta e com pouca influência marinha a qual encontra similaridades com processos ocorrentes no afloramento Quitéria( (Jasper et al., 2006, Piccoli et al, 1991), seria importante estabelecer correlações com o afloramento que está localizado a ~25 km a SW de Quitéria, e expõe uma sucessão de conglomerados e argilitos intercalados ricos em matéria orgânica e finas camadas de carvão e suas feições faciológicas relacionadas a um ambiente lacustre lembram as fácies OM de Quitéria ( Kubick et al , 2020).

As **conclusões** do manuscrito atendem aos objetivos específicos propostos para o desenvolvimento do projeto, relacionados a caracterização geológica, geoquímica e do ambiente deposicional da Jazida Guaíba **com atenção especial**

**aos estudos geológicos .**

Os resultados de **natureza geológica** obtidos a partir do desenvolvimento do manuscrito permitem com propriedade afirmar conclusivamente que “O impacto causado pela mineração do carvão da jazida de Guaíba apresenta alto risco de contaminação do solo e da água na região devido à mobilização de metais pesados no complexo sistema hídrico no entorno da área do projeto”.

As **Referências Bibliográficas** constantes do Texto Integrador e do manuscrito demonstram pesquisa em fontes fidedignas.



Assinatura:

Data:28/11/2022

Ciente do Orientador:

Ciente do Aluno:

<b>ANEXO I</b>
Título da Dissertação:
<b>“A Importância Da Geologia Para A Compreensão Sistêmica Do Impacto Ambiental Decorrente Da Mineração De Carvão: Estudo De Caso No EIA/RIMA do Projeto Mina Guaíba (RS), Brasil”</b>
Área de Concentração: Geoquímica
Autora: <b>Juliana Martellet Job</b>
Orientador: Prof. Dr. Norberto Dani
Examinador: Prof. Dr. André Jasper
Data: 19/10/2022
Conceito: A
<b>PARECER:</b>
<p>Considerando que a avaliação desta dissertação foi realizada na forma de “diálogo leitor-autor”, este parecer descritivo deve ser considerado em conjunto com as anotações digitais no arquivo PDF encaminhado pela autora à banca. Portanto, os elementos aqui apresentados são (apenas) uma descrição geral e resumida dos “diálogos” conduzidos ao longo do texto. Destaca-se que este tipo de “conversa” somente é possível quando o texto é coeso e bem elaborado, possibilitando a discussão de conceitos e ideias! Parabêniso, de antemão, o mérito da autora em produzir um documento que permitiu tal abordagem. Em uma análise global e integrada, e do ponto de vista formal, o documento apresentado é uma dissertação de mestrado consistente e atende às exigências do PPGGeo/UFRGS para a obtenção do título de Mestre em Geociências. Os principais resultados, de cunho geológico e geoquímico, são apresentados em um MANUSCRITO submetido ao <i>Journal of South American Earth Sciences</i> (ISSN 0895-9811), cujo fator de impacto é 2,453. No corpo do manuscrito, fica evidenciada a adoção de metodologia científica ao longo do desenvolvimento do projeto de mestrado, o que possibilitou que os objetivos relacionados à caracterização faciológica e geoquímica da jazida fossem atingidos. A definição da predominância de um sistema de deposição lacustre e com alguma influência marinha para os níveis associados à camada de carvão, demonstra a possível correlação com exposições anteriormente descritas para o Permiano da porção sul da Bacia do Paraná. Além disso, a ocorrência de altas concentrações de elementos como Arsênico, Zinco, Antimônio, Chumbo (entre outros), podem ser destacadas como diferencial para os carvões gondwânicos, cuja formação se dá em sistemas hipoaútóctones. Esses resultados (bem como a sua discussão e conclusões) por si só, constituem um excelente produto científico para o nível de mestrado, justificando a aprovação da candidata no âmbito das geociências. Por outro lado, o TEXTO INTEGRADOR contextualiza a potencial problemática ambiental advinda da exploração comercial de camadas carvão com as características descritas no manuscrito. Apesar de concordar com as preocupações apresentadas pela autora no que se refere à exploração da camada de carvão do Projeto da Mina Guaíba (preocupação reforçada pelos dados por ela apresentados no manuscrito), fica latente a necessidade de</p>

aprofundamento e refinamento metodológico na análise da regulamentação e procedimentos envolvidos, tanto no que se refere à exploração de recursos naturais no Brasil e no RS, quanto no juízo de valor emitido sobre o processo de licenciamento de empreendimentos de mineração. É importante, novamente, destacar que NÃO se trata das opiniões emitidas pela autora (com as quais tendo a concordar)! Trata-se da necessidade de utilização de metodologias qualitativas específicas aplicáveis à análise da legislação e dos processos para subsidiar as afirmações apresentadas. Por motivos plenamente justificáveis (trata-se de uma dissertação em GEOCIÊNCIAS e não em Ciências Ambientais), enquanto houve clareza e acurácia na coleta e interpretação dos dados geológicos, a análise voltada à esfera de regulação e controle precisa ser aprimorada. Apesar de representar um problema de regulação (federal e estadual), a necessidade de ampliação do espectro de avaliações prévias a serem exigidas no(s) processo(s) de licenciamento é justificada pelos dados faciológicos e geoquímicos. Além disso, a discussão relacionada as ferramentas legais e administrativas envolvidas na liberação da exploração de recursos naturais carece de suporte científico consistente, de forma que os resultados apresentados pela autora preenchem uma lacuna importante nesse contexto.

Assinatura:

Data: 25/11/2022



Ciente do Orientador:

Ciente do Aluno:

<b>ANEXO I</b>
Título da Dissertação:
<b>“A Importância Da Geologia Para A Compreensão Sistêmica Do Impacto Ambiental Decorrente Da Mineração De Carvão: Estudo De Caso No EIA/RIMA Do Projeto Mina Guaíba (RS), Brasil”</b>
Área de Concentração: Geoquímica
Autora: <b>Juliana Martellet Job</b>
Orientador: Prof. Dr. Norberto Dani
Examinador: Prof. Dr. Anderson Maraschin
Data: 10/10/2022
Conceito: <b>A</b>
PARECER:
<p>O estudo desenvolvido pela aluna Juliana Job aborda um tema polêmico em termos de suficiência energética e mudanças climáticas/aquecimento global. Especificamente no caso em questão, muito foi divulgado e discutido na mídia com um bom nível de esclarecimento sobre o impacto que a implementação da Mina Guaíba poderia causar no ambiente e adjacências.</p> <p>Entretanto, o nível de detalhamento exposto na dissertação esclarece de forma definitiva o quão drástico poderia ser o estabelecimento deste empreendimento para o ambiente e as populações que vivem próximas ou mesmo distantes do projeto.</p> <p>A dissertação cumpre com excelência os objetivos propostos, cuja estrutura e escrita permite ao leitor uma compreensão clara dos assuntos, sem que haja qualquer necessidade de retomar textos, mostrando que a aluna domina o conteúdo e a escrita. Raros equívocos de digitação tanto no “Texto Integrador” como no “Artigo”. Referências de acordo com o tema proposto. Figuras com excelente resolução, muito bem elaboradas e informativas.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Apenas destaque: no <b>Resumo há duas “duas etapas”</b>: <i>“Frente a esse paradoxo, <b>a pesquisa se divide em duas etapas</b>: na primeira apresenta uma contribuição na avaliação do EIA/RIMA em conjunto de uma análise histórica da legislação pertinente. A partir da identificação de lacunas nos estudos geológicos do Diagnóstico Ambiental do Meio Físico, <b>na segunda etapa</b>, apresenta um dimensionamento do impacto da exploração. <b>Na segunda etapa</b>, técnicas de análises de fácies, Difração de Raio-X (DRX), Microscopia óptica em luz refletida, Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) e análises químicas em ICP-MS e ICP-AES foram utilizadas para caracterização mineralógica e geoquímica e do ambiente deposicional do carvão.</i></li> <li>• Artigo: páginag.70 - No texto: 3. Methodology: <i>Figure 4</i> e não <i>Figure 3</i>.</li> </ul>

- Artigo: Pg. 85: layers that occur associated with coal are faciologically heterogeneous, with discontinuities in their lateral and vertical distribution; alternations between coarse to fine sandstones with normal gradation and layers of silt with wither sandy levels or intraclasts of organic matter. The interpretation of ????????? (Incompleto)
- Artigo: 6. **Conclusões** pg. 89 – em português?

A parte que envolve o enquadramento da mineração na legislação, o licenciamento ambiental e o estudo de impacto ambiental torna clara a necessidade de rever as políticas ambientais e diretrizes no RS.

A parte técnica de caracterização geológica/estratigráfica ( fácies, associação de fácies e paleoambiente deposicional) está muito bem amarrada aos modelos de ambientes de deposição e estratigráficos, assim como as descrições petrográfica e mineralógica, juntamente com a análise geoquímica, como *proxies* deposicionais.

Tão preocupante quanto às condições ambientais foram os altos níveis de elementos tóxicos detectados nas amostras, mais um fator indicando a inviabilidade de instalação de um projeto deste porte.

Entende-se este trabalho como um inédito estudo integrador de três áreas (Direito/Legislação/Política Mineral, Geologia/Geoquímica e Geologia Médica) para comprovar os danos irreversíveis à saúde humana e ao meio ambiente local e regional no caso de implantação da Mina Guaíba.

Assim, parabênizo a aluna e seu orientador pela qualidade técnica da dissertação, certo de considerar a publicação do artigo.

Assinatura:

Data: 10/10/2022

Ciente do Orientador:

Ciente do Aluno: