



Mineração no Rio Grande do Sul

DIAGNÓSTICO SETORIAL
E VISÃO DE FUTURO

VOLUME II
2022/2023



GOVERNO DO ESTADO
RIO GRANDE DO SUL

SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE
E INFRAESTRUTURA



GOVERNO DO ESTADO
RIO GRANDE DO SUL
SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE
E INFRAESTRUTURA

Mineração

no Rio Grande do Sul

DIAGNÓSTICO SETORIAL
E VISÃO DE FUTURO

VOLUME II
DIAGNÓSTICO DO SETOR MINERAL DO ESTADO
2022/2023

Rio Grande do Sul. Secretaria do Meio Ambiente
e Infraestrutura
Mineração no Rio Grande do Sul [livro
eletrônico] : diagnóstico setorial e visão de
futuro : volume II / Secretaria do Meio Ambiente
e Infraestrutura. -- 1. ed. -- Porto Alegre, RS :
Ed. dos Autores, 2022.

PDF.

Vários autores.
Bibliografia.
ISBN 978-65-00-59350-1

1. Engenharia de minas 2. Geociências
3. Mineração 4. Mineração - Aspectos ambientais
5. Mineração - Leis e legislação I. Título.

22-140126

CDD-622.292098165

Índices para catálogo sistemático:

1. Mineração : Diagnósticos : Rio Grande do Sul :
Engenharia de minas 622.292098165

Aline Grazielle Benitez - Bibliotecária - CRB-1/3129

ELABORAÇÃO DO DIAGNÓSTICO DO SETOR MINERAL DO ESTADO

Equipe Técnica

Secretaria do Meio Ambiente e Infraestrutura

Ana Luiza Ferreira Sperb
Francielle da Silva Niewinski
Graziela Santos Klamt
José Luiz Giumelli Marquezan
Lucas Roncarati Gomes
Otavio Pereira De Lima
Roberto Mentzingen Rolo
Tuanny Borba De Freitas

Colaboradores Externos

Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Rodrigo de Lemos Peroni
Carlos Otávio Petter
André Cesar Zingano
Ivo André Homrich Schneider
Jorge Dariano Gavronski
André Camargo de Azevedo
Weslei Ambrós

VOLUME II

DIAGNÓSTICO DO SETOR MINERAL DO ESTADO
2022/2023

SIGLAS E ABREVIATURAS

ABCERAM	Associação Brasileira de Cerâmica
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ACV	Análise de Ciclo de Vida
ANM	Agência Nacional de Mineração
CBC	Companhia Brasileira do Cobre
CFEM	Compensação Financeira pela Exploração de Recursos Minerais
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CONSEMA	Conselho Estadual do Meio Ambiente
CPRM	Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais
DAM	Drenagem Ácida de Minas
DEMIN	Departamento de Engenharia de Minas (UFRGS)
DEMET	Departamento de Engenharia Metalúrgica (UFRGS)
DNPM	Departamento Nacional da Produção Mineral
DOU	Diário Oficial da União
ESG	Environmental, Social and Governance (Ambiental, Social e Governança)
FAD	Flotação por Ar Dissolvido
FEPAM	Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luiz Roessler
IBAMA	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
LAMIN	Laboratórios de Análises Minerais
LTM	Laboratório de Tecnologia Mineral e Ambiental
MME	Ministério de Minas e Energia
NBR	Norma Brasileira
NPK	Nitrogênio, Fósforo e Potássio
PAE	Plano de Aproveitamento Econômico
PFM	Plano de Fechamento de Mina
PLG	Permissão de Lavra Garimpeira

PMD	Programa Mineração e Desenvolvimento
PPI	Programa de Parcerias de Investimentos
RCD	Resíduos de construção e demolição
REEEs	Resíduos de Equipamentos Eletroeletrônicos
ROM	Run of mine
SBS	Sensor-based sorting
SGM	Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral
SIGMINE	Sistema de Informações Geográficas da Mineração
SIG	Sistema de Informação Geográfica
SISEPRA	Sistema Estadual de Proteção Ambiental
SISNAMA	Sistema Nacional do Meio Ambiente
TCFA	Taxa de Controle e Fiscalização Ambiental
UFRGS	Universidade Federal do rio Grande do Sul
VANTs	Veículos Aéreos Não Tripulados
WCA	World Coal Association

Sumário

1.	Introdução	1
2.	Evolução da Legislação do Setor	3
2.1.	Legislação Minerária	3
2.2.	Histórico da Legislação Ambiental.....	4
3.	Cenário Atual	7
3.1.	Os regimes de aproveitamento e panorama no Rio Grande do Sul	7
3.2.	Arrecadação de CFEM no Rio Grande do Sul	15
4.	Potencial de Aproveitamento	19
4.1.	Materiais para Construção Civil.....	21
4.2.	Minerais Metálicos	27
4.3.	Recursos Energéticos	31
4.3.1.	Carvão Mineral na Matriz Energética	38
4.4.	Águas Minerais	40
4.5.	Indústria Cerâmica.....	43
4.6.	Pedras Preciosas.....	50
4.7.	Rochas Ornamentais.....	53
4.8.	Insumos Agrícolas.....	59
4.9.	Processos Minerários em Disponibilidade	62
5.	Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação para o Setor Mineral	64
5.1.	Eficiência de Processos	65
5.1.1.	Técnicas de mapeamento e modelagem com VANTS e sensores aerotransportados e integração com realidade virtual na mineração	65
5.1.2.	Otimização de processos de filtragem de rejeitos ultrafinos para disposição por empilhamento a seco	70
5.2.	Redução de Consumo	72
5.2.1.	Novas técnicas para tratamento de efluentes potencialmente geradores de drenagem ácida e reuso de águas de processo.....	72
5.2.2.	Ecologia Industrial e a Análise de Ciclo de Vida (ACV)	75
5.3.	Redução e Controle de Impactos Ambientais	79
5.3.1.	Mineração Urbana – Processos de Reciclagem	79
5.3.2.	Técnicas de disposição de rejeito por empilhamento a seco.....	84
5.3.3.	Desenvolvimento de tecnossolos a partir de rejeitos de mineração.....	90
5.3.4.	Mineração responsável – Processos de Descomissionamento e fechamento de mina	92
	REFERÊNCIAS	103

1. Introdução

A mineração acontece desde a pré-história, nossos antepassados procuravam os melhores fragmentos de sílex para confecção de ferramentas e armas. As primeiras ferramentas de pedra que se tem notícia datam de 2,6 milhões de anos. Conforme o *Homo sapiens* se desenvolveu e sua população cresceu, as comunidades começaram a substituir o estilo de vida nômade. As tribos se fixaram em locais com disponibilidade de recursos primários como água, comida e abrigo. Entretanto, outros recursos naturais também tinham sua importância. Os minerais e rochas extraídos da crosta terrestre foram provavelmente os primeiros materiais comercializados. Algumas tribos podem ter tido acesso regular a sílex ou obsidiana, altamente valorizados por suas arestas afiadas. Outras podem ter tido acesso ao melhor barro para fazer potes, tigelas ou outros utensílios.

A mina mais antiga de que se tem conhecimento é uma mina de carvão no sul da África que data entre 40.000 e 20.000 anos atrás, porém, a mineração não se tornou uma indústria significativa até que civilizações mais avançadas se desenvolvessem, entre 10.000 e 7.000 anos atrás. Até então, os únicos metais disponíveis eram aqueles encontrados em seu estado nativo, destacando-se cobre. Ouro, prata e mercúrio também foram encontrados e valorizados pela sociedade. A aplicação de fogo a materiais minerados é um dos avanços mais importantes da civilização humana, os egípcios e sumérios já fundiam ouro e prata há 6.000 anos.

Extremamente importante para a humanidade, usamos minerais para nomear diferentes períodos ao longo do desenvolvimento da civilização humana: idade da pedra, do cobre, do bronze, entre outros. Assim, é inegável a contribuição da mineração para o desenvolvimento da sociedade e economia. Dez países, entre os vinte onde a mineração mais contribuiu para a economia, subiram posições na classificação do Banco Mundial entre 1996 e 2016.

No Brasil, a mineração se confunde com a própria história do país. Alguns séculos após o início da colonização, a atividade mineral começou a ocorrer. Segundo dados do Ministério de Minas e Energia, em 2017, o setor teve 4,69% de participação em todas as riquezas geradas no país. Ocupando a nona posição mundial no ranking de maiores produtores de minérios, sendo ainda o segundo maior produtor de minério de ferro.

O Estado do Rio Grande do Sul possui diversas ocorrências minerais de grande importância econômica e é um grande produtor de carvão mineral e exportador de gemas. No entanto, apesar do grande potencial de contribuição na economia, a participação da indústria mineral no PIB é menor que 0,3%. Apesar do elevado potencial citado, por outro lado, a atividade mineral pode causar relevantes impactos ambientais.

Nesse panorama, deve-se evidenciar a importância do Estado no fomento, licenciamento, fiscalização e cobrança de impostos dos empreendimentos de mineração. No Brasil, a Constituição Federal declara que recursos minerais pertencem à União, a pesquisa e a lavra desses recursos somente poderão ser efetuadas mediante autorização ou concessão da União por meio da Agência Nacional de Mineração (ANM). O licenciamento ambiental é de responsabilidade dos órgãos federais, estaduais e/ou municipais a depender do tipo de substância mineral, magnitude e localização geográfica do empreendimento.

O papel da Secretaria Estadual do Meio Ambiente e Infraestrutura do Rio Grande do Sul, por meio do Departamento de Mineração, é apoiar o planejamento e a gestão sustentável dos recursos minerais, promovendo a competitividade e a geração de valor, riqueza e emprego para o desenvolvimento socioeconômico do Estado.

O presente documento é o Volume II do trabalho realizado pelo Departamento de Mineração intitulado “Mineração no Rio Grande do Sul: Diagnóstico Setorial e Visão de Futuro”. O documento se divide em duas partes:

- Volume I - Sumário Executivo: Contempla o contexto geral da mineração no Rio Grande do Sul, tendências, desafios, visão de futuro e macroestratégias para a promoção do setor no Estado.
- Volume II - Diagnóstico do Setor Mineral do Estado: Apresenta informações detalhadas e específicas que incluem dados de processos minerários, arrecadação de impostos, reservas estaduais, produção e tendências de inovação para o setor mineral.

2. Evolução da Legislação do Setor

2.1. Legislação Minerária

Em 1934, a Constituição disciplinava o regime de concessão para a exploração das minas, tendo a União que repassar a autorização para o particular ter direitos a explorá-las. Este direito foi regularizado pelo Código de Minas - Decreto n.º 24.642, de 10 de julho de 1934. Após seu surgimento, foi criado o Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM), o qual ficou responsável pelas autorizações e concessões para a exploração e gestão dos recursos minerais.

Surge então, em de 28 de fevereiro de 1967, legislação pertinente com elementos regulatórios e peculiaridades inerentes da atividade, denominado Código de Mineração, regulamentado pelo Decreto-lei n.º 227.

O Direito Minerário é fundamentado por legislação específica, juntamente com legislações atuantes e diversas, norteadas por meio de princípios e órgãos que foram criados para este fim, como a ANM e o Ministério de Minas e Energia (MME). Possui como diretriz, a inclusão das licenças ambientais, fator imprescindível para o funcionamento, instalação e operação da atividade.

A Constituição Federal de 1988 assume papel importante na atividade minerária, norteadando agentes econômicos submetidos à regulação, quando especifica quais entes terão acesso à pesquisa, além de lavra de recursos minerais, necessitando de autorização ou concessão da União, a qual possui competência legislativa privativa em matéria ambiental.

Adjacentemente, em 2010, foi publicada a Lei n.º 12.334, de 20 de setembro de 2010, que estabeleceu a Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB). A Política tem diversos objetivos, como a garantia da observância de padrões de segurança de barragens de maneira a reduzir a possibilidade de acidente e suas consequências, e a regulamentação das ações de segurança a serem adotadas. A Lei n.º 12.334 também criou o Sistema Nacional de Informações Sobre Segurança de Barragens (SNISB) para o registro das condições de segurança de barragens em todo território nacional. A Lei aplica-se às barragens destinadas à acumulação de água para quaisquer usos, à disposição final ou temporária de rejeitos e à acumulação de resíduos industriais.

Na sequência, foi lançado em 2011, o Plano Nacional de Mineração 2030 que tem como objetivo nortear o setor minerário pelos próximos 20 anos, abordando de forma integrada as diversas etapas da geologia, mineração e transformação.

Três Medidas Provisórias (MP) foram apresentadas pelo Governo Federal em 2017. Essas foram as MP n.º 789 (de contexto arrecadatório) - Compensação Financeira pela Exploração de Recursos Minerais (CFEM), convertida na Lei n.º 13.540, de 18 de dezembro de 2017, e regulamentada pelos Decretos n.º 9.252, de 28 de dezembro de 2017, e n.º 9.407, de 12 de junho de

2018; a MP n.º 790 (de contexto regulatório) - Código de Mineração – que não foi votada pelo Congresso Nacional, perdendo, portanto, a sua validade; e a MP n.º 791 (de contexto institucional) – criação da Agência Nacional de Mineração (ANM) e extinção do Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM), também convertida na Lei n.º 13.575, de 26 de dezembro de 2017. Como a MP n.º 790, que propunha modificações e modernizações no Código Mineral de 1967 não foi votada, alguns aperfeiçoamentos foram introduzidos via decreto na Legislação. O mais importante é o Decreto n.º 9.406, de 12 de junho de 2018, que estabelece o novo Regulamento do Código de Mineração.

Em 28 de setembro de 2020, surge o Programa Mineração e Desenvolvimento - PMD, com a Portaria n.º 354, que designa a Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral - SGM/MME como coordenadora da observância no cumprimento e no acompanhamento do PMD. O PMD contempla 110 metas e ações em dez áreas de concentração temática na mineração para o período de 2020 a 2023. O Programa trata de questões referentes à economia mineral, à sustentabilidade, ao conhecimento geológico, ao aproveitamento mineral em novas áreas, aos investimentos e financiamentos, à tecnologia e inovação mineral. Também inclui assuntos relacionados à governança, gestão e eficiência, enfrentamento à mineração ilícita e imagem da mineração, expansão de áreas sujeitas à atividade, aumento da produção e às receitas provenientes dessa atividade, à elevação do grau de sustentabilidade do setor. Ademais, ainda estrutura os mais variados e diversos dados oficiais sobre a mineração brasileira. Na questão da segurança jurídica, o objetivo é a atração de investimentos para projetos na área de mineração, inclusive do exterior.

A Resolução ANM n.º 94, publicada em 08 de fevereiro de 2022, regulamentou o sistema brasileiro de certificação de reservas e recursos minerais, com base em padrões internacionalmente aceitos. Dessa forma, a gestão do patrimônio mineral e sua contabilização, da autorização inicial de pesquisa à outorga do direito de lavra e eventuais reavaliações de reservas, evolui ao longo de três conceitos interligados ao longo do processo minerário: Potencial Exploratório, Recurso Mineral (Medido, Indicado e Inferido), e Reserva Mineral (Provável e Provada). Estas etapas estão definidas com clareza no seu artigo 4º, e representam etapas com níveis crescentes de certeza quanto ao potencial econômico, exequibilidade técnica e sustentabilidade ambiental da pesquisa submetida à apreciação da ANM.

2.2. Histórico da Legislação Ambiental

A Política Nacional do Meio Ambiente, estabelecida em meados da década de 80, é considerada um dos mais importantes diplomas legais do Direito Ambiental Brasileiro. A Constituição de 1988 dedica um capítulo completo à proteção ambiental. No entanto, a principal norma ambiental do País ainda é a Lei n.º 6.938, de 31 de agosto de 1981, atualizada pela Lei n.º 7.804, de

18 de julho de 1989, que aprovou a Política Nacional do Meio Ambiente (PNMA). Nesta Lei, o licenciamento ambiental foi definido como competência dos órgãos integrantes do Sistema Nacional do Meio Ambiente (SISNAMA), representados, na esfera federal, pelo Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA) e pelos órgãos de meio ambiente dos Estados, dos municípios e do Distrito Federal (BARROS, 2017; VIANA, 2015).

O objetivo da Lei n.º 6.938/1981, (e atualizada pela Lei n.º 7.804/89) é considerar o meio ambiente como um patrimônio público a ser protegido, onde prevalece o interesse da coletividade na preservação ambiental, a melhoria e recuperação da qualidade ambiental. Esta Lei estabelece a Política Nacional do Meio Ambiente e constitui o Sistema Nacional do Meio Ambiente – SISNAMA, cria o CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente, órgão consultivo e deliberativo, inserido na estrutura do Ministério do Meio Ambiente (MMA). O mesmo possui o poder normativo e tem por finalidade assessorar, estudar e propor ao Conselho de Governo, diretrizes de políticas governamentais para o meio ambiente e recursos naturais.

A Lei nº 6.938/81 necessita ser interpretada em conjunto com a Lei Complementar 140, de 08 de dezembro de 2011, que passou a disciplinar as competências materiais comuns de todos os entes federativos. As sanções penais e administrativas, derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente, surgem em 12 de fevereiro de 1998 dispostas na Lei n.º 9.605, em que pessoas jurídicas serão responsabilizadas administrativa, civil e penalmente, nos casos em que a infração seja cometida por decisão de seu representante legal ou contratual, ou de seu órgão colegiado, no interesse ou benefício da sua entidade.

O Licenciamento Ambiental é etapa primordial e fundamental para a atividade mineral. Órgãos Estaduais e municipais de Meio Ambiente são responsáveis pelo licenciamento ambiental das atividades de mineração. Excepcionalmente, o IBAMA, órgão federal, assume essa responsabilidade. A exigência do licenciamento ambiental reside na Resolução CONAMA n.º 237, de 19 de dezembro de 1997, no art 3º determina que: A licença ambiental para empreendimentos e atividades consideradas efetiva ou potencialmente causadoras de significativa degradação do meio dependerá de prévio estudo e relatório de impacto sobre o meio ambiente (EIA/RIMA).

No Estado do Rio Grande do Sul, a Lei n.º 10.330, de 27 de dezembro de 1994, organiza o Sistema Estadual de Proteção Ambiental (SISEPRA), bem como elabora e implementa a política ambiental do Estado. Dentre as suas principais contribuições, destaca-se a criação do Conselho Estadual do Meio Ambiente - CONSEMA, órgão superior do Sistema SISEPRA, de caráter deliberativo e normativo, responsável pela aprovação e acompanhamento da implementação da Política Estadual do Meio Ambiente. Neste sentido, o CONAMA e CONSEMA, são órgãos que estabelecem as normas,

critérios e as diretrizes a serem seguidas pelos agentes que desenvolvem ou possam vir a desenvolver atividades potencialmente impactantes ao meio ambiente.

Assim, as atividades relacionadas com extração/mineração, como de materiais destinados ao setor da construção civil, no Estado do Rio Grande do Sul, são licenciadas e fiscalizadas pelas Secretarias Municipais de Meio Ambiente, pela Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luiz Roessler (Fepam) e/ou pelo Instituto Brasileiro de Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA).

No âmbito federal, a Lei n.º 10.165, de 27 de dezembro de 2000 instituiu a Taxa de Controle e Fiscalização Ambiental – TCFA que, e em seu Art. 17-B complementa a Lei n.º 6.938/81, a qual dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, conferindo poder de polícia ao IBAMA para controle e fiscalização das atividades potencialmente poluidoras e utilizadoras de recursos naturais. Neste sentido, torna claro o obrigatório registro de todas as pessoas físicas ou jurídicas que se dedicam a atividades potencialmente poluidoras, assim como processos de extração citados no Artigo 17, incisos I e II da Lei nº 6.938/81. Assim, a regularização dos empreendimentos é realizada através do cadastro técnico federal junto ao IBAMA, conforme a emissão do Certificado de Registro.

Na Lei n.º 15.434, de 09 de janeiro de 2020, foi criado o Novo Código Ambiental do Rio Grande do Sul, que assim atualiza a sua legislação, tornando-a mais ágil e clara, com rigor e embasamento técnico, conferindo mais proteção ao meio ambiente, segurança jurídica, maior participação da sociedade e com alinhamento e sintonia com a legislação federal. Os procedimentos administrativos no âmbito do Estado do Rio Grande do Sul foram estabelecidos pelo Decreto n.º 55.374, de 22 de janeiro de 2020, que regulamenta os arts. 90 a 103 da Lei n.º 15.434/2020, e dispõem sobre as infrações e as sanções administrativas aplicáveis às condutas e às atividades lesivas ao meio ambiente, juntamente com e os arts. 35 e 36 da Lei nº 10.350, de 30 de dezembro de 1994, que dispõem sobre as infrações e penalidades no âmbito do Sistema Estadual de Recursos Hídricos.

Com objetivos de sustentabilidade ambiental, manutenção da atividade econômica da atual indústria carbonífera e substituição de termelétricas antigas por novas e modernas a carvão nacional, a Portaria nº 540/MME - agosto de 2021, detalha o Programa para Uso Sustentável do Carvão Mineral Nacional que vai na busca da recuperação ambiental, da adoção de novas e modernas plantas a carvão, desenvolvimento e continuidade desta atividade na região Sul do Brasil, garantindo assim, maior segurança energética no País.

3. Cenário Atual

O território do Estado do Rio Grande do Sul (RS) é caracterizado pela disponibilidade de grandes jazidas minerais, de diversas categorias, distribuídas em distintas formações geológicas, muitas delas com potencial de aproveitamento econômico e utilização para diferentes atividades industriais e agrícolas, tais como: pedras preciosas (ametista, ágata e outras), rochas ornamentais, carvão mineral, argilas, areias, calcário, saibro, água mineral, dentre outros, havendo diversos processos na etapa de pesquisa, prospecção e licenciamento para lavra, junto à Agência Nacional de Mineração – ANM.

3.1. Os regimes de aproveitamento e panorama no Rio Grande do Sul

A Agência Nacional de Mineração (ANM), criada pela Lei n.º 13.575/2017 em substituição ao antigo Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM), tem a função de promover o planejamento e o fomento da exploração mineral, o aproveitamento dos recursos minerais e gerir as pesquisas geológicas, minerais e de tecnologia mineral, bem como assegurar, controlar e fiscalizar o exercício das atividades de mineração em todo o território nacional, na forma do que dispõem o Código de Mineração, o Código de Águas Minerais (Decreto-Lei n.º 7.841, de 8 de agosto de 1945), os respectivos regulamentos e a legislação que os complementa.

Os regimes de aproveitamento mineral são divididos conforme a substância mineral a ser explorada, o grau de dificuldade de aproveitamento, a destinação a ser dada aos recursos explorados e os aspectos de caráter social; sendo estes:

1) Regime de Autorização: depende de expedição de alvará pela ANM. A autorização de pesquisa é outorgada mediante requerimento que deverá conter os elementos de instrução constantes do art. 16 do Decreto-Lei nº 227, de 1967 - Código de Mineração, e atender aos requisitos estabelecidos em Resolução da ANM. A autorização tem como título o alvará, cujo extrato é publicado do Diário Oficial da União (DOU). O prazo de validade da autorização de pesquisa não é inferior a um ano, nem superior a três anos, podendo ser prorrogado mediante critérios estabelecidos em Lei (Decreto Nº 9.406, de 12 de junho de 2018, alterado

pelo Decreto n.º 11.197, de 15 de setembro de 2022). O alvará autoriza a execução de trabalhos relacionados à definição da jazida, sua avaliação e a definição de uma expectativa de aproveitamento econômico. A pesquisa mineral compreende levantamentos geológicos detalhados da área a pesquisar, em escala adequada, estudos dos afloramentos e suas correlações, levantamentos geofísicos e geoquímicos; abertura de escavações e execução de sondagens; amostragens sistemáticas; análises físicas e químicas das amostras e dos testemunhos de sondagens; e ensaios de beneficiamento dos minérios ou das substâncias minerais úteis, para obtenção de concentrados de acordo com as especificações do mercado ou aproveitamento industrial. Ao concluir os trabalhos, o titular fica obrigado a apresentar à ANM o relatório final de pesquisa, independentemente do resultado desta. Realizada a pesquisa e apresentado o relatório final, se ficar demonstrada a existência de jazida aproveitável técnica e economicamente será proferido despacho de aprovação do relatório;

2) Regime de Concessão: aprovado o relatório final de pesquisa referido acima, o titular tem um ano para requerer a concessão de lavra; esse prazo poderá ser prorrogado por igual período mediante condições aprovadas pela ANM. Se encerrado o prazo sem que o titular ou o seu sucessor tenha requerido concessão de lavra, o seu direito caducará e a ANM declarará a disponibilidade da jazida pesquisada, para fins de requerimento de concessão de lavra. O requerente terá o prazo de sessenta dias para o cumprimento de exigências com vistas à melhor instrução do requerimento de concessão de lavra e para comprovar o ingresso, no órgão competente, da solicitação com vistas ao licenciamento ambiental. O requerente deverá, a cada seis meses, contados da data de comprovação do ingresso, no órgão competente, da solicitação com vistas ao licenciamento ambiental e, até que a licença ambiental seja apresentada à ANM, demonstrar que o procedimento de licenciamento ambiental está em curso e que o requerente tem adotado as medidas necessárias para a obtenção da licença ambiental, sob pena de indeferimento do requerimento de lavra. O Plano de Aproveitamento Econômico (PAE) é documento obrigatório do requerimento de concessão de lavra e deverá conter, além dos documentos e das informações exigidas pelo art. 39 do Decreto-Lei nº 227, de 1967 - Código de Mineração, descrição das instalações de beneficiamento, indicadores relativos às reservas e produção e plano de fechamento da mina, nos termos estabelecidos em Resolução da ANM. A concessão de lavra terá título cujo extrato simplificado será publicado no Diário Oficial da União e teor transcrito em registro da ANM, outorgado por Portaria do Ministro de Estado de Minas e Energia. Para as substâncias

minerais de que trata o art. 1º da Lei nº 6.567, de 24 de setembro de 1978, a concessão de lavra terá título outorgado em Resolução da ANM. A jazida deverá ser lavrada de acordo com o PAE;

3) Regime de Licenciamento: O licenciamento depende da obtenção, pelo interessado, de licença específica, expedida pela autoridade administrativa local, no município de situação da jazida, e da efetivação do competente registro na ANM. Podem ser aproveitados pelo regime de licenciamento: I) areias, cascalhos e saibros para utilização imediata na construção civil, no preparo de agregados e argamassas, desde que não sejam submetidos a processo industrial de beneficiamento, nem se destinem como matéria-prima à indústria de transformação; II) rochas e outras substâncias minerais, quando aparelhadas para paralelepípedos, guias, sarjetas, moirões e afins; III) argilas para indústrias diversas; IV) rochas, quando britadas para uso imediato na construção civil e os calcários empregados como corretivo de solo na agricultura; V) rochas ornamentais e de revestimento; VI) carbonatos de cálcio e de magnésio empregados em indústrias diversas (Lei Nº 13.975, de 7 de janeiro de 2020). O aproveitamento mineral por licenciamento fica limitado à área máxima de cinquenta hectares (50 ha), e é facultado exclusivamente ao proprietário do solo ou a quem dele tiver expressa autorização (salvo se a jazida situar-se em imóveis pertencentes a pessoa jurídica de direito público, bem como se publicado o ato determinativo do cancelamento do registro de licença, a habilitação ao aproveitamento da jazida, sob o regime de licenciamento, estará facultada a qualquer interessado, independentemente de autorização do proprietário do solo, observados os demais requisitos previstos na Lei Nº 6.567, de 24 de setembro de 1978). O título autorizativo é o Registro de Licença e a emissão fica condicionada à apresentação da Licença Ambiental expedida pelo órgão ambiental competente;

4) Permissão de Lavra Garimpeira: regime de extração de substâncias minerais com aproveitamento imediato de substância mineral garimpável, compreendido o material inconsolidado, que por sua natureza, seu limite espacial, sua localização e sua utilização econômica, possa ser lavrado, independentemente de trabalhos prévios de pesquisa, segundo os critérios estabelecidos pela ANM. São considerados como minerais garimpáveis o ouro, diamante, cassiterita, columbita, tantalita, volframita, nas formas aluvionar, eluvional e coluvial, scheelita, demais gemas, rutilo, quartzo, berilo, muscovita, espodumênio, lepidolita, feldspato, mica e outros tipos de ocorrência que vierem a ser

indicados a critério da ANM. As áreas de garimpagem são estabelecidas segundo portaria, levando-se em consideração a ocorrência do bem mineral garimpável, o interesse do setor mineral e as razões de ordem social e ambiental. A criação ou ampliação de áreas de garimpagem fica condicionada à prévia licença do órgão ambiental competente. Nas áreas estabelecidas para garimpagem, os trabalhos deverão ser realizados preferencialmente em forma associativa, com prioridade para cooperativas de garimpeiros. Se o número de garimpeiros não justificar o bloqueio da área reservada para essa atividade, a área de garimpagem poderá ser reduzida. Excepcionalmente, a critério da ANM, poderão ser outorgadas permissões de lavra garimpeira em áreas livres de relevante interesse social ou objeto de autorização de pesquisa, concessão de lavra, manifesto de mina, licenciamento ou registro de extração que estão fora das áreas estabelecidas para garimpagem, quando as respectivas atividades sejam compatíveis com os trabalhos inerentes aos títulos vigentes (observados os termos do art. 7º da Lei nº 7.805, de 18 de julho de 1989). A Permissão de Lavra Garimpeira (PLG) é concedida pelo Diretor-Geral da ANM, pelo prazo de até cinco anos, podendo ser sucessivamente renovada à critério da ANM. A área permissionada não poderá exceder 50 (cinquenta) hectares, salvo quando outorgada a cooperativa de garimpeiros. O título pode ser objeto de cessão ou transferência de direitos, mediante anuência da ANM, a quem satisfaça os requisitos legais;

5) Regime de Monopolização: quando, em decorrência de lei especial, depender de execução direta ou indireta do Poder Executivo federal (para petróleo, gás e elementos radioativos, como urânio; não podem ser requeridas na ANM).

O disposto nos regimes descritos acima não se aplica a órgãos da administração direta e autárquica da União, dos Estados, do Distrito Federal e dos Municípios, sendo permitido a esses, a extração de substâncias minerais de emprego imediato na construção civil (definidas em Portaria do Ministro de Estado de Minas e Energia) mediante Registro de Extração. O Registro de Extração é uma declaração fornecida pela ANM exclusivamente aos órgãos acima mencionados, que permite a extração de substâncias de uso imediato na construção civil, para utilização somente em obras públicas por eles executadas diretamente, sendo proibida sua venda, lavra por terceiros ou transferência para empresas privadas. Este aproveitamento mineral é limitado à área máxima de cinco hectares (5 ha). O prazo é determinado a critério da ANM, considerando as necessidades da obra a ser executada e a extensão da área objetivada no requerimento. O prazo pode ser de até cinco

anos, sendo permitida apenas uma prorrogação. O registro de extração pode ser feito em área onerada, isto é, com direitos minerários já autorizados pela ANM, desde que o titular destes direitos autorize expressamente a extração pelo órgão público. O titular é isento de taxas e a tramitação é bastante simples. A declaração do registro de extração é emitida somente após o assentimento do órgão ambiental competente (ANM, 2021a).

Uma forma indireta de avaliar a situação do setor de mineração no Estado é analisando-se a quantidade de requerimentos protocolados e concedidos junto à ANM, pois esses números têm relação direta com a atividade do setor. Com relação aos requerimentos protocolados, de 2018 a 2020, o Rio Grande do Sul figura entre os Estados da região Sul com maior **quantidade de requerimentos** junto à agência. O mesmo ainda ocupa a 5ª e 6ª posição no ranking nacional (ANM, 2021b). Porém é notável que houve redução significativa nos valores.

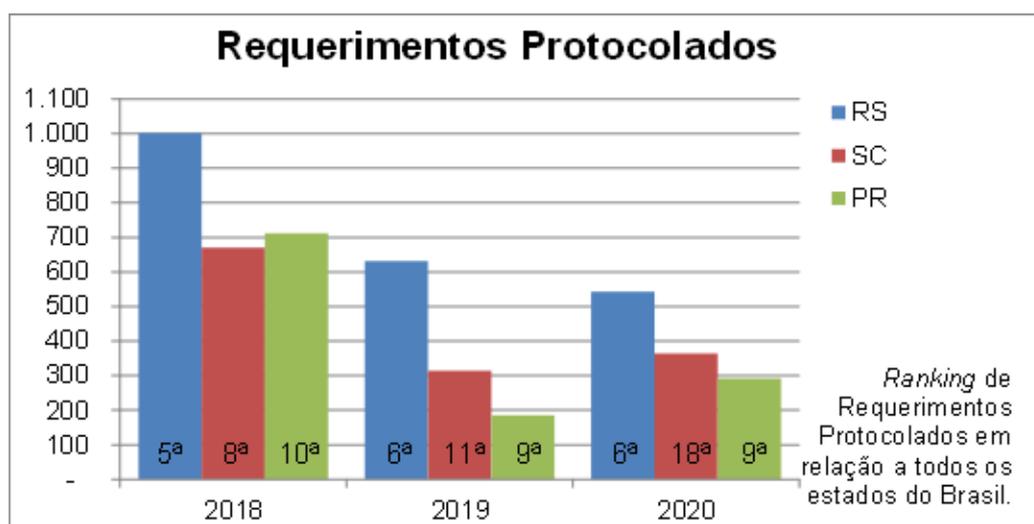


Figura 1 - Requerimentos protocolados junto à ANM (Requerimentos de Pesquisa, Requerimentos de Licença, Requerimentos de Lavra Garimpeira e Requerimentos de Registro de Extração).

As substâncias com mais requerimentos de pesquisa nos anos de 2018, 2019 e 2020 no Rio Grande do Sul são apresentadas na Tabela abaixo.

Tabela 1 - Substâncias com mais requerimentos de pesquisa.

2018			2019			2020		
1º	Areia	50	1º	Cobre	42	1º	Areia	85
2º	Argila	27	2º	Areia	18	2º	Argila	37
3º	Ouro	14	3º	Argila	11	3º	Cascalho	27
4º	Cobre	12	4º	Basalto	9	4º	Basalto	20
5º	Basalto	11	5º	Água Mineral	7	5º	Turfa	8

Fonte: Cadastro Mineiro (ANM, 2021)

A etapa de Autorização de Pesquisa é encerrada quando da aprovação do Relatório Final de Pesquisa e emissão do Alvará de Pesquisa (título autorizativo desse regime). Após isso, o Requerimento de Concessão de Lavra (ou Requerimento de Lavra) deve ser solicitado. Nessa fase, já foram identificadas e caracterizadas as reservas minerais, e busca-se uma autorização para extração, beneficiamento e comercialização do bem mineral identificado na etapa anterior.

Nos anos de 2018, 2019 e 2020 o Rio Grande do Sul teve de 217 a 372 Alvarás de Pesquisa publicados, Figura 2. Da mesma forma, o Estado esteve na 7ª, 6ª e 10ª posição, respectivamente, em Requerimentos de Lavra protocolados, Figura 3.

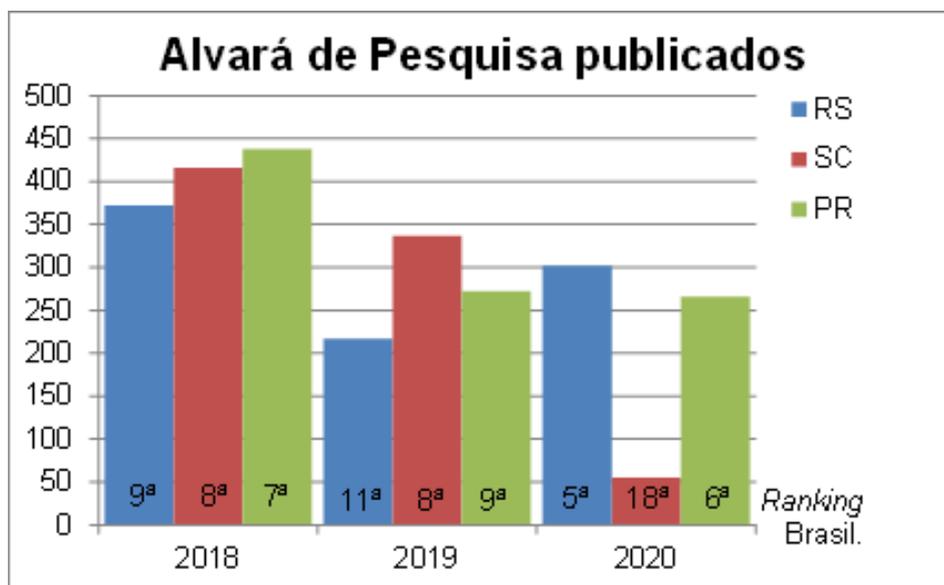


Figura 2 - Alvarás de Pesquisa publicados pela ANM.



Figura 3 - Requerimentos de Lavra protocolados na ANM.

Se toda a documentação apresentada no Requerimento de Lavra estiver correta e se o Plano de Aproveitamento Econômico (PAE) estiver adequado, será emitida a Portaria de Lavra, que autoriza as operações coordenadas para aproveitamento industrial da jazida, desde a extração das substâncias minerais úteis que contiver, até o beneficiamento das mesmas (Art. 36 do Código de Minas – Decreto - Lei Nº 227, de 28 de fevereiro de 1967 e suas alterações). O processo de Autorização/Concessão é esquematizado na Figura 4.

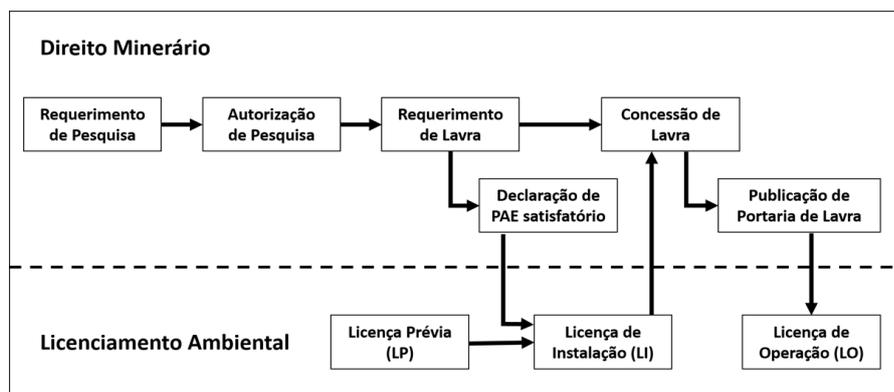


Figura 4 - Fluxograma do processo de autorização/concessão.

Entre 2018 e 2020 houve um pequeno aumento na quantidade de Portarias de Lavra publicadas para o Rio Grande do Sul, Figura 5.

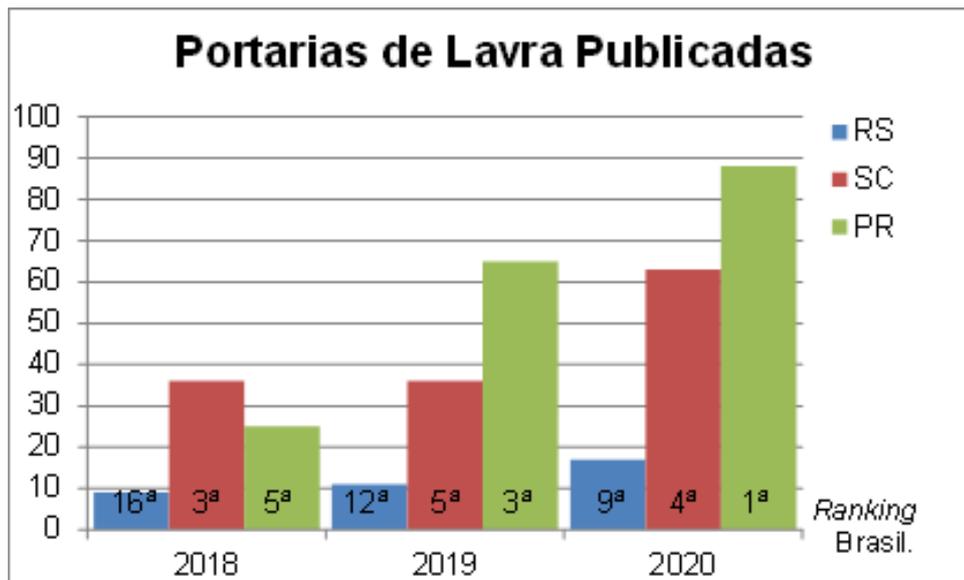


Figura 5 - Portarias de Lavra publicadas pela ANM.

Quanto aos outros Regimes de Aproveitamento, cabe comentar que o Rio Grande do Sul se destaca na quantidade de Registros de Extração e Licenciamentos outorgados, Figuras 6 e 7. Resultando principalmente em função da mineração no Estado estar fortemente baseada na extração e consumo de materiais para a construção civil; sendo o primeiro colocado na região sul e em nível nacional na quantidade de outorgas emitidas para esses regimes.

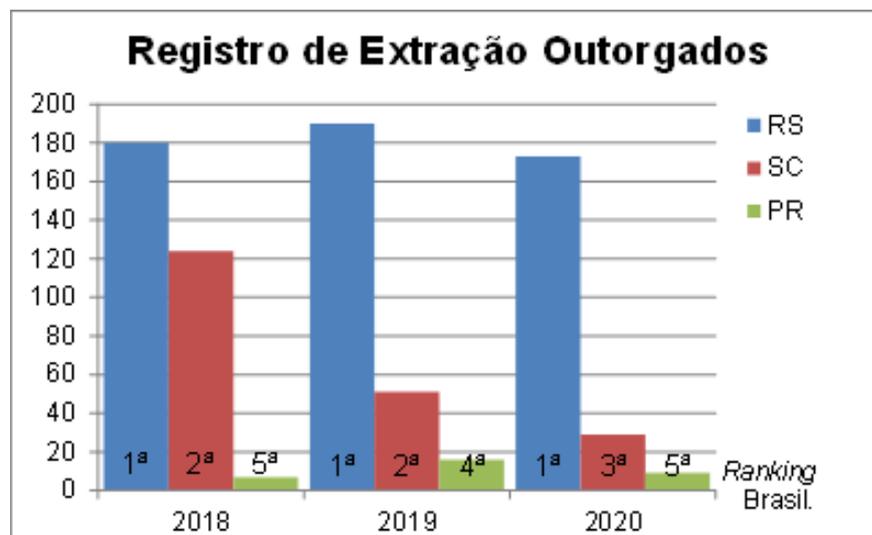


Figura 6 - Registros de Extração Outorgados pela ANM.

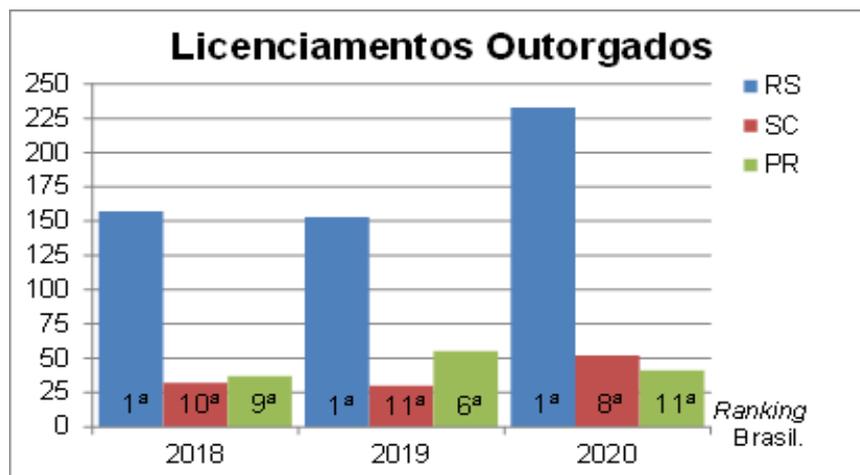


Figura 7 - Licenciamentos outorgados pela ANM.

O Estado também tem importante colocação na quantidade de Permissões de Lavra Garimpeira outorgadas, Figura 8. Isso se deve à alta produção de gemas, em especial ágata e ametista, importantes na atividade econômica, principalmente, na região do Médio Alto Uruguai, região central do Estado e fronteira oeste.

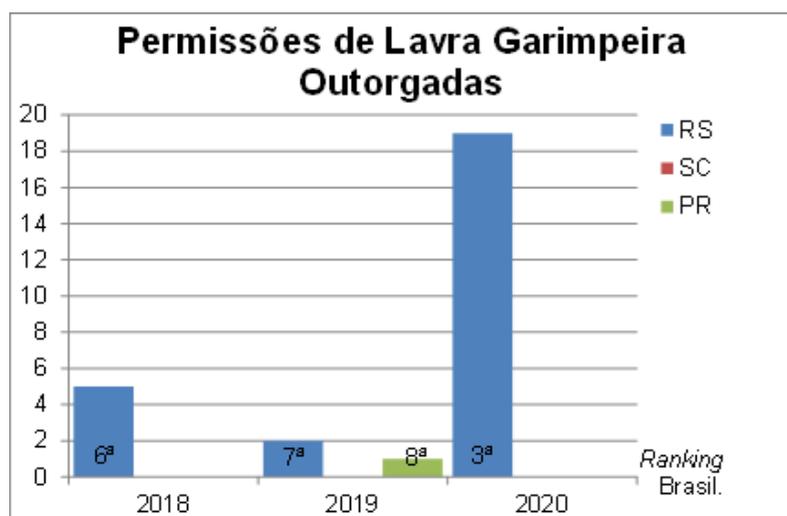


Figura 8 - Permissões de Lavra Garimpeira outorgadas pela ANM.

3.2. Arrecadação de CFEM no Rio Grande do Sul

A Constituição de 1988 assegurou aos entes federados **Compensação Financeira pela Exploração dos Recursos Minerais - CFEM**, conforme o artigo 20, §1º. É por meio dessa compensação que os entes federados (União, Estados, Distrito Federal e Municípios) obtêm a parcela que lhes cabe do valor dos recursos minerais e podem aplicar tais receitas em prol da população – as

quais se adicionam, é claro, os benefícios advindos da própria atividade industrial de exploração e aproveitamento dos recursos (IBRAM, 2020).

Conforme a Lei 13.540/2017, os recursos da CFEM são distribuídos entre os municípios e os Estados onde ocorrem a produção de minérios, a União e, também, entre os municípios afetados, de acordo com as porcentagens da Figura 9.

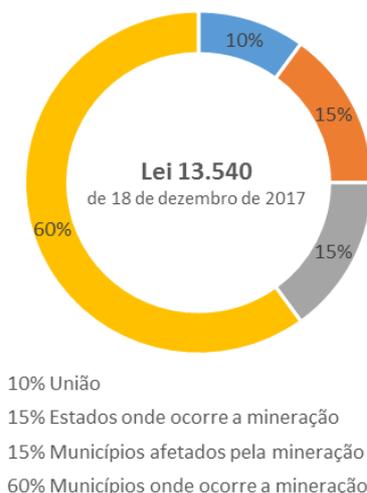


Figura 9 - Distribuição da CFEM. Fonte: Adaptado de Informações da Economia Mineral Brasileira 2020 (IBRAM, 2020).

As alíquotas são aplicadas sobre o faturamento bruto e variam de acordo com a substância mineral, Tabela 2.

Tabela 2 - Alíquotas de incidência da CFEM

Lei 13.540, de 18/12/2017	
Alíquota	Substâncias
3,5%	Ferro, observados os critérios em Lei
3,0%	Bauxita, mangnês, nióbio e sal-gema
2,0%	Diamante, e demais substâncias minerais
1,5%	Ouro
1,0%	Rochas, areias, cascalhos, saibros, e demais substâncias minerais quando destinadas ao uso imediato na construção civil; rochas ornamentais; água mineral e termal

Além de liderar a arrecadação de CFEM em 6 tipos de substâncias minerais no Brasil, o Rio Grande do Sul aparece em 2º, 3º e 4º lugares em outras substâncias, Tabela 3.

Tabela 3 - Arrecadação de CFEM do Rio Grande do Sul no ranking nacional (2020).

1º Lugar	2º Lugar	3º Lugar	4º Lugar
Carvão	Saibro	Calcita	Areia
Basalto	Sienito		Cascalho
Ametista	Riolito		
Ágata			
Calcedônia			
Arenito			

Fonte: Sistema Arrecadação ANM

Em 2020 a arrecadação de CFEM no Rio Grande do Sul foi de aproximadamente R\$ 20,5 milhões, valor 9,7% maior do que o observado em 2019, Figura 10.

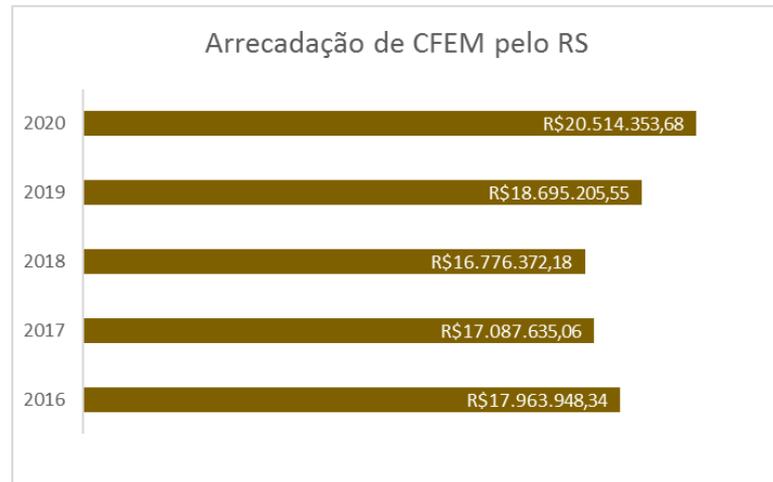


Figura 10 - Arrecadação de CFEM pelo RS 2016-2020. Fonte: Sistema Arrecadação ANM.

Na lista de arrecadação de CFEM por substâncias, o carvão mineral desponta com cerca de R\$ 8,3 milhões em 2020, o que equivale a 40,5% da arrecadação total no Estado. Basalto e água mineral seguem em segundo e terceiro lugares, com participações de 22,2% e 8,4%, respectivamente (Tabela 4).

Tabela 4 - Arrecadação de CFEM por substância no Rio Grande do Sul - 2020.

Ranking	Substância	CFEM (R\$)	% na arrecadação total
1	Carvão Mineral	8.303.238,28	40,5%
2	Basalto	4.562.653,13	22,2%
3	Água Mineral	1.722.192,88	8,4%
4	Areia	1.632.202,18	8,0%
5	Calcário Dolomítico	1.569.774,61	7,7%
6	Granito	841.026,51	4,1%
7	Gema	610.985,40	3,0%
8	Argila	330.851,55	1,6%
9	Saibro	315.419,25	1,5%
10	Caulim	193.744,01	0,9%
-	Outras	432.265,88	2,1%

Fonte: Sistema Arrecadação ANM.

Com relação à arrecadação pelos municípios, destaca-se que 212 municípios arrecadaram recursos da CFEM em 2020 no Estado. Dentre eles, destaca-se o de Candiota, que lidera o ranking com 18,8% da CFEM arrecadada, seguida por Arroio dos Ratos, com 16,7% (Tabela 5).

Tabela 5 - Arrecadação de CFEM por município - 2020.

Ranking	Município	CFEM (R\$)	% na arrecadação total
1	Candiota	3.851.162,54	18,8%
2	Arroio dos Ratos	3.426.812,17	16,7%
3	Lajeado	1.118.105,61	5,5%
4	Cachoeira do Sul	742.783,29	3,6%
5	Pantano Grande	720.176,75	3,5%
6	Butiá	642.805,12	3,1%
7	Ametista do Sul	551.378,27	2,7%
8	Caxias do Sul	386.901,10	1,9%
9	Montenegro	380.859,95	1,9%
10	Caçapava do Sul	373.920,54	1,8%
-	Outros	8.319.448,34	40,6%

Fonte: Sistema Arrecadação ANM.

4. Potencial de Aproveitamento

O conhecimento geológico propicia uma espécie de “inventário” dos recursos minerais disponíveis e o seu mapeamento possibilita a avaliação do potencial mineral e o detalhamento do meio físico de um território. Embora o Rio Grande do Sul tenha vocação mineral para diversos produtos, como, por exemplo, carvão mineral, minerais metálicos e agregados para a construção civil, seu verdadeiro potencial mineral ainda necessita de ampla avaliação. A ampliação do conhecimento geológico brasileiro, através de levantamentos geológicos, geofísicos e geoquímicos é uma das metas estipuladas pelo Programa Mineração e Desenvolvimento (MME, 2020). Na Tabela 6 são apresentadas as reservas minerais do Rio Grande do Sul, de acordo com o Anuário Mineral Estadual (ANM, 2019).

Tabela 6 - Reservas minerais estaduais.

Classe / Substância	Medida	RESERVAS*			
		Indicada	Inferida	Lavrável	
Chumbo					
Chumbo	t Pb	65.564	264.225	180.694	-
Cobre					
Cobre	t Cu	312.854	126.676	95.385	-
Ouro					
Ouro (Primário)	kg Au	8.757	2.460	3.557	-
Prata					
Prata (Primária)	kg Ag	246.485	169.644	126.660	-
Titânio					
Ilmenita	t TiO ₂	13.317.306	4.566.418	1.358.656	-
Rutilo	t TiO ₂	529.653	191.440	56.188	-
Zinco					
Zinco	t Zn	49.663	230.617	115.813	-
Zircônio					
Zirconita (Primária)	kg ZrSiO ₄	1.428.621.000	598.236.000	164.303.000	-
Areias Industriais					
Areia Industrial	t	4.679.401	2.350.821	2.336.400	6.935.618
Argilas					

Argilas Comuns	t	861.146.542	17.991.576	10.808.290	830.561.256
Argilas Plásticas	t	2.215.174	1.736.374	-	106.818
Argilas Refratárias	t	39.095.596	5.961.329	3.522.355	1.374.891
Bentonita e Argilas Descorantes	t	713.000	592.000	-	1.305.000
Calcário					
Calcário	t	295.023.184	138.147.119	169.739.047	268.435.113
Conchas Calcárias	t	3.775.857	10.770.000	-	7.578.455
Caulim					
Caulim	t	23.829.468	18.372.399	11.834.988	4.348.479
Cianita e Outros Minerais Refratários					
Cianita e Outros Minerais Refratários	t	343.500	110.000	21.000	-
Rochas Ornamentais					
Ornamental (Granito, Gnaiss e afins)	t	208.131.289	30.001.213	437.681.427	68.373.660
Ornamental (Mármore e afins)	t	129.943.585	-	-	-
Quartzito Ornamental	t	31.020.273	-	-	-
Rochas Ornamentais – Outras					
Outras Rochas Ornamentais (Pedra de Talhe, Pedra-Sabão, Basalto, etc.)	t	57.444.586	1.459.925	248.570	7.069.510
Talco e Outras Cargas Mineraias					
Talco	t	4.488.594	792.241	332.291	4.543.267
Carvão Mineral					
Carvão Mineral	t	6.550.906.743	11.263.208.210	7.395.029.507	2.820.095.757
Turfa					
Turfa	t	73.979.791	93.532.992	9.001.273	-

Fonte: Anuário Mineral Estadual Rio Grande do Sul Ano Base 2017 (ANM, 2019).

*Nota: A Resolução ANM nº 94/2022 alinhou as definições de Recursos/Reservas Mineraias aos padrões internacionalmente aceitos. As definições atualizadas constam no Glossário de Termos Técnicos.

A seguir serão apresentadas informações sobre os 8 grupos de substâncias mineraias já definidas no Volume I, a saber: 1) Materiais para Construção Civil; 2) Mineraias Metálicas; 3) Recursos Energéticos; 4) Águas Mineraias; 5) Indústria Cerâmica; 6) Pedras Preciosas; 7) Rochas Ornamentais; 8) Insumos Agrícolas.

Mapas de densidade de processos, minas em operação e arrecadação de CFEM complementarão os dados quantitativos de cada grupo. Ao final, serão apresentados os processos minerários em disponibilidade no Estado.

Os mapas de densidade de processos foram produzidos a partir dos processos de mineração consultados no sistema SIGMINE (ANM). Para cada substância mineral foi considerado o número de processos minerários e suas localizações. A densidade de processos por município é proporcional ao número de processos de mineração de cada substância naquele município. Ressalta-se que, para elaboração dos mapas, os processos em fase de requerimento (exceto o de lavra) não foram considerados, pois não têm o Relatório Final de Pesquisa aprovado, sendo indícios incipientes para indicar a presença de depósito mineral. Já os mapas das minas em operação foram elaborados a partir das licenças de operação constantes no banco de dados da Fepam. Para os mapas de arrecadação de CFEM, foram consultados os dados referentes a 2020 no sistema de arrecadação da ANM.

4.1. Materiais para Construção Civil

Dentre os materiais empregados na construção civil, figuram principalmente os chamados “agregados para construção civil”; esse termo é aplicado para identificar um segmento do setor de produção mineral que fornece matéria prima bruta ou beneficiada para uso imediato na indústria da construção civil (FRAZÃO, 2007). Os agregados, mais precisamente, a rocha britada, o cascalho e as areias naturais ou obtidas por moagem de rocha, além do saibro e dos substitutivos como resíduos inertes reciclados, escórias de aciaria, produtos industriais, entre outros, são as substâncias minerais mais consumidas no mundo.

Este setor caracteriza-se pela demanda por grandes volumes e baixo valor relativo e, em consequência, delimita micromercados em distâncias de até 100 km para brita e até 300 km para areia, com exceção de regiões onde a disponibilidade de reservas é praticamente nula. Assim, a logística de distribuição é de fundamental importância para a operação das empresas, pois seu custo pode variar de 30% até 70% do preço final ao consumidor (IBRAM, 2020).

A mineração de agregados para construção civil, comparada a outros setores da mineração brasileira, possui características típicas, destacando-se: elevados volumes de produção, beneficiamento simples, baixo preço unitário, alto custo relativo a transporte e a

necessidade de proximidade das fontes produtoras com o local de consumo. Por representarem em torno de 80% da massa do concreto e 30% do custo, exige adequado controle de qualidade a fim de garantir a manutenção das propriedades físicas e mecânicas.

No Rio Grande do Sul, os agregados de maior relevância são: a brita (produzida principalmente a partir de granitos, basaltos e riolitos/riolitos) e areias. Eles podem ser classificados de várias formas: quanto à origem do material, massa específica, o tipo de fragmentação e a granulometria.

Segundo Quaresma (2009), os produtos das pedreiras de brita (ou rocha britada) são: gabião, brita graduada, brita ou bica corrida, areia de britagem, pó de pedra, cascalho e saibro. O termo Brita refere-se a fragmentos de rochas (granito, gnaisse, calcário e basalto), detonadas com explosivos em blocos de rocha. Após as detonações, frações de rocha passam por um processo de redução granulométrica, conhecido como britagem, e por classificação em faixas granulométricas, conhecida como peneiramento. A brita é classificada de acordo com a sua granulometria, ou seja, o diâmetro médio dos grãos. Assim, existe o Pó de Brita, a Brita 0, a Brita 1, a Brita 2, a Brita 3 e a Brita 4. Cada um desses tipos, ou combinações dessas frações, tem uma função específica na construção civil, seja para fabricação de concreto, pavimentação, construção de edificações ou de grandes obras, como ferrovias, túneis e barragens. No Estado do RS, segundo Zwirtes e Hammes (2016), são exploradas rochas graníticas, basalto, andesito, diabásio, diorito, gabro, gnaisse, rochas calcárias, quartzito, entre outras.

Outro material largamente utilizado no Estado é o saibro, usado no revestimento de estradas não pavimentadas, preenchimento de buracos, bem como na construção civil, como aterro (edificações, barragens, encontros de viadutos e de pontes). Em algumas ocasiões é usado na confecção de argamassas de emboço (chapisco) e assentamento de tijolos.

O saibro é definido segundo a NBR 13529/2013, pode ser caracterizado como material proveniente de granitos e gnaisses com minerais parcialmente decompostos, com baixo teor de argila e coloração variada. Corresponde a todo material areno-argiloso extraído de áreas geralmente próximas de obras de construção civil, selecionado principalmente por suas características granulométricas, para ser utilizado basicamente, "*in natura*", em obras civis. Geralmente, as jazidas desses materiais encontram-se muito próximas das vias de acesso ou dentro do perímetro urbano. Por se tratar de um produto de

emprego imediato na construção civil, suas ocorrências tornam-se mais importantes quanto mais próximas estiverem às frentes de lavra em relação às áreas com obras de aterro (ZWIRTES e HAMMES, 2016).

As Figuras 11, 12 e 13 apresentam os mapas de densidade de processos dos materiais para construção civil, de acordo com os processos minerários constantes no SIGMINE (ANM).

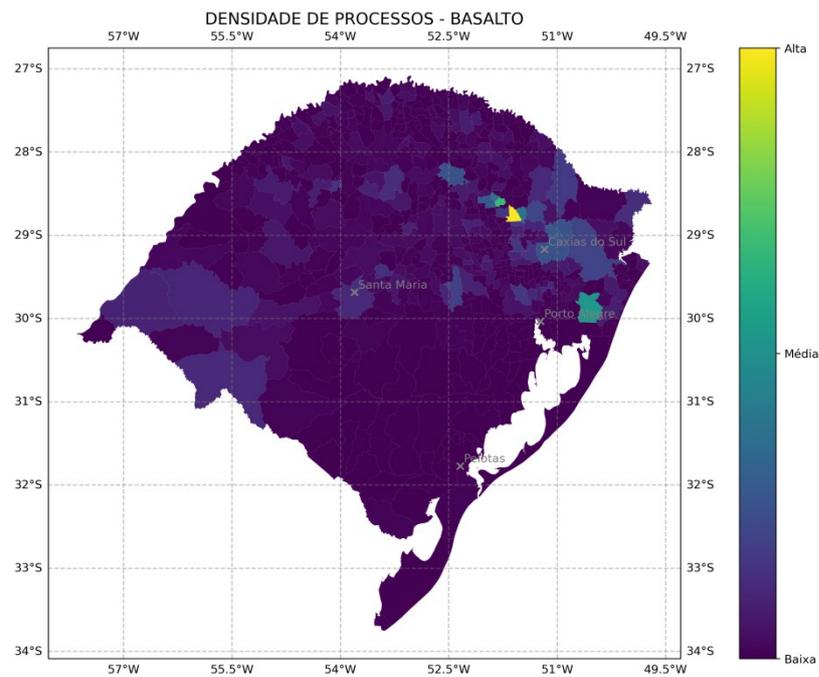


Figura 11 - Densidade de processos para basalto no RS.

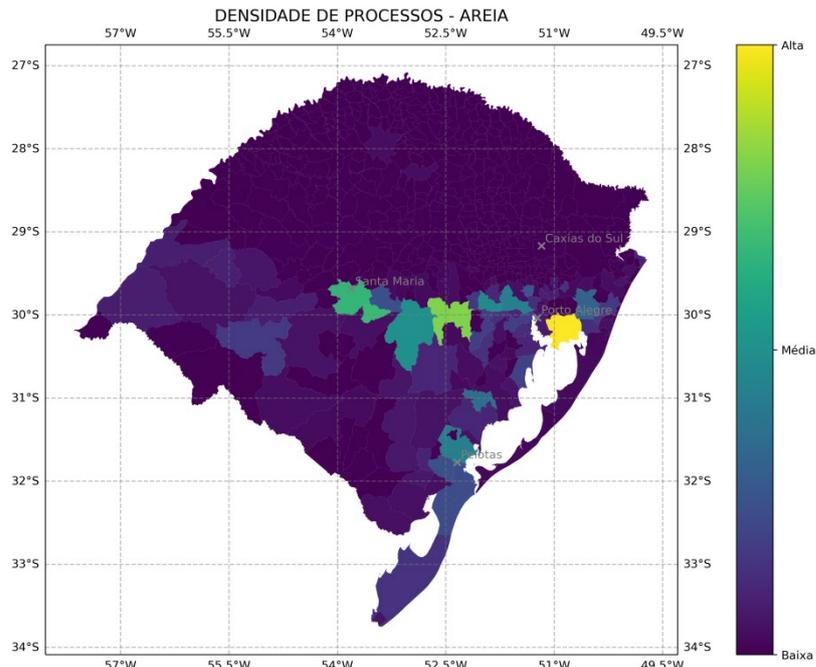


Figura 12 - Densidade de processos para areia no RS.

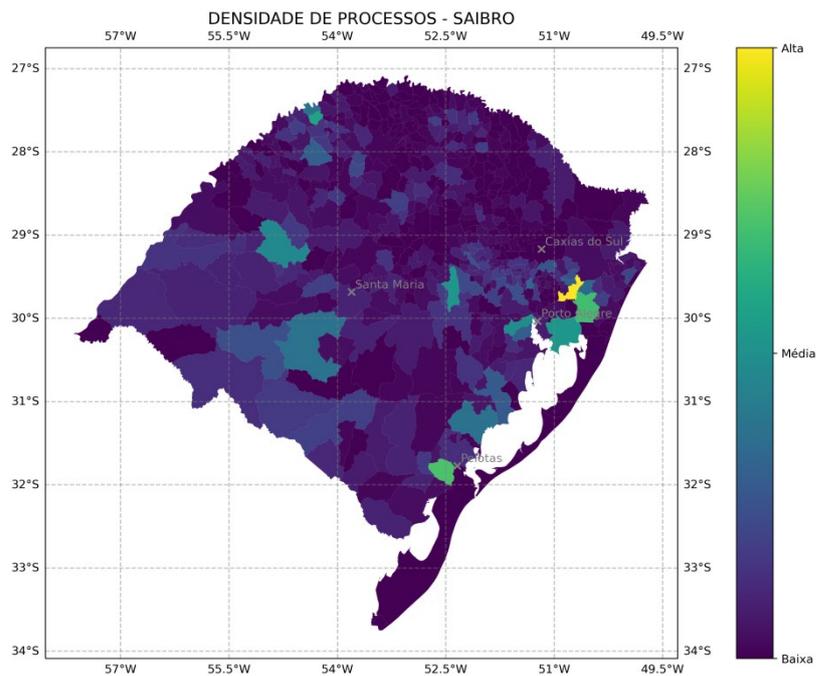


Figura 13 - Densidade de processos para saibro no RS.

Devido à ampla diversidade de substâncias minerais abrangidas pelos materiais para construção civil, na Tabela 7, apresenta-se os municípios produtores das substâncias de maior relevância econômica para o RS.

Tabela 7 - Principais substâncias e municípios produtores de materiais para construção civil.

Substância/Município	Quantidade comercializada (em mil toneladas)				
	2013	2014	2015	2016	2017
Areia					
Charqueadas	2.724,9	3.852,0	3.192,1	2.552,7	1.950,0
Santa Maria	1.549,5	1.235,5	1.444,0	1.464,1	1.447,3
Osório	547,4	545,5	662,0	920,8	920,0
Triunfo	620,9	475,8	335,3	294,0	520,8
Rio Pardo	710,4	665,6	543,4	447,9	509,1
Brita e Cascalho					
Montenegro	2.182,7	1.661,0	1.290,4	1.456,6	1.893,1
Gravataí	764,8	822,6	747,8	793,8	856,6
Portão	1.602,4	1.198,8	967,6	902,0	747,6
Estrela	585,5	627,5	587,5	578,1	689,8
Campo Bom	663,1	676,3	692,8	841,2	598,6
Saibro					
Taquara	224,2	460,9	234,2	336,2	249,1
Santo Antônio da Patrulha	605,1	433,0	206,0	217,9	202,4
Viamão	445,8	333,5	342,1	397,3	179,4
Capão do Leão	1.214,7	906,1	691,9	150,9	151,7
Santa Cruz do Sul	90,6	117,1	106,7	132,1	140,6

Fonte: Anuário Mineral Estadual Rio Grande do Sul Ano Base 2017 (ANM, 2019).

Os empreendimentos de materiais para a construção civil são predominantemente compostos por micro e pequenas empresas. A Tabela 8 mostra o porte das minas no Estado, em que a classificação se dá em quatro categorias, de acordo com a produção bruta anual, sendo estas:

- Grande: minas com produção bruta (ROM) anual maior que 1.000.000 t;
- Média: minas com produção bruta (ROM) entre 100.000 t e 1.000.000 t;
- Pequena: produção bruta (ROM) anual entre 10.000 t e 100.000 t;
- Micro: minas com produção bruta (ROM) anual abaixo de 10.000 t.

Tabela 8 - Porte das minas de materiais para construção civil.

Substância	Porte / Quantidade de Minas				Total
	Grande	Média	Pequena	Micro	
Areia	1	19	78	86	184
Rochas (Britadas) e Cascalho	2	47	101	86	236
Saibro	-	4	51	127	182

Fonte: Anuário Mineral Estadual Rio Grande do Sul Ano Base 2017 (ANM, 2019).

Na Figura 14 é apresentado o mapa de localização das minas de materiais para construção civil, com base em licenças ambientais do banco de dados da Fepam (Licenças de Operação).

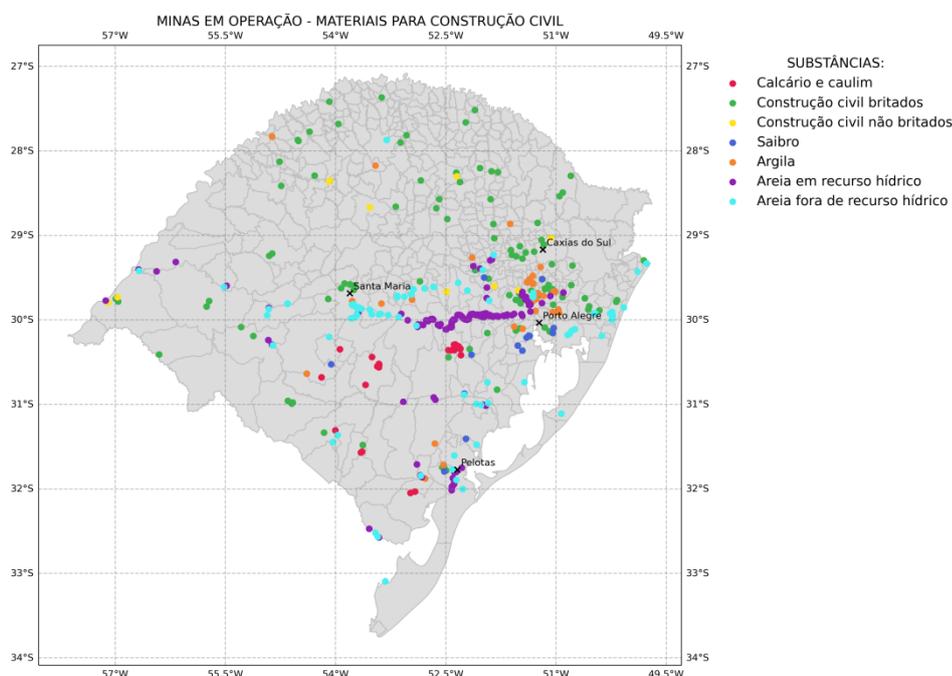


Figura 14 - Localização das minas de materiais para construção civil.

Em 2020, o município de Montenegro liderou a arrecadação de CFEM para basalto, o recolhimento foi de R\$ 362 mil. Para areia, a maior arrecadação foi por parte de Santa Maria, com R\$ 261 mil. Já para calcário, a maior arrecadação ocorreu por Pântano Grande, com R\$ 450 mil. A Figura 15 apresenta o recolhimento de CFEM pelos municípios produtores de materiais para construção civil no ano de 2020.

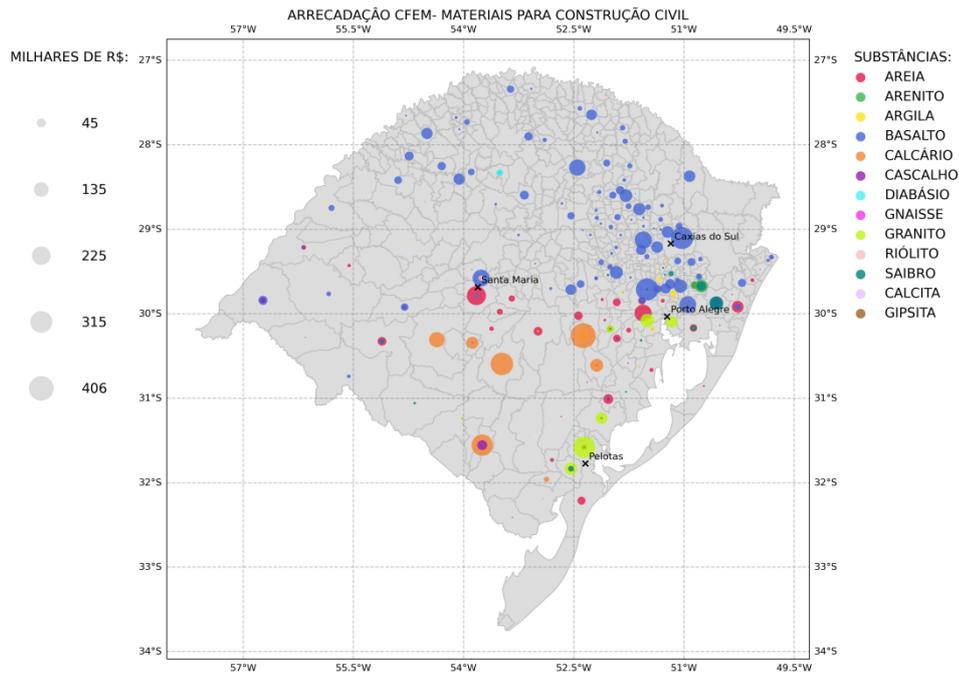


Figura 15 - Recolhimento de CFEM pelos municípios produtores de materiais para construção civil.

4.2. Minerais Metálicos

Os minerais metálicos são recursos naturais encontrados no subsolo que possuem em sua estrutura elementos físicos e químicos de metal. Por possibilitarem uma razoável condução de calor e eletricidade, são de grande importância para a indústria, pois servem de matéria-prima para a produção de eletrodomésticos, eletrônicos, baterias, fios elétricos e até como fonte de energia. Dos carros aos computadores, os minérios estão presentes em grande parte de tudo o que cerca a humanidade.

O Estado do Rio Grande do Sul é constituído por quatro Províncias Geológico-Geomorfológicas distintas. Essas Províncias, da mais antiga para a mais nova, são o Escudo Sul-riograndense (embasamento cristalino), a Depressão Periférica, o Planalto basáltico e a Planície Costeira. O grande foco de pesquisa mineral para exploração de minerais metálicos está no Escudo Sul-riograndense, que concentra as solicitações de pesquisa mineral, com exceção dos minerais pesados, que estão presentes, principalmente, na planície costeira (VIERO e SILVA, 2010).

Apesar de o cobre ter sido o principal mineral metálico lavrado no Rio Grande do Sul por mais de um século pela Companhia Brasileira do Cobre (CBC), o Estado registra outros

importantes jazimentos metálicos: o chumbo, ouro, prata, ilmenita (óxido de ferro e titânio), rutilo (óxido de titânio), zinco e zirconita.

A Tabela 9 apresenta a distribuição das reservas de minerais metálicos por município do Rio Grande do Sul, nas diferentes categorias.

Tabela 9 - Principais reservas minerais do RS de substâncias metálicas.

Classe/Substância	Reservas (t)		
	Medida	Indicada	Inferida
Chumbo (t) – Pb			
Caçapava do Sul	65.564	264.225	180.694
Cobre (t) – Cu			
Caçapava do Sul	295.854	122.295	86.961
Lavras do Sul	17.000	4.381	8.424
Ouro (Primário) (kg) – Au			
Lavras do Sul	8.135	2.044	3.427
São Sepé	622	416	129
Prata (Primária) (kg) – Ag			
Caçapava do Sul	246.485	169.644	126.660
Ilmenita (t) – TiO₂			
São José do Norte	13.317.306	4.566.418	1.358.656
Rutilo (t) – TiO₂			
São José do Norte	529.653	191.440	56.188
Zinco (t) – Zn			
Caçapava do Sul	49.663	230.617	115.813
Zirconita (Primária) (kg) – ZrSiO₄			
São José do Norte	1.428.621.000	598.236.000	164.303.000

Fonte: Anuário Mineral Estadual Rio Grande do Sul Ano Base 2017 (ANM, 2019)

No que segue estão apresentados os mapas de densidade de processos por município para minerais metálicos no RS.

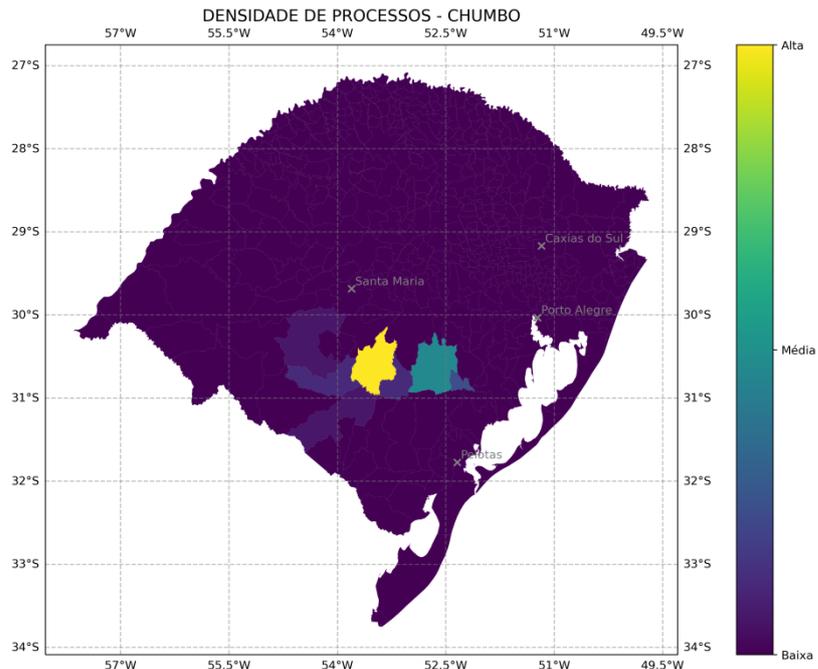


Figura 16 - Densidade de processos para chumbo no RS.

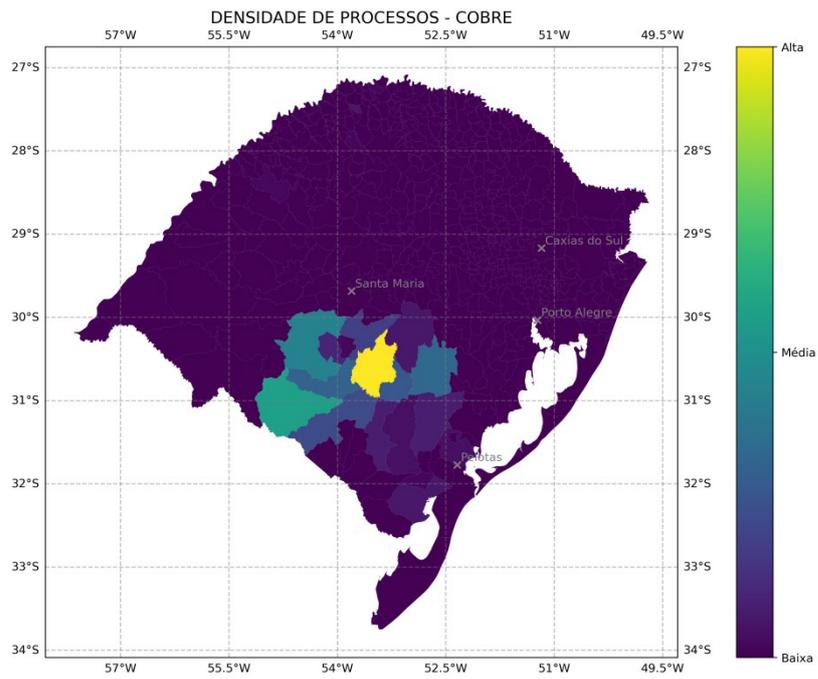


Figura 17 - Densidade de processos para cobre no RS.

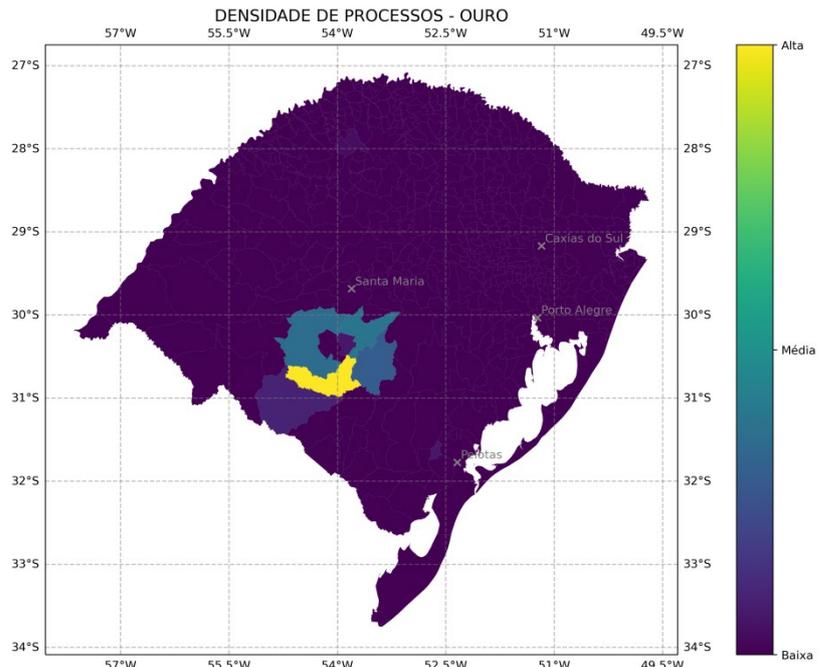


Figura 18 - Densidade de processos para ouro no RS.

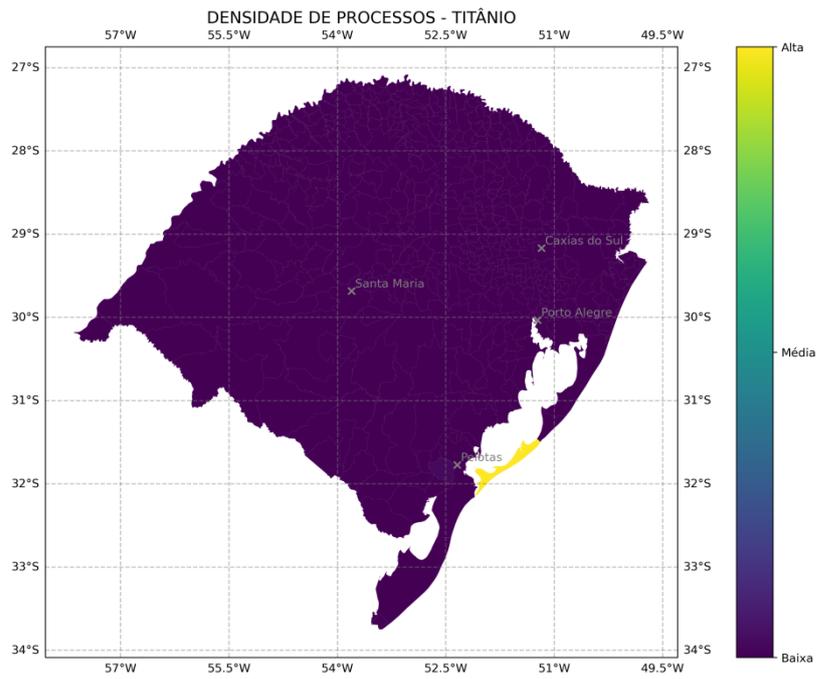


Figura 19 - Densidade de processos para titânio no RS.

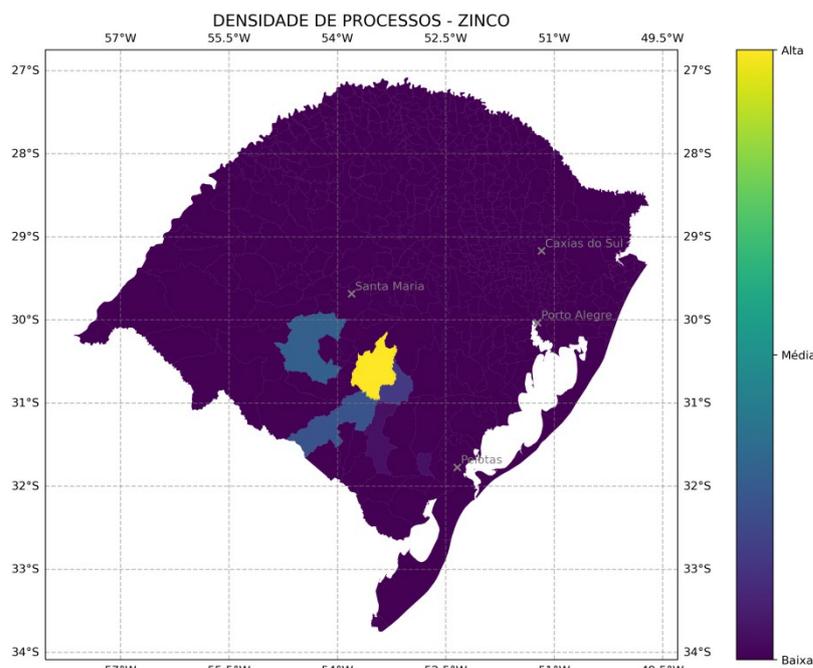


Figura 20 - Densidade de processos para zinco no RS.

4.3. Recursos Energéticos

Destaca-se, como recurso energético, o carvão. Sua formação ocorre a partir da decomposição de matéria orgânica que se acumulou na superfície durante milhões de anos, sob determinadas condições de (ausência de) oxigênio, pressão e temperatura. A composição e características do carvão mineral podem variar significativamente, conforme o período geológico de sua formação. A Figura 21 mostra a sua classificação geológica, indicando a variação no teor de carbono e de umidade para os diferentes tipos de carvão. De acordo com essa classificação, o carvão nacional poderia ser classificado como sub-betuminoso com uso preferencialmente para geração termelétrica, bem como para uso em cimenteiras e indústrias em geral.

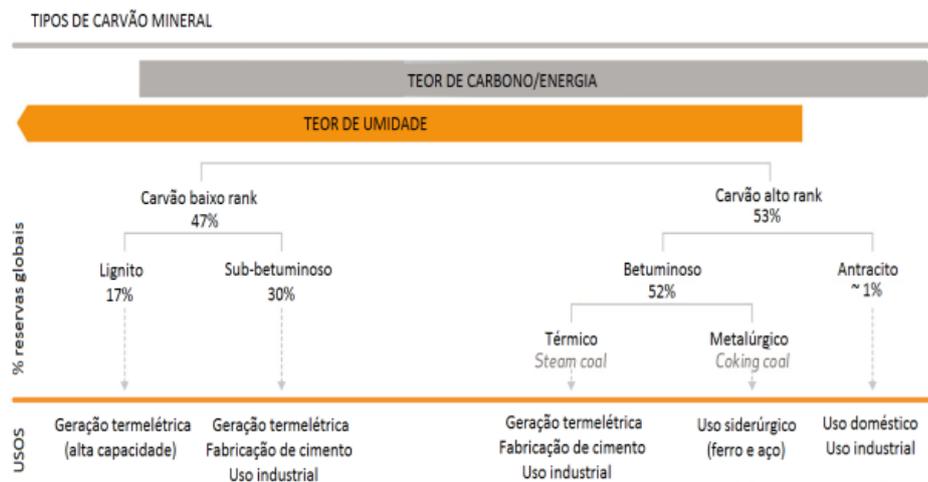


Figura 21 - Classificação, abundância e uso dos diferentes tipos de carvão mineral. Fonte: Adaptado de WCA (2018).

No Rio Grande do Sul encontra-se a maioria dos depósitos e dos recursos de carvão fóssil existentes no Brasil. Os depósitos de maior porte denominam-se, do sudoeste para nordeste: Candiota, Capané, Iruí, Leão, Charqueadas, Morungava/Chico Lomã, Santa Terezinha e os de menor porte incluem São Sepé (oeste de Capané), Pantano Grande (entre Leão e Iruí), Arroio dos Ratos (entre Charqueadas e Leão), Cerro do Roque (sul do Leão), Faxinal (sul de Charqueadas), Gravataí Oeste (oeste de Morungava) e prolongamento sul da Jazida Sul-Catarinense (Holz & De Ros, 2000).

O carvão da região sul é em sua maioria do tipo sub-betuminoso a betuminoso. No Rio Grande do Sul, aflora nos municípios de Candiota com 1,5 bilhão de toneladas em superfície e o de Minas do Leão com 2,65 milhões em superfície e 841 milhões subterrâneo. É encontrado e extraído, também, em Arroio dos Ratos, Butiá e São Jerônimo em menores quantidades.

A composição dos carvões gaúchos pode variar significativamente conforme o depósito de onde é extraído. No geral, destaca-se o alto teor de cinzas e conseqüentemente, menor teor de matéria carbonosa, que conduz a um valor de moderado a baixo em termos de poder calorífico. Além disso, outra peculiaridade do carvão gaúcho é a presença de enxofre em teores moderados na sua composição, embora inferiores aos encontrados nos carvões da jazida sul-catarinense.

Os dados de reservas lavráveis de carvão mineral do Rio Grande do Sul, obtidos pelo Anuário Mineral Estadual (ANM), quando comparados com os dados de reservas lavráveis nacionais, fornecidos pelo Sumário Mineral (ANM), permitem avaliar a participação do

Estado em relação ao país, conforme a Figura 22. Assim, os resultados destacam o RS como possuidor das maiores reservas lavráveis de carvão mineral, revelando em 2016 participação de 73%.

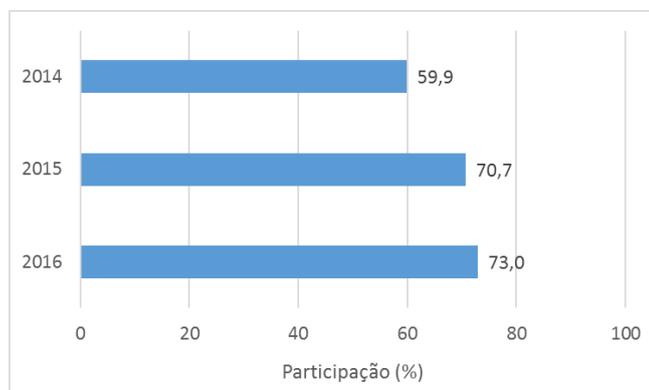


Figura 22 - Participação gaúcha nas reservas lavráveis de carvão mineral no Brasil. Fonte: Anuário Mineral Estadual Rio Grande do Sul (ANM, 2016, 2017 e 2018); Sumário Mineral (ANM, 2016, 2018 e 2019).

A Tabela 10 apresenta as reservas de carvão nos principais municípios detentores de reservas lavráveis de acordo com o Anuário Mineral Estadual (ANM, 2019). Em seguida, são apresentados os mapas de densidade de processos para carvão, rocha betuminosa e turfa, Figuras 23, 24 e 25, respectivamente.

Tabela 10 - Principais reservas lavráveis de carvão mineral no Rio Grande do Sul por município em 2017.

Município	Reservas (t)			
	Medida	Indicada	Inferida	Lavrável
Triunfo	1.024.620.903	501.299.373	143.601.496	1.230.079.000
Candiota	1.755.940.438	2.399.149.028	1.615.030.904	931.283.981
São Jerônimo	158.018.000	20.910.000	-	178.928.000
Eldorado do Sul	97.055.000	77.447.700	-	173.926.700
Cachoeira do Sul	294.969.823	417.381.921	188.463.759	142.734.716

Fonte: Anuário Mineral Estadual Rio Grande do Sul Ano Base 2017 (ANM, 2019)

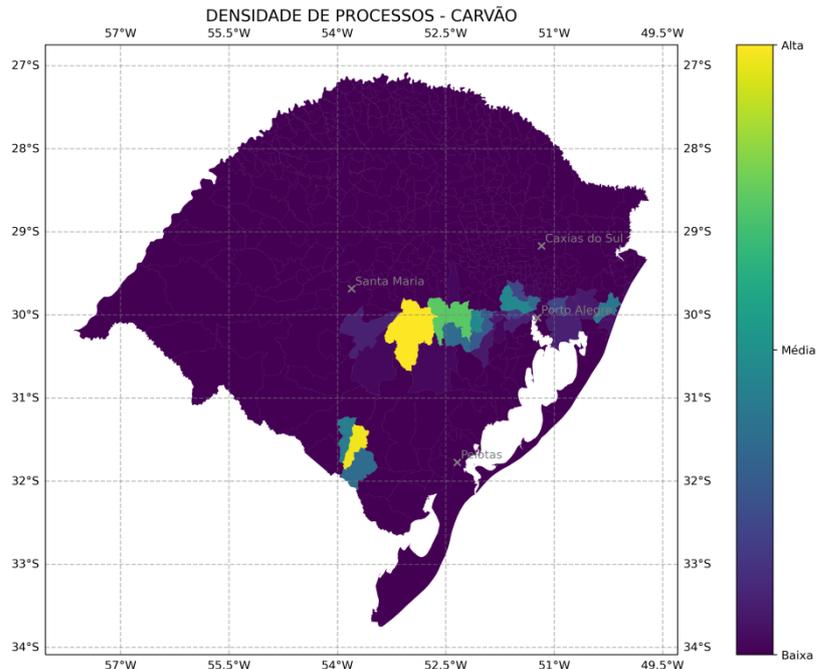


Figura 23 - Densidade de processos para carvão no RS.

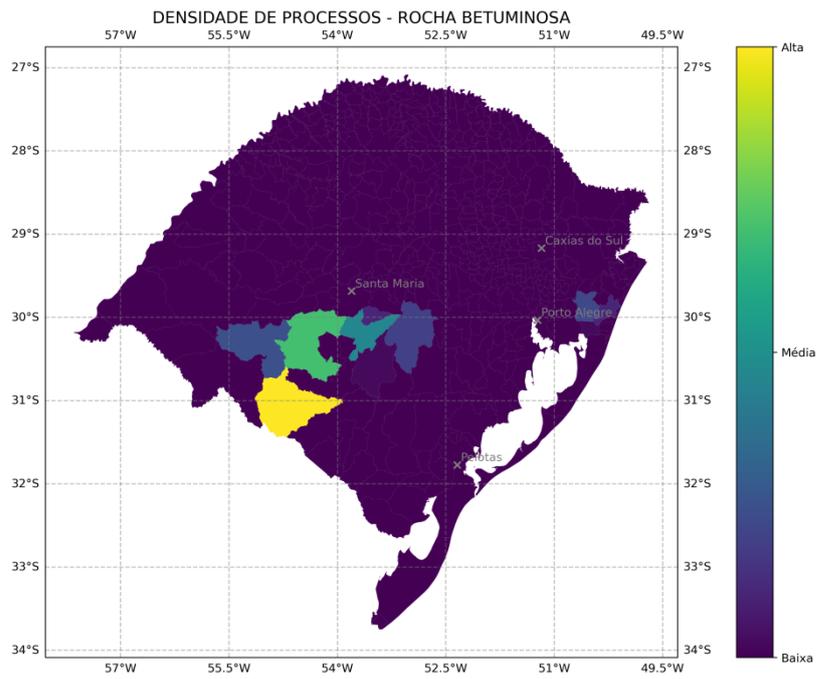


Figura 24 - Densidade de processos para rocha betuminosa no RS.

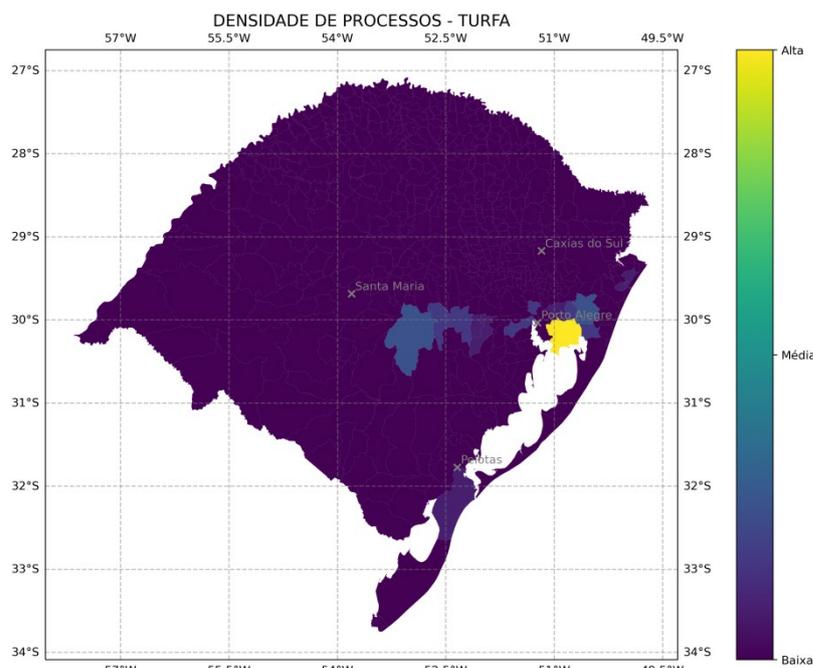


Figura 25 - Densidade de processos para turfa no RS.

Embora a produção de carvão mineral esteja atualmente restrita a poucos municípios, há disponibilidade de significativos recursos para aproveitamento em outros, conforme dados de reservas lavráveis. Na Tabela 11 é mostrada a quantidade de carvão mineral produzida por municípios e na Figura 26 a localização das minas no Estado.

Tabela 11 - Quantidade de carvão mineral comercializada por município.

Município	Quantidade carvão mineral comercializada (em mil toneladas)				
	2013	2014	2015	2016	2017
Candiota	3.318,7	3.316,9	3.318,5	2.517,4	1.216,1
Butiá	1.552,4	1.620,1	1.470,4	1.193,5	918,0
Outros	141,7	160,0	168,2	71,2	8,3

Fonte: Anuário Mineral Estadual Rio Grande do Sul Ano Base 2017 (ANM, 2019).

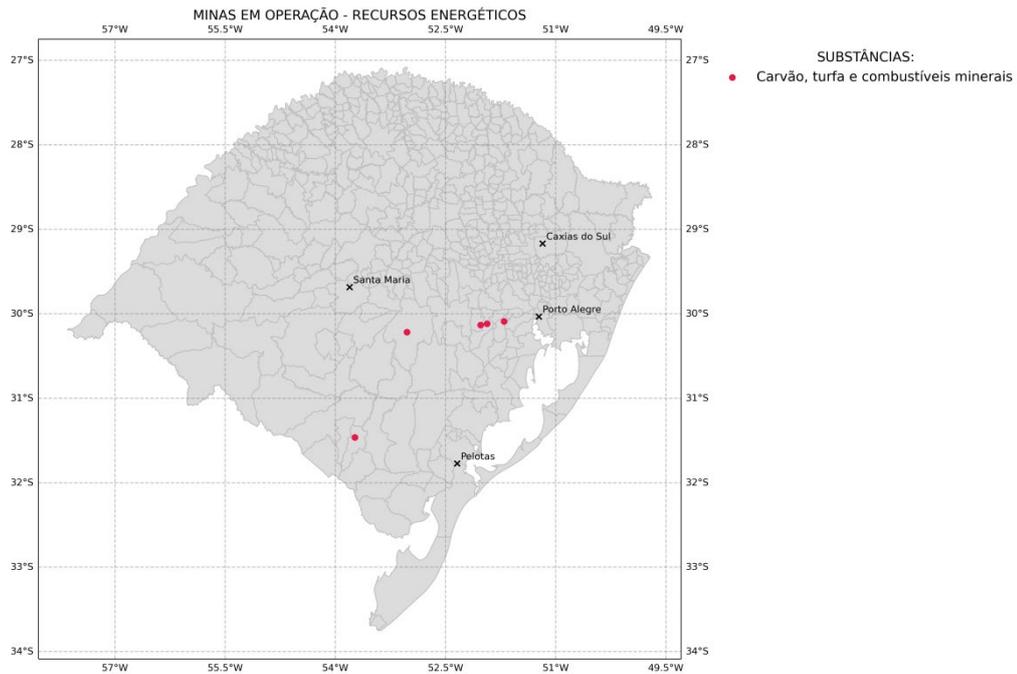


Figura 26 - Localização das minas de carvão mineral.

As atividades de mineração e de geração elétrica são de grande importância socioeconômica para alguns municípios no Rio Grande do Sul. Entretanto, observa-se que 5 usinas termelétricas a carvão mineral no Estado foram desativadas no período 1974-2017 e, da mesma maneira, espera-se que outras plantas continuarão a ser paulatinamente desativadas pelas seguintes razões: fim do prazo de concessão; fim da vida útil e fim da viabilidade comercial, inclusive devido ao fim do subsídio da Conta de Desenvolvimento Energético - CDE em 2027. Como a indústria de mineração do carvão depende da geração térmica, a desativação do parque gerador afeta a cadeia produtiva do carvão (mina, transporte, usina, cimento e demais usos industriais), causando elevado impacto negativo na economia das regiões produtoras do insumo. São esperadas perdas às regiões mineiras, provocando impactos socioeconômicos previsíveis e imprevisíveis (MME, 2021).

Para a continuidade da atividade econômica de mineração, se faz necessário estabelecer um planejamento que possibilite o investimento na geração elétrica com esse mineral, por meio de usinas mais modernas. No panorama do parque termelétrico a carvão mineral nacional, cabe destacar, no Rio Grande do Sul, a substituição de termelétricas antigas por plantas modernas e, portanto, mais eficientes energeticamente, como mostra a Tabela 12. A modernização do referido parque termelétrico, com aumento de eficiência dos processos de combustão, permite reduzir a emissão de CO_2/kWh , assim como as de SO_x , NO_x e particulados.

Tabela 12 - Eficiência de geração elétrica do atual parque termelétrico a carvão mineral nacional.

PARQUE TERMELÉTRICO A CARVÃO NACIONAL				
Usina	UF	Capacidade Instalada (MW)	Idade (anos)	Eficiência
Figueira	PR	20	56	25%
Candiota III	RS	350	9	35%
Jorge Lacerda A Fases 1/2	SC	100	55	25%
Jorge Lacerda A Fases 3/4	SC	132	47	28%
Jorge Lacerda B	SC	262	41	28%
Jorge Lacerda C	SC	363	23	35%
Pampa Sul	RS	345	1	36%
Parque em operação		1.572	22,53	32,70%
Charqueadas	RS	72	54	21%
Pres. Médici A	RS	126	43	25%
Pres. Médici B	RS	320	31	25%
São Jerônimo	RS	20	63	14%
Parque desativado		538	38	24%
Parque em operação + desativado		2.110	26,49	30,50%
*As médias são ponderadas pela capacidade				

Fonte: Detalhamento do Programa para Uso Sustentável do Carvão Mineral Nacional (MME, 2021)

Em acréscimo ao fato de ser um modal energético robusto no sentido de estabilidade energética, o carvão mineral pode suprir a demandas de diferentes cadeias produtivas sobretudo através da carboquímica e, dessa forma, fortalecer sua economia ao gerar desenvolvimento em diferentes aspectos.

O recolhimento de CFEM no Rio Grande do Sul tem o carvão mineral como principal substância arrecadadora. Foram R\$ 8,3 milhões em 2020, o que representa 40,4 % do total

para o Estado. A Figura 27 ilustra o mapa com a distribuição de arrecadação pelos municípios produtores no referido ano.

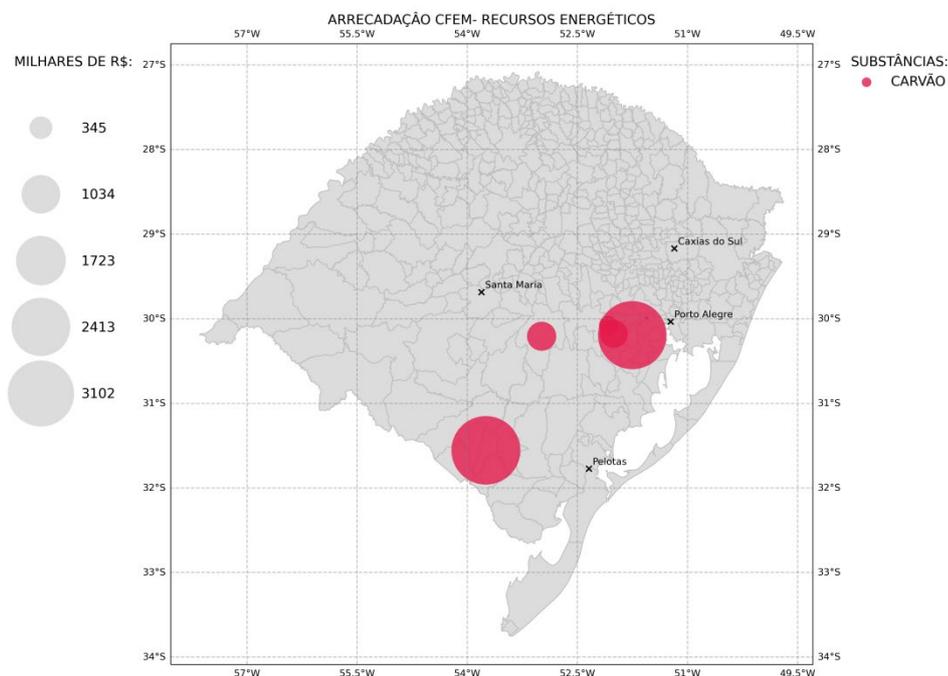


Figura 27 - Recolhimento de CFEM pelos municípios produtores de carvão mineral.

4.3.1. Carvão Mineral na Matriz Energética

A matriz energética mundial (conjunto de fontes disponíveis para suprir a necessidade - demanda - de energia) é composta, principalmente, por fontes não renováveis, como o petróleo, o carvão e o gás natural, Figura 28. Fontes renováveis como eólica, solar e geotérmica, correspondem juntas a somente 2% dessa matriz; somando-se à energia hidráulica e de biomassa, as renováveis somam em torno de 14% do total.

Já a matriz energética brasileira diferencia-se muito da mundial no que tange ao uso de fontes renováveis. O consumo de fontes não-renováveis é maior se comparado às renováveis, porém, usa-se muito mais esta última do que o resto do mundo. Somando-se as fontes derivadas da cana de açúcar, hidráulica, lenha e carvão vegetal, entre outras, temos um total de 46,2% de renováveis, quase metade da matriz energética.

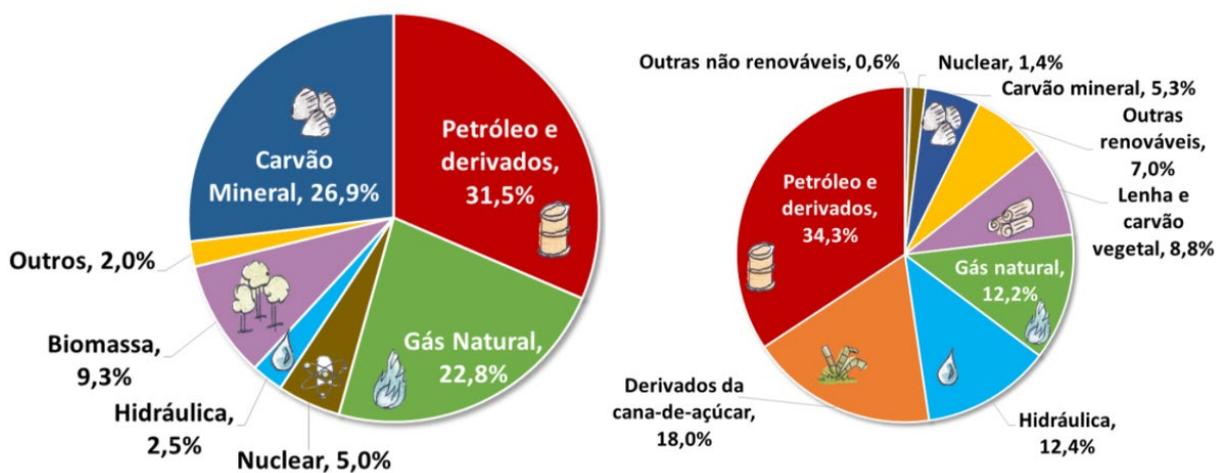


Figura 28 - Matriz energética mundial 2018 e brasileira 2019 (EPE, 2021).

Com relação à matriz elétrica (conjunto de fontes disponíveis apenas para a geração de energia elétrica em um país, estado ou no mundo), Figura 29, a brasileira é ainda mais renovável, já que grande parte da energia elétrica no Brasil vem de usinas hidrelétricas. A energia eólica também está crescendo bastante, contribuindo para esse percentual. Já a matriz elétrica mundial, por sua vez, é baseada principalmente em combustíveis fósseis, como carvão, óleo e gás natural em termelétricas.

Neste sentido, a matriz elétrica brasileira atinge um percentual de 83% de fontes renováveis e 17% de não renováveis, enquanto, a mundial é de 25% renováveis e 75% não renováveis. Este fato é benéfico para o Brasil, pois usinas que geram energia a partir de fontes renováveis possuem menores custos de operação e em geral, emitem menos gases de efeito estufa (EPE, 2021).

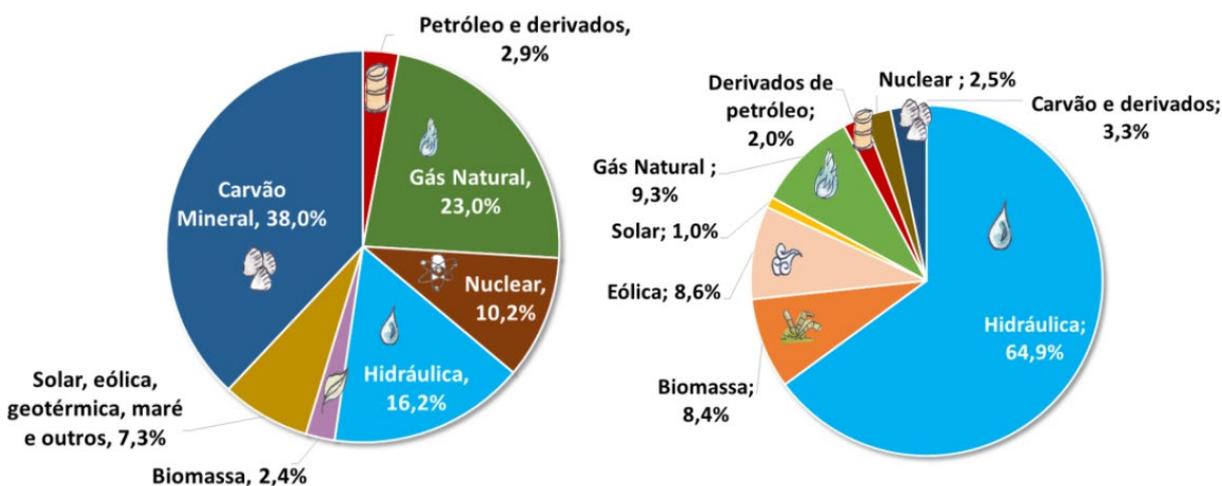


Figura 29 - Matriz elétrica mundial 2018 e brasileira 2019 (EPE, 2021).

4.4. Águas Minerais

A água mineral ou potável de mesa é obtida diretamente de fontes naturais ou por extração de águas subterrâneas. Caracteriza-se pelo conteúdo definido e constante de sais minerais, oligoelementos e outros constituintes, considerando-se as flutuações naturais (BRASIL, 2005).

Na prática, entende-se por água mineral ou de mesa, toda ocorrência hídrica com potencialidade de exploração para finalidades diversas, desde que obedecidos os regramentos legais inerentes. Por conceituação, águas minerais têm ação medicamentosa e águas potáveis de mesa são aquelas consideradas potáveis conforme padrões pré-determinados. Os dois tipos podem ser envasados, comercializados e, eventualmente, conter gás. O código de Águas Minerais (Decreto-lei nº 7.841, de 8 de agosto de 1945) classifica as mesmas quanto à composição química, radioatividade e temperatura.

O Rio Grande do Sul possui sistemas aquíferos porosos e fissurais/fraturados. Ambos os tipos de aquíferos possuem potencial para produção de águas minerais. O maior de todos os aquíferos, o Aquífero Internacional Guarani (posicionado no Brasil, Argentina e Uruguai) é aquele que possui maior potencialidade de extração. O mesmo atinge cerca de 55% da área do Estado, e é a principal reserva de água subterrânea, tendo pontos onde sua profundidade pode ser superior a 1.000 m (Holz & De Ros, 2000).

A região nordeste do estado é caracterizada por dois grandes aquíferos: o Serra Geral (fraturado) e o Guarani (poroso), ambos de grande importância no desenvolvimento de diversas atividades, tais como o abastecimento público, industrial, agricultura, recreação entre outros. Na porção oeste do Estado, entre Alegrete, Santana do Livramento, Uruguaiana e Itaqui, o aquífero Guarani aponta os melhores aspectos hidráulicos, com poços que captam até mais de 500 m³/h. Neste sentido, é comum poços para irrigação com 150 a 300 m³/h, e com capacidades específicas superiores a 10 m³/h/m (CPRM, 2009).

Quanto às águas minerais, no Estado predominam as fluoretadas, alcalino-terrosas, alcalino-bicarbonatadas e sulfatadas (Rio Grande do Sul, 2018). A Rede de Laboratórios de Análises Minerais (LAMIN) da CPRM é responsável por fazer os estudos das fontes hidrominerais quando da Concessão de Lavra pela ANM.

Os processos minerários para água mineral ocorrem nas diversas regiões do Estado, com maior número de processos em Viamão, Gramado, Caxias do Sul e Porto Alegre, conforme ilustra a Figura 30, mapa de densidade de processos para água mineral.

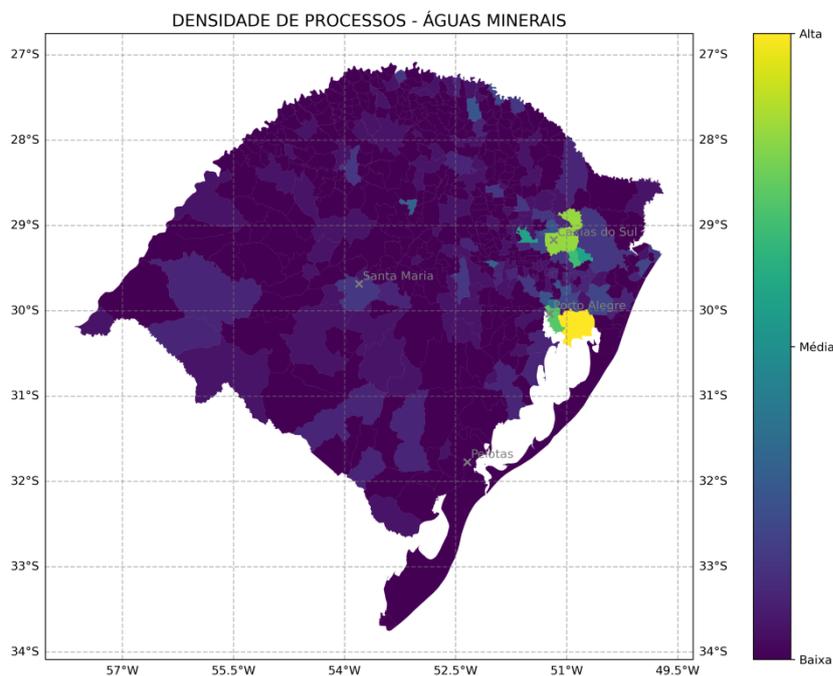


Figura 30 - Densidade de processos para água mineral no RS.

De acordo com o Anuário Mineral Estadual 2017 (ANM, 2019), os principais produtores de água mineral no Estado foram os municípios de Lajeado, Igrejinha, Barra Funda, Ijuí e São José do Hortêncio. A Tabela 13 compara a quantidade comercializada entre 2013 e 2017. Na sequência, a localização das minas é mostrada no mapa, Figura 31.

Tabela 13 - Quantidade de água mineral comercializada por município.

Município	Quantidade Água Mineral Comercializada (em mil toneladas)				
	2013	2014	2015	2016	2017
Lajeado	73.443,5	93.107,6	90.441,7	97.825,2	105.151,0
Igrejinha	212.223,0	84.395,3	73.498,0	104.268,0	100.052,0
Barra Funda	47.158,5	57.065,2	53.163,6	54.098,3	80.944,5
Ijuí	62.200,8	79.458,7	66.311,0	63.883,3	36.919,4
São José do Hortêncio	23.232,2	26.888,1	24.153,6	22.788,9	18.310,0

Fonte: Anuário Mineral Estadual Rio Grande do Sul Ano Base 2017 (ANM, 2019)

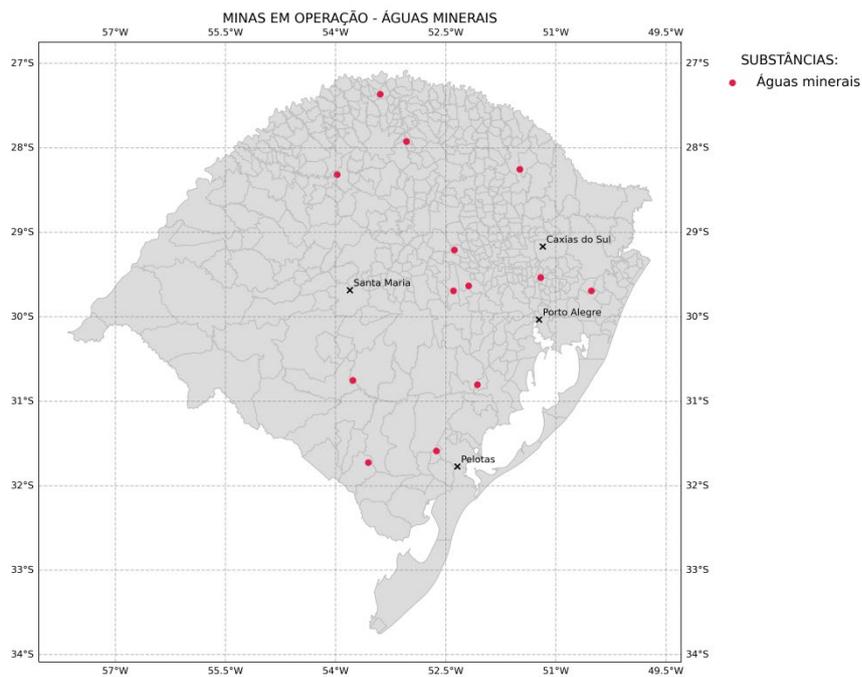


Figura 31 - Localização das minas de água mineral.

O Setor de águas minerais no Rio Grande do Sul representa relevante arrecadação da Compensação Financeira pela Exploração de Recursos Minerais (CFEM). Em 2019 e 2020 a substância assumiu o 3º lugar em arrecadação da compensação, tendo no ano de 2020 um total de R\$ 1.722.192,88. No referido ano, a cidade de Lajeado foi a que obteve maior arrecadação do Estado. O mapa, Figura 32, mostra a arrecadação de CFEM para água mineral por município.

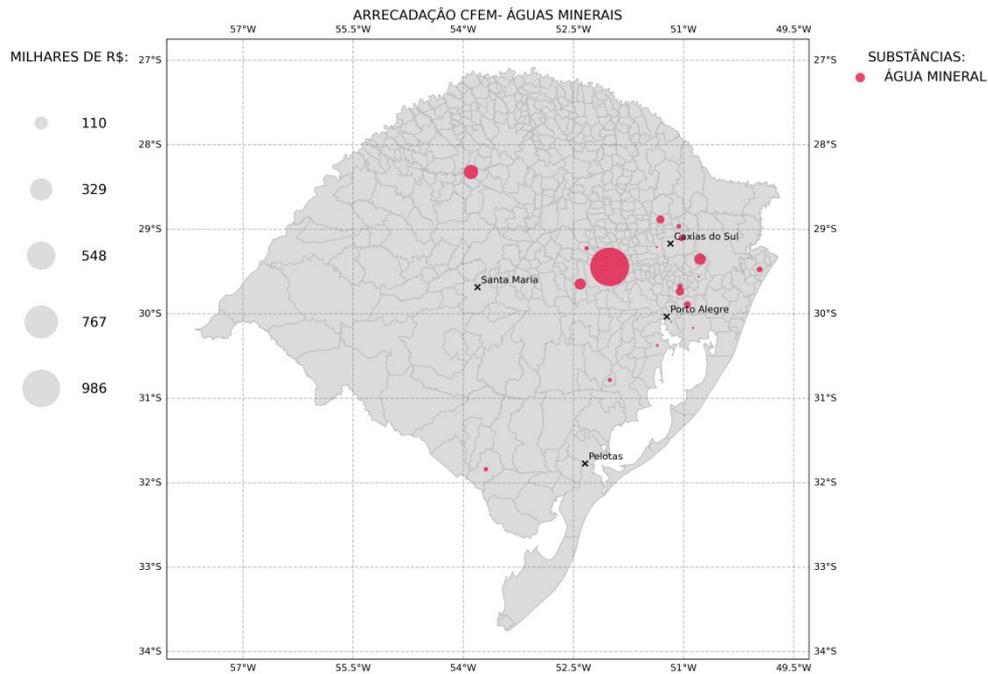


Figura 32 - Recolhimento de CFEM pelos municípios produtores de água mineral.

4.5. Indústria Cerâmica

Cerâmica compreende todos os materiais inorgânicos, não metálicos, obtidos geralmente após tratamento térmico em temperaturas elevadas (ABCERAM, 2021). As matérias-primas básicas do setor cerâmico são as argilas.

Argila é o nome dado ao sedimento formado por partículas de dimensões muito pequenas, abaixo de 1/256 milímetros (4 micrômetros) de diâmetro. Esse sedimento pode ser formado por um ou mais minerais argilosos: os filossilicatos (silicatos que formam lâminas, de baixa dureza, densidade também relativamente baixa e boa clivagem em uma direção). Os minerais argilosos são formados por meio do intemperismo, que é fruto da combinação de agentes químicos, físicos e biológicos que atuam sobre as rochas expostas ao ar e à água; esse processo gera mudanças na composição química e mineralógica das rochas.

A aplicação industrial se dá devido a suas propriedades físico-químicas, que, por sua vez, se devem ao reduzido tamanho das partículas (inferior a 2 micrômetros), à morfologia dos cristais (lamelares) e às substituições isomórficas que ocorrem nesses minerais. As argilas possuem uma elevada área superficial com ligações químicas não saturadas, permitindo que elas interajam com diversas substâncias. Por isso, possuem um comportamento plástico quando misturadas com água e, em alguns casos, são capazes de

inchar, aumentando muito de volume. Outra característica importante é a capacidade de troca de cátions. Íons positivos existentes em soluções aquosas que entram em contato com a argila podem infiltrar-se com facilidade entre as lâminas dos minerais argilosos e também dali saírem facilmente, pois suas ligações químicas são fracas. Destaca-se que estes não adentram a estrutura do mineral, apenas prendem-se à superfície das partículas de argila (CPRM, 2016).

Ocasionalmente, essa troca iônica pode acontecer também em meio não aquoso. Essa propriedade tem grande influência na plasticidade das argilas, pois se o cátion trocável é o cálcio as propriedades plásticas serão diferentes das presentes quando o cátion é o sódio. Outra característica relevante é que as argilas possuem enorme capacidade de absorção. As mais absorventes chegam a reter água numa proporção de mais de 100% do seu próprio peso (CPRM, 2016).

Segundo a Associação Brasileira de Cerâmica – ABCERAM (2021), o setor cerâmico é vasto e diverso, o que permite que seja dividido em diferentes segmentos, em função dos variados fatores como matérias-primas, propriedades e, principalmente, áreas de utilização. A classificação usualmente adotada é: 1) cerâmica vermelha; 2) materiais de revestimento; 3) cerâmica branca; 4) materiais refratários; 5) isolantes térmicos; 6) fritas e corantes; 7) abrasivos; 8) vidro, cimento e cal; 9) cerâmica de alta tecnologia/cerâmica avançada.

Já a ANM classifica as argilas conforme suas características, sendo elas: 1) argilas comuns (argilas para cerâmica vermelha ou estrutural, argila para revestimento cerâmico ou industrial, argila para cimento); 2) argilas plásticas (predominantemente caulínicas, plásticas, contendo matéria orgânica e baixo teor de Fe_2O_3 , associadas a aluviões quaternários, com cor de queima clara a $1250^\circ C$, utilizada na produção de cerâmica branca como louças); 3) argilas refratárias (caulínicas e/ou haloisíticas [$Al_2Si_2O_5(OH)$]), plásticas ou não, capazes de suportar altas temperaturas sem deformação e desintegração. Apresentam gibsita livre e teores de Al_2O_3 superiores a 46% após calcinação. São formadas principalmente por processos de lixiviação supérgena e usadas na fabricação de materiais refratários sílico-aluminosos, aluminosos e isolantes como bases, blocos, placas, bicos, cadinhos, filtros, etc); 4) bentonita e argilas descorantes (argilominerais do grupo das esmectitas, originados geralmente das alterações de cinzas vulcânicas, caracterizam-se por apresentar partículas muito finas, elevada carga superficial, alta capacidade de troca catiônica, elevada área superficial e inchamento quando em presença de água, sendo usadas

como lama de perfuração, aglomerante de areias de moldagem usadas em fundição, pelotização de minério de ferro, entre outros usos); 5) caulim, vermiculita, talco e outras cargas (usos diversos).

Em termos de reservas de insumos minerais para cerâmica, o Rio Grande do Sul possui reservas de argilas (comuns, plásticas, refratárias, bentonitas e argilas descorantes), caulim e talco. As principais reservas minerais por município, no ano 2017, são apresentadas na Tabela 14.

Tabela 14 - Principais reservas minerais de insumos minerais para cerâmica no Rio Grande do Sul por município em 2017.

Substância/Município	Reservas			
	Medida	Indicada	Inferida	Lavrável
Argilas Comuns (t)				
Caçapava do Sul	823.680.000	-	-	823.680.000
Mariana Pimentel	8.750.580	12.008.304	6.455.592	-
Pantano Grande	8.372.655	5.077.623	199.680	2.004.852
Novo Hamburgo	5.739.047	-	-	-
Taquara	5.581.728	-	-	-
Argilas Plásticas (t)				
Pantano Grande	1.889.797	1.293.121	-	106.818
Encruzilhada do Sul	325.377	443.253	-	-
Argilas Refratárias (t)				
Novo Cabrais	35.925.172	4.560.425	3.522.355	-
Pantano Grande	1.877.535	1.400.904	-	1.209.427
Butiá	838.954	-	-	-
São Jerônimo	453.935	-	-	165.464
Bentonita e Argilas Descorantes (t)				
Cachoeira do Sul	713.000	592.000	-	1.305.000
Caulim (t)				

Mariana Pimentel	14.070.581	11.910.239	-	-
Pantano Grande	8.951.053	5.952.420	10.601.538	3.527.461
Encruzilhada do Sul	507.833	149.740	733.450	521.017
Cachoeira do Sul	300.000	360.000	500.000	300.000

Fonte: Anuário Mineral Estadual Rio Grande do Sul Ano Base 2017 (ANM, 2019)

As reservas significativas de argilas na região metropolitana de Porto Alegre, ao se localizarem junto à demanda pela produção de artefatos argilosos para a construção civil, tornam o seu aproveitamento competitivo comercialmente. A região metropolitana de Porto Alegre é a mais populosa da região Sul do Brasil, com intensa atividade do setor da construção civil.

As Figuras 33 e 34 apresentam os mapas de densidade de processos junto à ANM para insumos da indústria cerâmica.

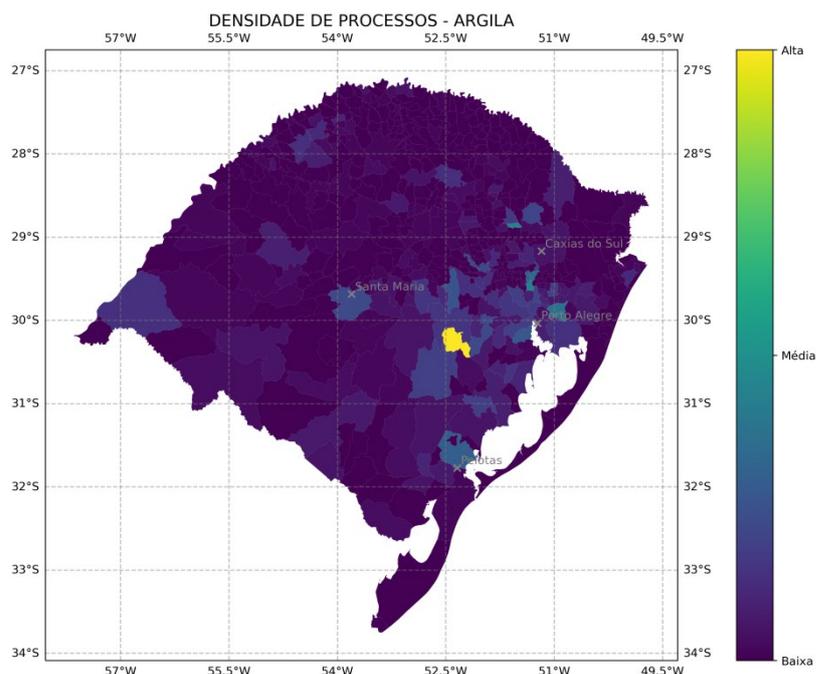


Figura 33 - Densidade de processos para argila no RS.

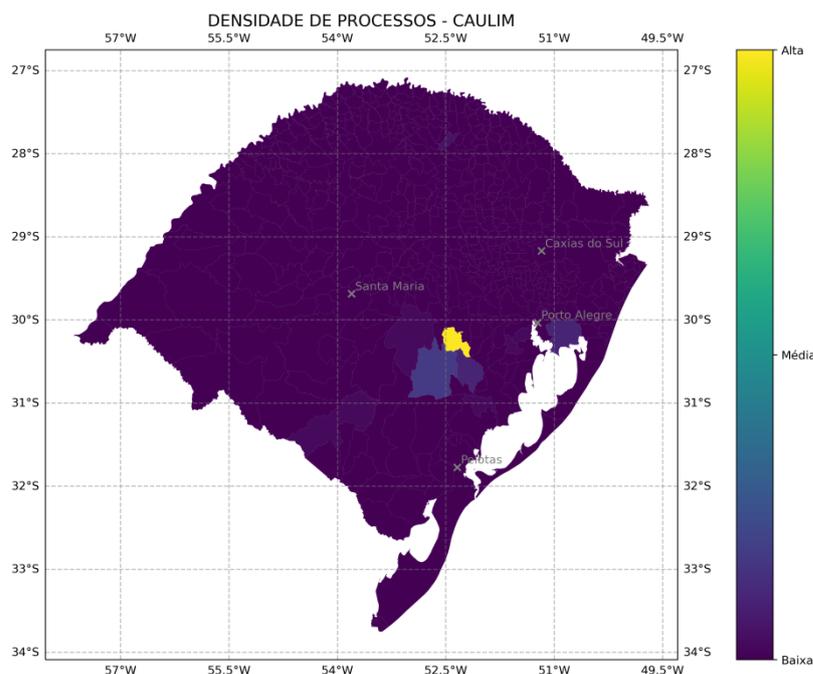


Figura 34 - Densidade de processos para caulim no RS.

De acordo o Anuário Mineral Estadual 2017 (ANM, 2019), os principais municípios produtores de argilas comuns no referido ano, no Rio Grande do Sul, e as respectivas quantidades comercializadas foram: São Sebastião do Caí, Nova Santa Rita, Sapucaia do Sul, Portão e Santa Maria. A quantidade de matérias-primas da indústria cerâmica comercializada no RS pelos principais municípios produtores pode ser observada na Tabela 15.

Tabela 15 - Principais municípios produtores de matérias-primas para a indústria cerâmica no RS.

Substância/Município	Quantidade Comercializada (em mil toneladas)				
	2013	2014	2015	2016	2017
Argilas Comuns					
São Sebastião do Caí	135,1	251,1	261,5	400,1	313,7
Nova Santa Rita	763,0	56,7	58,1	70,3	265,8
Sapucaia do Sul	215,0	130,5	24,3	11,5	212,4
Portão	112,2	8,4	20,0	43,2	211,5
Santa Maria	14,3	33,2	172,4	197,6	166,4
Argilas Plásticas					

São Jerônimo	14,8	11,0	4,9	-	-
Argilas Refratárias					
Pantano Grande	-	-	-	16,8	74,1
São Jerônimo	-	-	-	2,3	0,9
Caulim					
Pantano Grande	250,2	240,7	239,2	299,9	253,8
Encruzilhada do Sul	-	-	31,5	2,9	3,3
Talco					
Caçapava do Sul	-	-	-	0,4	0,5

Fonte: Anuário Mineral Estadual Rio Grande do Sul Ano Base 2017 (ANM, 2019)

A mineração de insumos da indústria cerâmica é constituída predominantemente por empresas de micro e pequeno porte. Normalmente, as minas ficam localizadas próximas aos polos produtores de cerâmica. O transporte das matérias-primas minerais entre a mina e a fábrica tem peso importante nos custos de produção cerâmica, o que acaba por influenciar a competitividade desse segmento industrial. A Figura 35 mostra a localização das minas de matérias-primas do setor cerâmico.

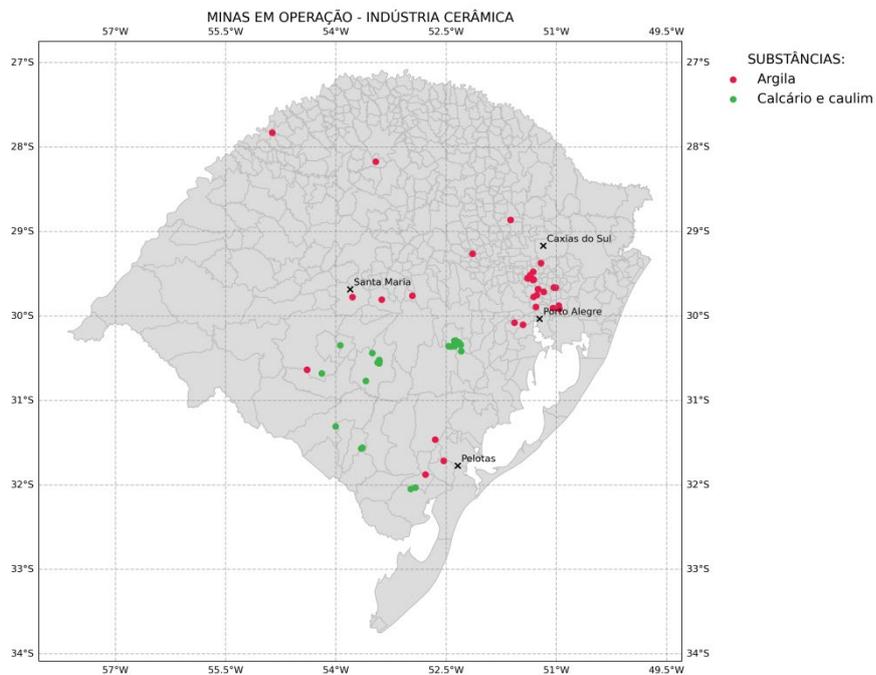


Figura 35 - Localização das minas de insumos para cerâmica.

De 2016 a 2020, o recolhimento de CFEM nos principais municípios arrecadadores variou conforme demonstra a Tabela 16.

Tabela 16 - Recolhimento de CFEM para argila e caulim dos principais municípios arrecadadores.

Substância/Município	Arrecadação de CFEM (R\$)				
	2016	2017	2018	2019	2020
Argila					
Pantano Grande	12.556,47	20.303,76	33.901,99	14.479,13	81.852,61
Capela de Santana	-	-	-	755,56	38.191,19
São Leopoldo	1.209,05	7.961,44	9.263,96	55.316,37	32.435,83
São Sebastião do Caí	15.580,39	20.126,07	17.538,51	16.329,63	18.568,67
Gravataí	20.058,70	20.861,57	3.271,93	26.414,78	17.018,65
Caulim					
Pantano Grande	88.903,84	116.834,25	167.737,75	168.621,19	187.673,72
Encruzilhada do Sul	1.696,96	2.192,21	3.912,57	5.376,11	6.070,29

Fonte: Sistema Arrecadação ANM.

Esta arrecadação de CFEM em 2020 se distribuiu pelos municípios conforme mostrado na Figura 36.

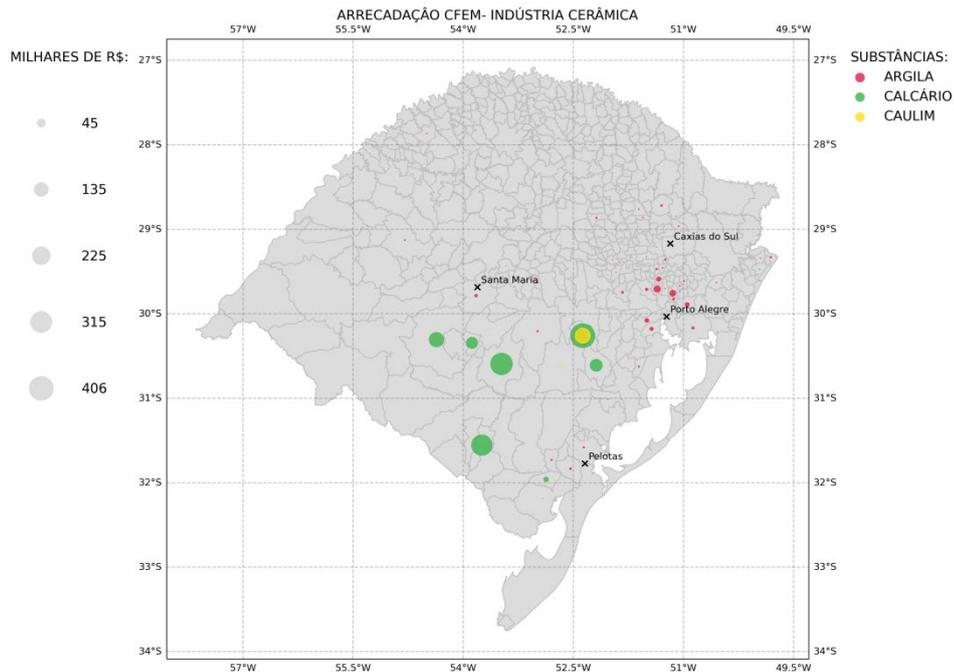


Figura 36 - Recolhimento de CFEM pelos municípios produtores de insumos para a indústria cerâmica.

4.6. Pedras Preciosas

O Rio Grande do Sul é um dos maiores produtores brasileiros de pedras preciosas e um dos mais importantes mundialmente (CPRM, 2002), principalmente nas variedades de ametista - uma variedade de quartzo - e ágata - uma variedade microcristalina do quartzo. Adicionalmente, ocorrem outras variedades de pedras preciosas, tais como água marinha, calcedônia e opala, todas elas com processos ativos na ANM.

O Estado é favorecido por extensas jazidas de ametista, que ocorrem em depósitos do tipo Geodo em Basalto da Formação Serra Geral. No mesmo tipo de depósito ocorrem grandes jazidas de ágata, que juntamente com as de ametista, são consideradas as mais importantes do mundo (BOSSI; CAGGIANO, 1974; WEBSTER, 1983), tornando o Brasil o maior produtor destas gemas. Os mapas de densidade, Figuras 37 e 38, ilustram como se distribuem os processos minerários de ametista e calcedônia pelo RS.

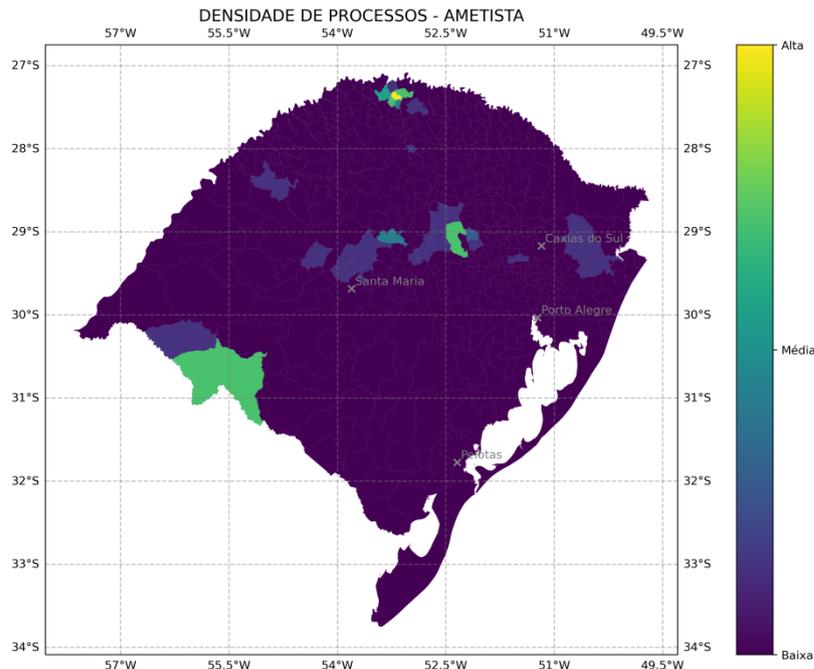


Figura 37 - Densidade de processos para ametista no RS.

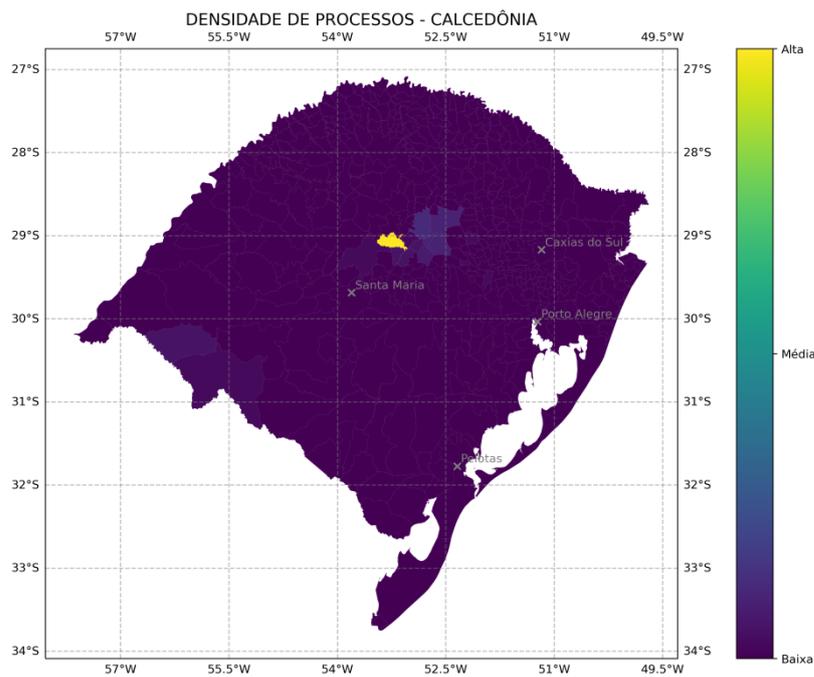


Figura 38 - Densidade de processos para calcedônia no RS.

Na região norte do Estado fica localizado o Médio-Alto Uruguai, local com as principais jazidas de Ametista do Rio Grande do Sul, vide Figura 37. Fazem parte os municípios de Iraí, Frederico Westphalen, Ametista do Sul, Alpestre, Rodeio Bonito e Planalto.

Na porção central do Estado são produzidas as ágatas, sendo esse mineral, ainda mais abundante que a ametista. O município de Salto do Jacuí fica em primeiro lugar na produção, com cerca de 80-90% da produção total, seguido por outras cidades como Quaraí, Santana do Livramento e Jacuizinho.

A localização das minas de pedras preciosas é mostrada na Figura 39.

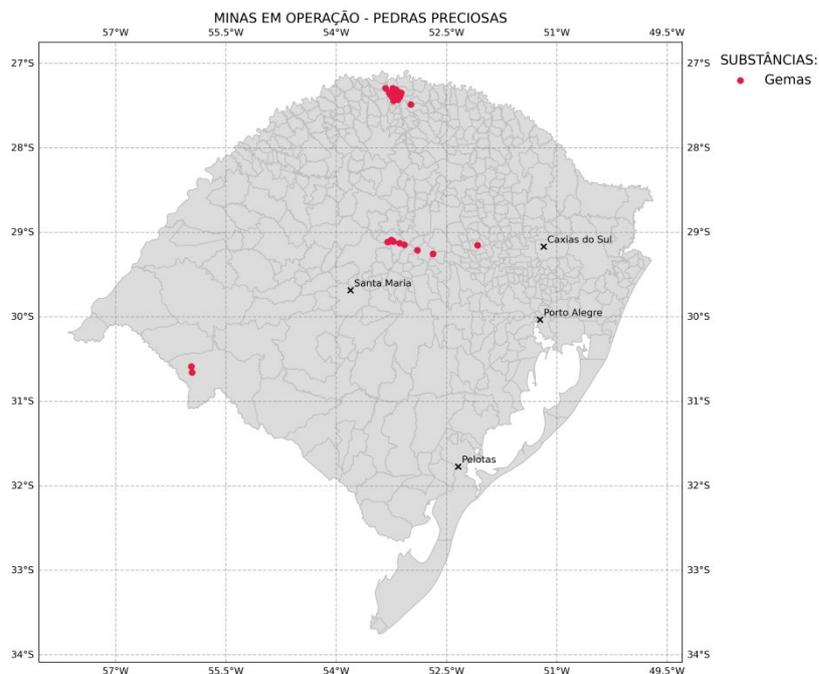


Figura 39 - Localização das minas de pedras preciosas.

A produção é destinada basicamente ao exterior. O município de Soledade produz pouco, porém desde o fim dos anos 70 é o principal centro de beneficiamento, comercialização e exportação do Estado. A produção dos principais municípios é mostrada na Tabela 17.

Tabela 17 - Principais municípios produtores de pedras preciosas no RS

Substância/Município	Quantidade Comercializada (em toneladas)				
	2013	2014	2015	2016	2017
Ágata, Calcedônia, etc.					
Salto do Jacuí	3.677	2.672	5.122	4.414	6.753
Quaraí	-	-	-	1.104	756
Sant'ana do Livramento	-	1.817	3.570	1.806	394

Geodos de Ametista					
Ametista do Sul	6.552	9.792	4.135	3.412	4.231
Planalto	-	558	253	262	198
Rodeio Bonito	-	160	119	-	172
Cristal do Sul	-	435	178	58	58

Em 2020, Ametista do Sul foi o município com o maior recolhimento de CFEM, quando considerada a produção de ametista, com arrecadação de R\$ 549.619,79. Para calcedônia, a maior arrecadação se deu no município de Salto do Jacuí, totalizando R\$ 166.445,50. A distribuição da arrecadação de CFEM em 2020 é mostrada na Figura 40.

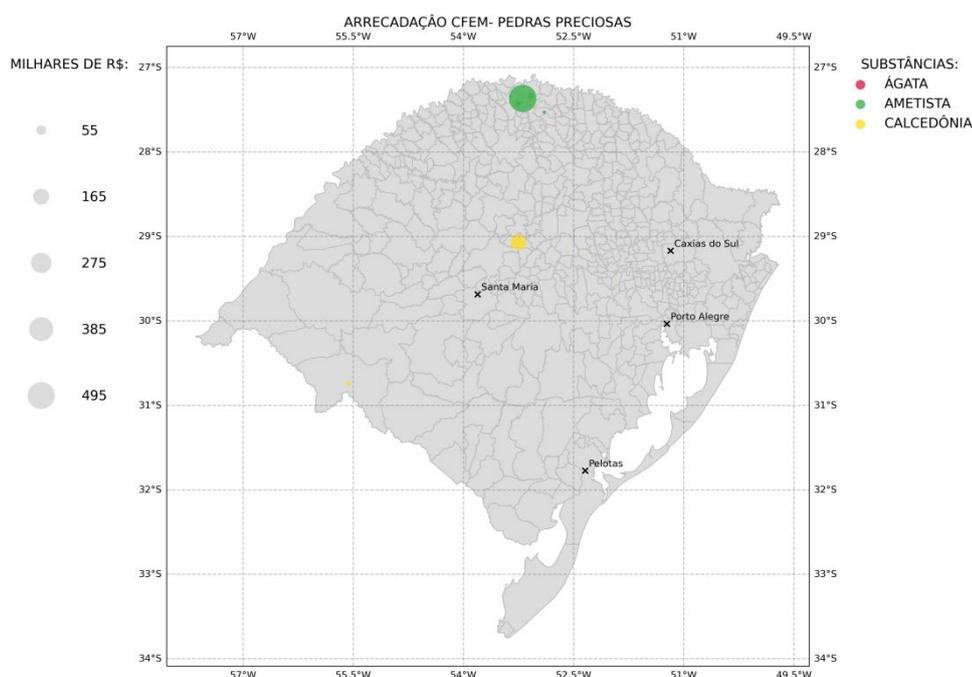


Figura 40 - Recolhimento de CFEM pelos municípios produtores de pedras preciosas.

4.7. Rochas Ornamentais

O Rio Grande do Sul possui uma grande diversidade de ocorrências minerais que podem ser utilizadas como rochas ornamentais, com grande variedade textural e cromática de granitos em tons de cinza, rosa, bege e vermelho. O Estado também concentra

ocorrências de basaltos e riolitos. Os mapas, Figuras 41, 42 e 43, mostram a densidade de processos para rochas ornamentais (granito, basalto e riolito).

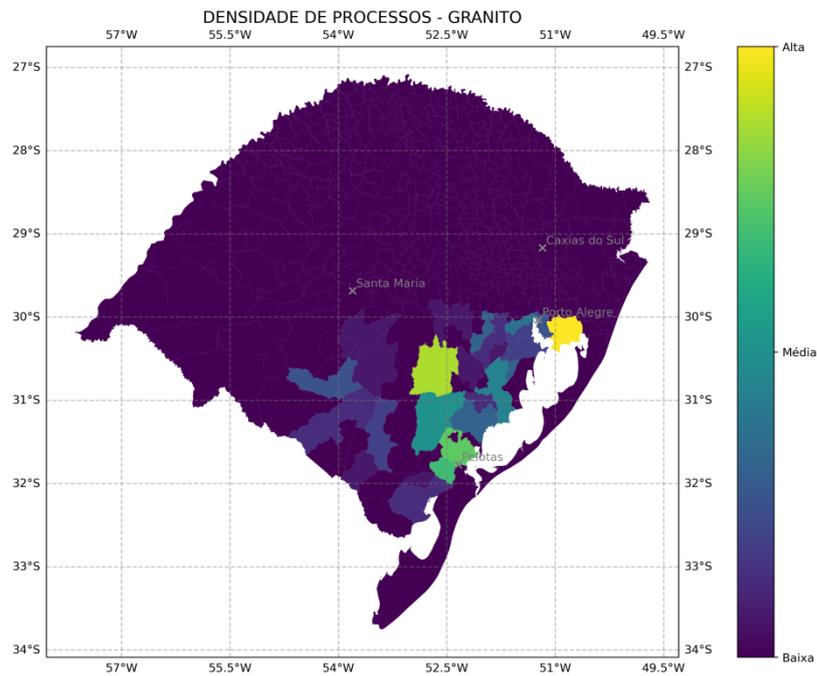


Figura 41 - Densidade de processos para granito no RS.

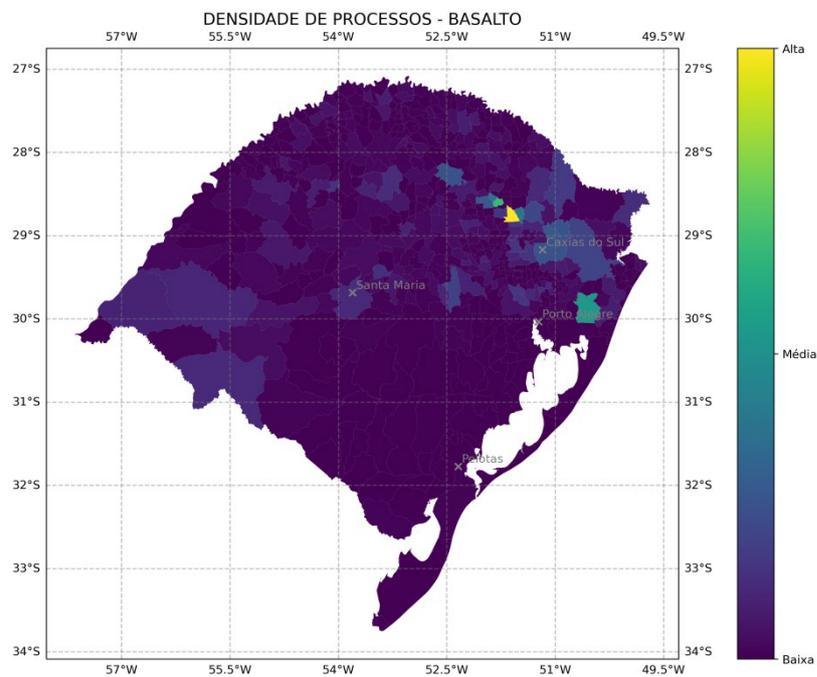


Figura 42 - Densidade de processos para basalto no RS.

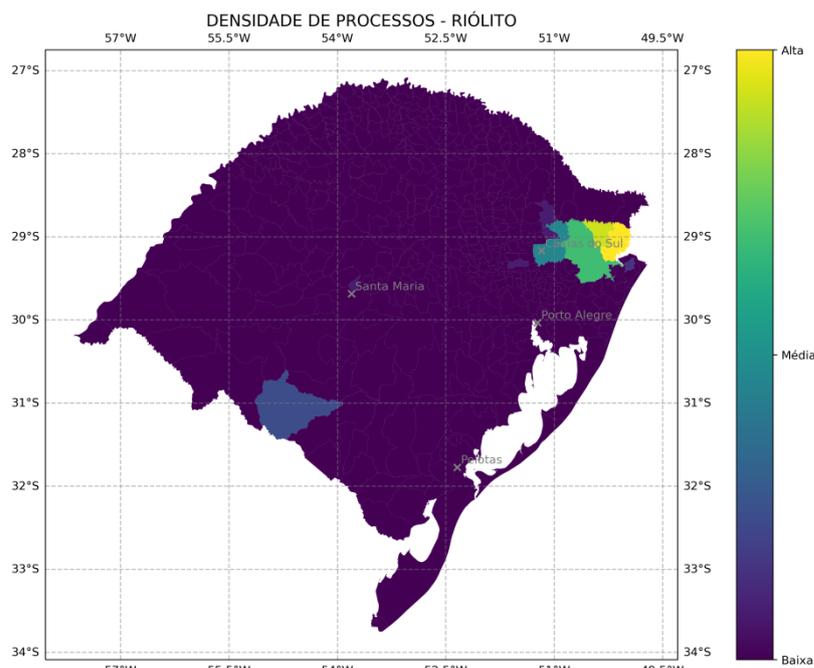


Figura 43 - Densidade de processos para riólito no RS.

A ocorrência de rochas ornamentais no Estado se dá principalmente no Escudo Sul-Rio-Grandense. No domínio do Batólito Pelotas, nas porções sudeste e sul, há ampla ocorrência de granitóides classificados como granitos, granodioritos, tonalitos, sienitos, monzonitos, e com denominação comercial de “granitos”, Figura 44.

Entretanto, a região centro-norte do Estado é potencial para desenvolvimento de lavra para rocha ornamental de rochas vulcânicas classificadas como basaltos, riólitos e dacitos, com nome comercial de “basaltos”, e que tem mostrado nos últimos anos um crescimento de mercado nacional.

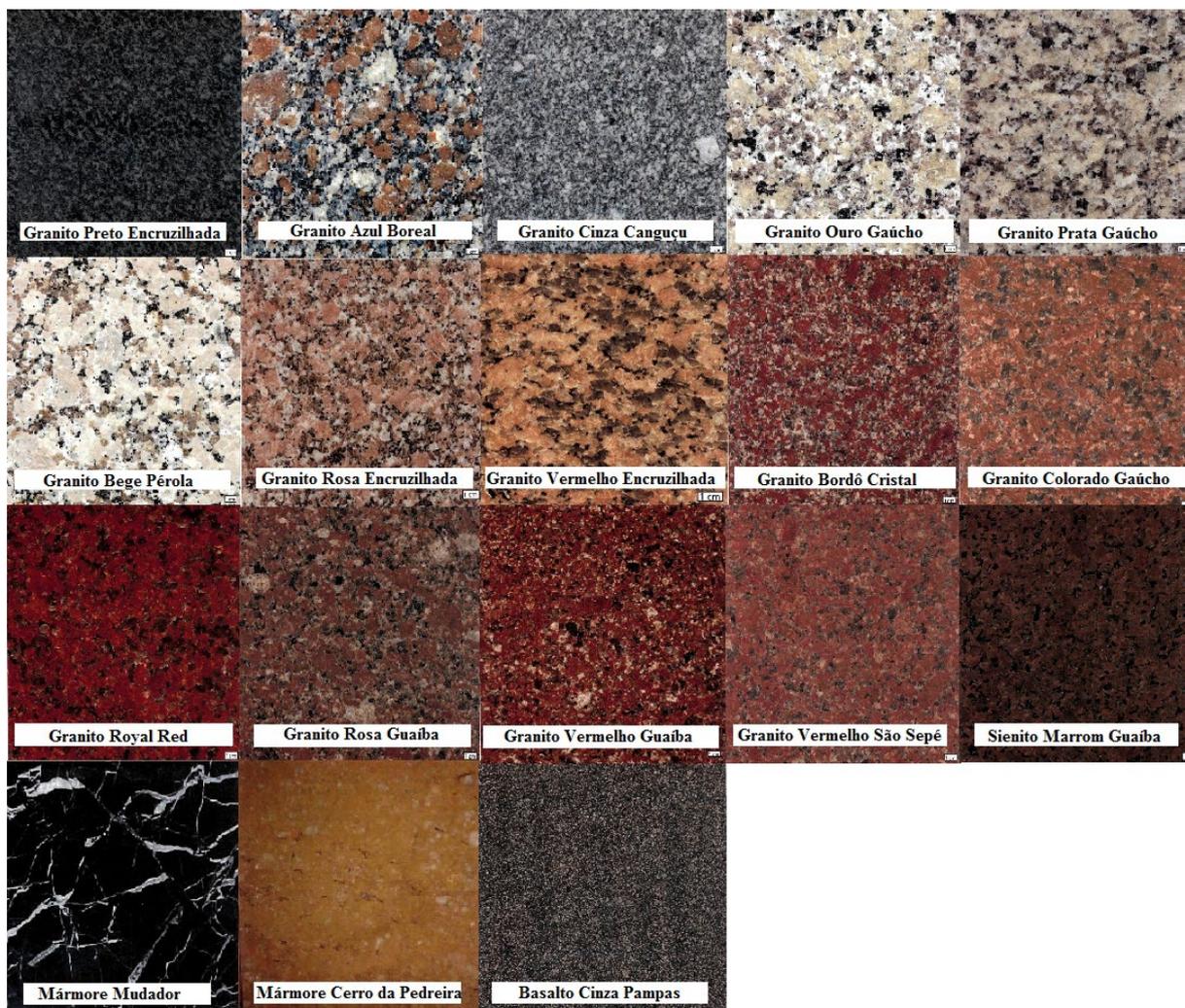


Figura 44 - Principais rochas ornamentais comercializadas do Rio Grande do Sul. Fonte: Características Tecnológicas de Rochas Ornamentais do Estado do Rio Grande do Sul, Gonzatti et al. (2009).

A Figura 45 apresenta o mapa de localização das minas de rochas ornamentais e os dados de produção dos principais municípios, Tabela 18.

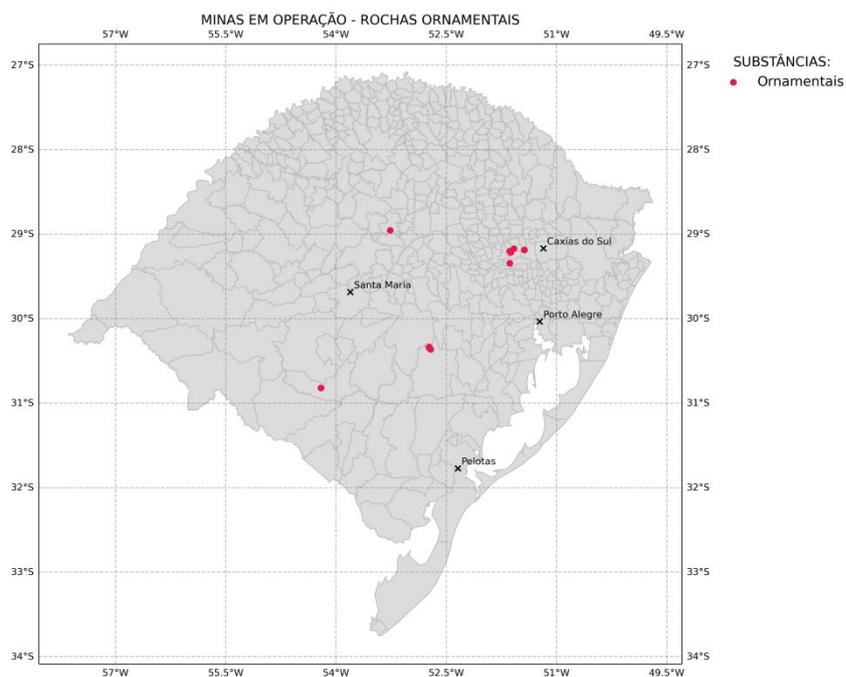


Figura 45 - Localização das minas de rochas ornamentais.

Tabela 18 - Principais municípios produtores de rochas ornamentais no RS.

Substância/Município	Quantidade Comercializada (em mil toneladas)				
	2013	2014	2015	2016	2017
Ornamental (Granito, Gnaise e afins)					
Cachoeira Do Sul	9,8	10,6	6,9	5,9	6,2
Encruzilhada Do Sul	-	-	0,2	-	0,4
Outras Rochas Ornamentais (Pedra de Talhe, Pedra-Sabão, Basalto, etc.)					
Taquara	25,0	27,8	99,0	103,1	120,4
Paraí	84,2	44,8	99,8	85,4	71,5
Nova Prata	143,1	137,6	124,8	56,0	64,7
Parobé	1,5	23,6	16,8	8,8	35,4
Santo Antônio da Patrulha	50,0	23,3	14,9	17,7	23,0

Fonte: Anuário Mineral Estadual Rio Grande do Sul Ano Base 2017 (ANM, 2019).

Referente à CFEM, o recolhimento dos principais municípios arrecadadores variou, de 2016 a 2020, conforme demonstra a Tabela 19.

Tabela 19 - Recolhimento de CFEM para rochas ornamentais dos principais municípios arrecadadores.

Substância/Município	Arrecadação de CFEM (R\$)				
	2016	2017	2018	2019	2020
Arenito					
Taquara	163.296,32	109.860,58	109.598,19	130.240,64	123.701,95
Parobé	25.587,97	27.158,18	31.739,60	33.413,01	42.149,17
Santo Antônio da Patrulha	5.541,50	6.805,23	5.375,53	6.985,12	9.596,34
Novo Hamburgo	11.009,34	12.699,79	8.996,76	6.765,87	6.079,70
Gravataí	2.703,45	29.573,44	2.182,01	5.349,20	4.254,92
Basalto					
Montenegro	405.426,80	318.195,34	203.876,87	317.299,53	362.144,98
Bento Gonçalves	51.888,16	223.645,79	231.492,61	217.300,34	216.475,30
Gravataí	32.590,41	34.625,63	147.963,58	156.945,63	201.067,89
Passo Fundo	152.424,11	203.266,08	208.757,32	208.975,84	195.113,13
Itaara	221.643,10	279.139,57	190.145,34	162.789,23	191.896,28
Diabásio					
Panambi	32.179,52	19.378,82	13.829,86	17.051,48	35.575,16
Butiá	3.455,61	923,34	1.544,59	2.414,32	2.809,63
Granito					
Pelotas	231.951,68	149.804,37	192.141,37	313.721,29	343.380,13
Eldorado do Sul	163.069,52	101.266,05	62.490,63	82.512,08	134.906,13
Capão do Leão	241.432,16	299.313,89	70.070,64	48.951,30	112.813,09
São Lourenço do Sul	13.430,73	17.054,81	31.675,08	70.692,55	99.248,25
Porto Alegre	21.243,59	18.168,23	97.947,49	98.794,50	98.430,64
Sienito					
Cachoeira do Sul	6.698,67	81.124,75	35.005,04	42.437,64	64.736,44

Fonte: Sistema Arrecadação ANM.

A arrecadação municipal de CFEM em 2020 se distribuiu conforme apresentado no mapa, Figura 46.

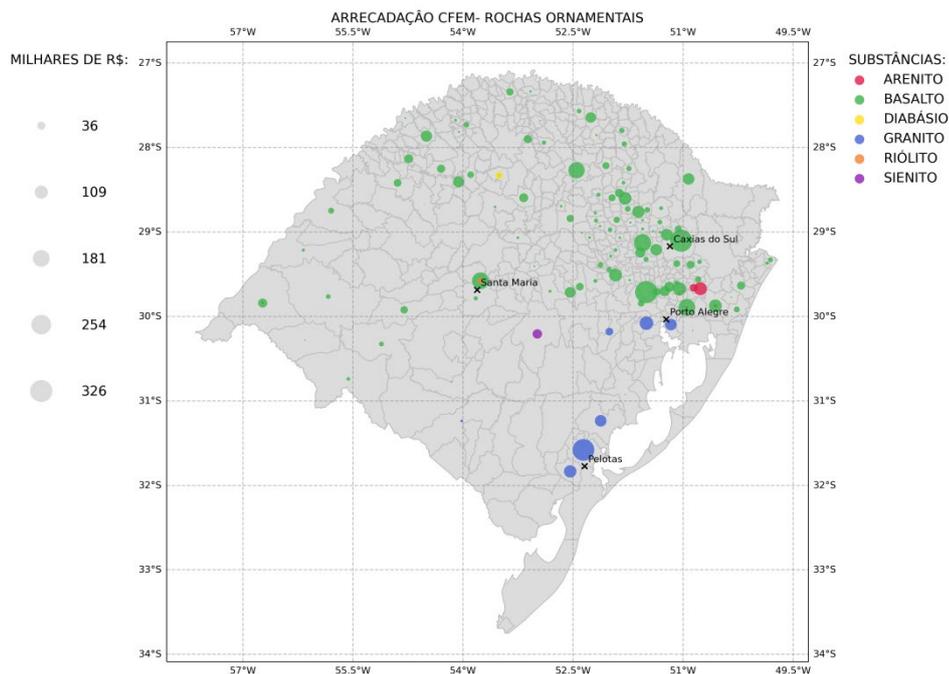


Figura 46 - Recolhimento de CFEM em 2020 pelos municípios produtores de rochas ornamentais.

4.8. Insumos Agrícolas

Os insumos minerais para fins agrícolas são considerados estratégicos em função das características do solo e do elevado percentual da participação do agronegócio na economia gaúcha. Os solos necessitam de adequada gestão de nutrientes para manter a produtividade do setor agrícola. Neste sentido, o aproveitamento de calcário, rochas fosfáticas, rochas potássicas e enxofre permite alcançar padrões de fertilidade compatíveis com as necessidades regionais.

Especificamente em relação ao calcário, rocha de origem sedimentar com altos teores de carbonato de cálcio, tem seu uso bastante diversificado. As aplicações incluem a indústria do cimento e cal, de brita, metalúrgica, química, tintas e de corretivos de acidez de solos, sendo que esta é a 2ª maior consumidora deste insumo.

As principais substâncias minerais de interesse como insumos agrícolas no Rio Grande do Sul são o calcário, para o uso de calagem dos solos, e o fosfato para fertilizantes. As Figuras 47 e 48 exibem os mapas de densidade de processos para calcário e fosfato, respectivamente.

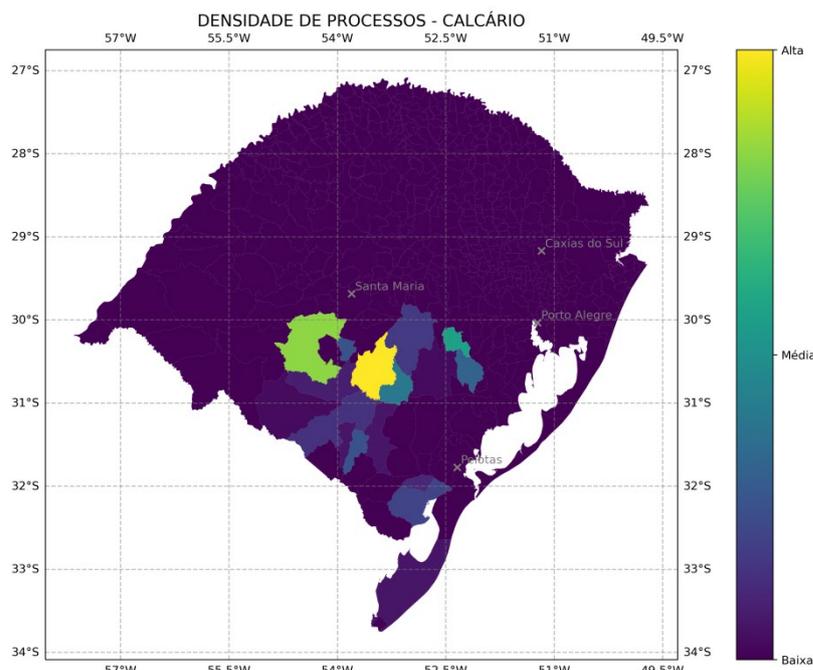


Figura 47 - Densidade de processos para calcário no RS.

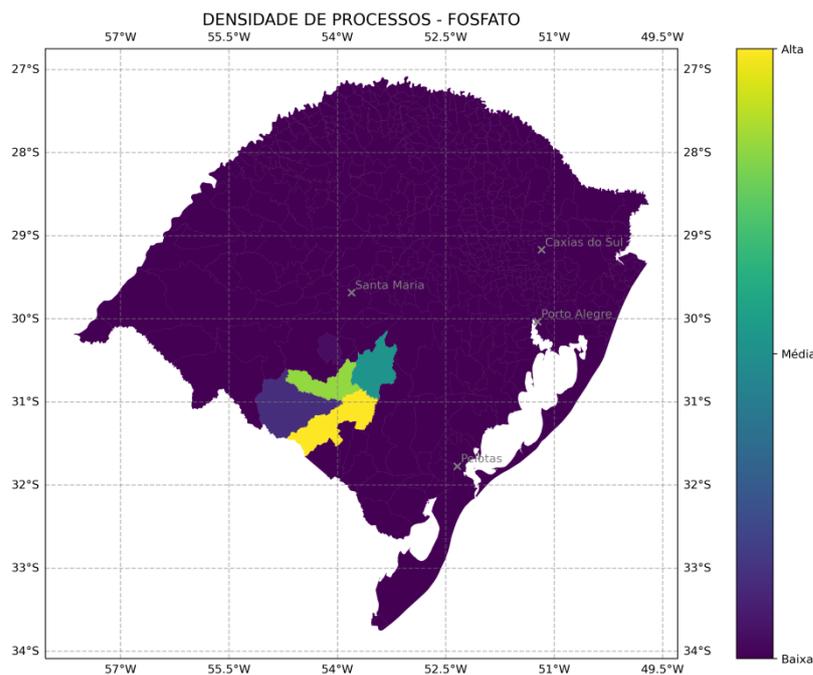


Figura 48 - Densidade de processos para fosfato no RS.

A produção de insumos para agricultura pela indústria mineral no RS se concentra no calcário agrícola, sob a forma de diferentes produtos dependendo da natureza da matéria prima, sendo predominantemente dolomítico e em menor quantidade calcítico. Ainda, há produção de derivados da industrialização do calcário agrícola, incluindo o cal e fertilizantes granulados.

Os fertilizantes são produzidos a partir da adição de macro e micronutrientes ao calcário agrícola. Já os fertilizantes à base de nitrogênio, fósforo e potássio (NPK) são fabricados com uso de matéria prima importada.

O mapa, mostrado na Figura 49, apresenta a localização das minas de insumos agrícolas no Rio Grande do Sul.

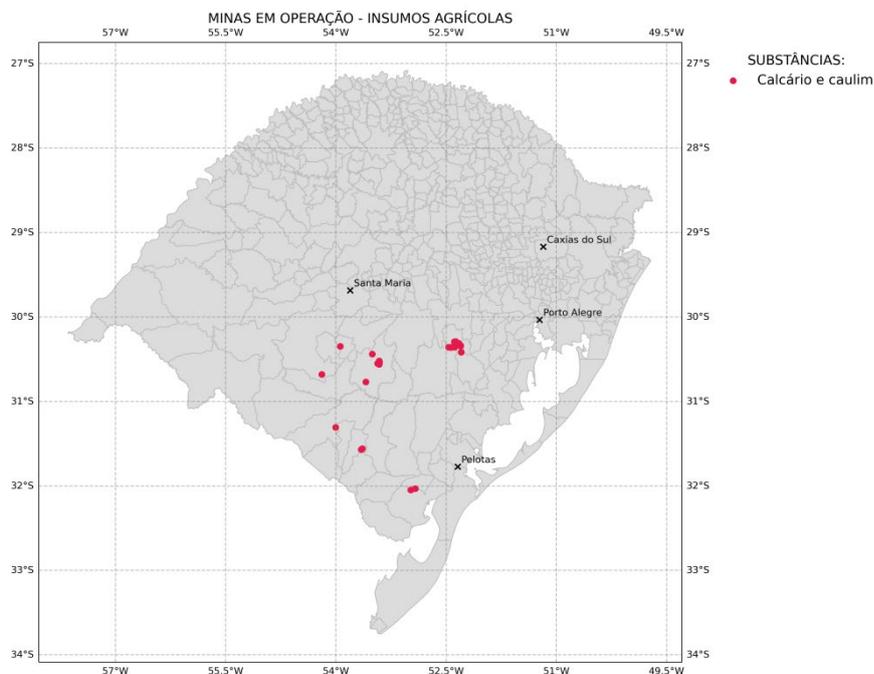


Figura 49 - Localização das minas de insumos agrícolas.

Os principais municípios produtores de calcário no Rio Grande do Sul e a sua participação na produção são apresentados na Tabela 20.

Tabela 20 - Principais municípios produtores de calcário no RS.

Substância/Município	Quantidade de Calcário Comercializada (em mil toneladas)				
	2013	2014	2015	2016	2017
Caçapava do Sul	2.712,6	3.620,9	3.210,7	3.140,8	3.159,0
Pinheiro Machado	926,6	1.036,6	873,7	660,8	674,4
Candiota	588,5	586,9	454,7	380,9	229,4
Pantano Grande	265,5	197,9	186,2	232,7	229,0
Dom Feliciano	269,5	205,6	228,4	3,4	156,8

Fonte: Anuário Mineral Estadual Rio Grande do Sul Ano Base 2017 (ANM, 2019).

O calcário foi a 5ª substância com maior arrecadação de CFEM do ano de 2020 no Rio Grande do Sul, totalizando um valor de R\$ 1.569.774,61. Os municípios com maior recolhimento foram: Pantano Grande (R\$ 450.650,42), Caçapava do Sul (R\$ 367.104,45), Candiota (R\$ 332.592,90). A Figura 50 apresenta a distribuição da arrecadação municipal de CFEM em 2020 relativo ao calcário.

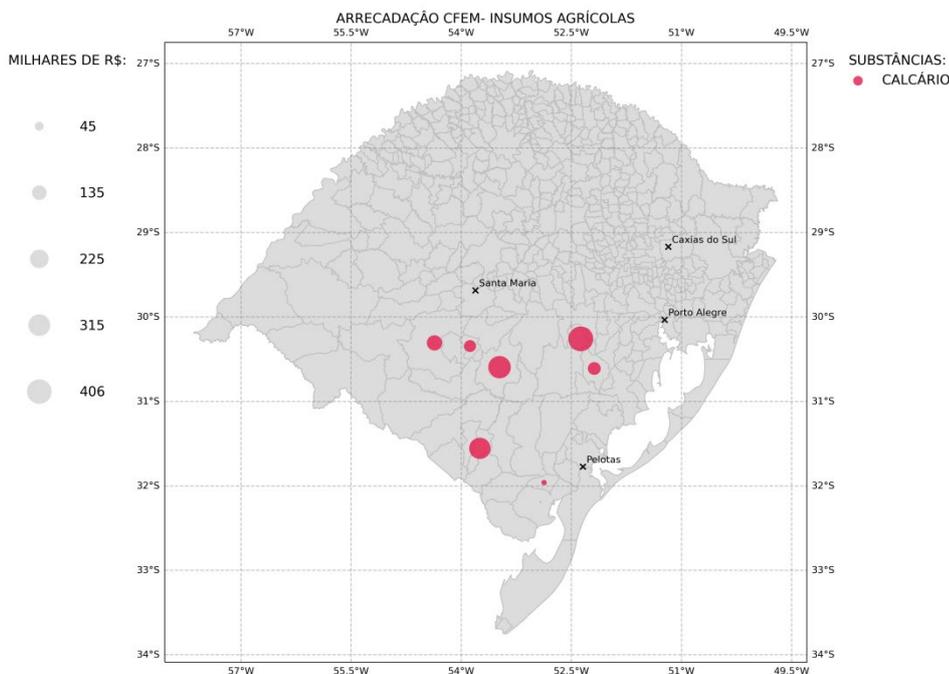


Figura 50 - Recolhimento de CFEM em 2020 pelos municípios produtores de insumos agrícolas.

4.9. Processos Minerários em Disponibilidade

A “disponibilidade de área” é um processo seletivo, conduzido pela Agência Nacional de Mineração, que objetiva selecionar interessados em dar prosseguimento a projetos minerários que já haviam sido outorgados a terceiros, mas que retornaram à carteira da ANM por algum motivo, tais como indeferimentos de requerimentos, caducidade de títulos, abandono da jazida ou mina, desistência e renúncia.

A disponibilização de áreas da ANM entrou, em maio de 2020, para o Programa de Parcerias de Investimentos (PPI) do Governo Federal, virando um dos projetos para fomentar o desenvolvimento social e econômico do país. A primeira rodada aconteceu em setembro do mesmo ano e ofertou, experimentalmente, 500 áreas para pesquisa. Em dezembro, aproximadamente sete mil áreas foram disponibilizadas para pesquisa e lavra. A

terceira rodada de disponibilidade ofertou, em março de 2021, 2.762 áreas para pesquisa e lavra.

A qualificação no PPI apoia a ANM na elaboração e implantação do novo modelo de disponibilidade de áreas, incluindo a oferta pública prévia, seguido pelo critério de desempate pela melhor oferta financeira para os projetos e empreendimentos. As áreas para as quais não há interessados nem recebem lances no leilão ficam livres e podem ser novamente requeridas por qualquer interessado.

O projeto de disponibilidade de áreas da ANM tem como objetivo girar economicamente um passivo de cerca de 50 mil áreas que estavam paradas, com represamento de investimentos em pesquisa e lavra mineral. A ANM pretende até o fim de 2022 zerar o estoque de áreas que estão em sua carteira, indisponíveis para a mineração.

A Figura 51 ilustra as áreas com status de disponibilidade no Rio Grande do Sul, de acordo com os dados dos processos da ANM em novembro de 2021.

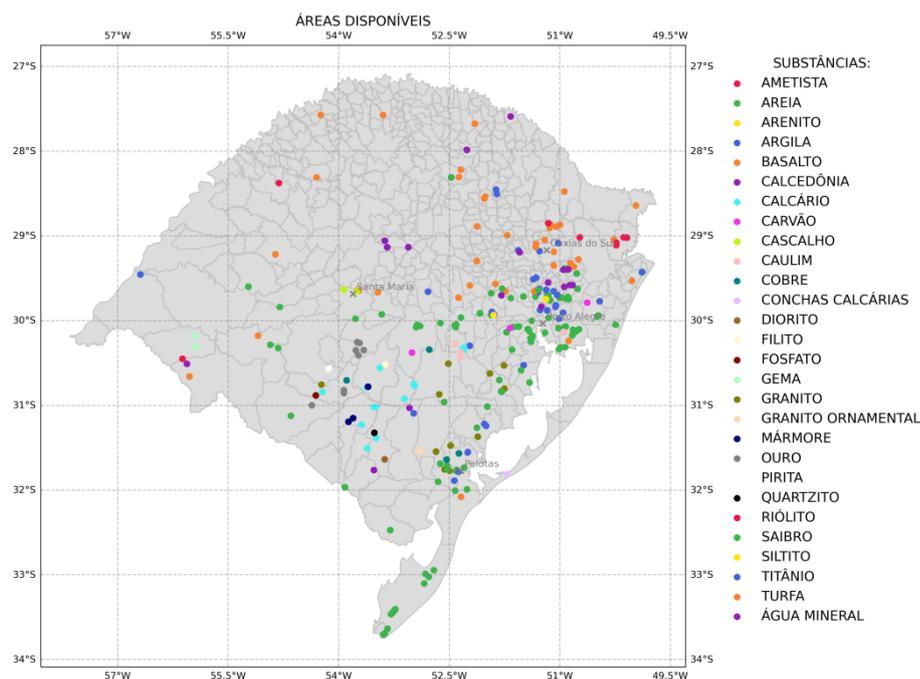


Figura 51 - Áreas em disponibilidade no RS.

5. Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação para o Setor Mineral

Capítulo elaborado através de colaboração da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Autores:

Rodrigo de Lemos Peroni ¹; Carlos Otávio Petter ¹; André Cesar Zingano ¹; Ivo André Homrich Schneider ¹; Jorge Dariano Gavronski ¹; André Camargo de Azevedo ¹; Weslei Ambrós ²

(1) Departamento de Engenharia de Minas (DEMIN) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul

(2) Departamento de Metalurgia (DEMET) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul

As atividades de Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação estão presentes nos processos de criação de novas técnicas, práticas e metodologias com o propósito de melhoria de práticas utilizadas atualmente na indústria, nesse caso particular para o setor mineral. Com foco em três linhas temáticas, conforme apresentado na Figura 52, e considerando que existe interrelação entre os três temas listados, as tendências na mineração têm se baseado em novas tecnologias para promover a eficiência de processos, redução no uso de insumos além de redução e controle de impactos ambientais.

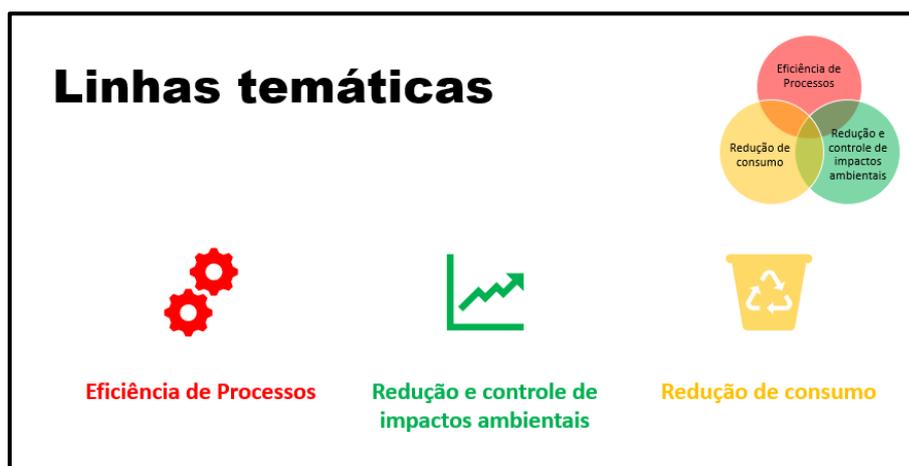


Figura 52 - Linhas temáticas de PD&I abordadas.

A Engenharia de Minas está fundamentada em pilares estruturais das áreas de pesquisa mineral, lavra de minas, processos de beneficiamento e a interação dessas áreas com o meio ambiente. Dentro desse contexto, a combinação dos temas apresentados nesse capítulo envolve a integração das quatro áreas de conhecimento juntamente com as três áreas temáticas em que foram alocados cada um dos assuntos, de forma que podem ser visualizados onde se encontram dentro da área de conhecimento da Engenharia de Minas e Geociências de uma forma mais ampla, conforme apresentado na Figura 53. Sendo a

questão ambiental extremamente relevante para um setor produtivo como a mineração, que é uma atividade primária, essencial, mas também modificadora do meio ambiente, todos os temas navegam nas questões ambientais, se não por princípio, talvez de forma finalística ou fazem parte de técnicas usadas para evitar, mitigar ou controlar eventuais atividades que tenham potencial de afetar o meio ambiente.



Figura 53- Áreas de concentração da Engenharia de Minas e a contextualização com os assuntos abordados nesse capítulo.

5.1. Eficiência de Processos

5.1.1. Técnicas de mapeamento e modelagem com VANTS e sensores aerotransportados e integração com realidade virtual na mineração

5.1.1.1. MAPEAMENTO E MODELAGEM COM VANTS

Tradicionalmente, levantamentos topográficos, mapeamento de afloramentos ou frentes de lavra, análise de uso e ocupação do solo, inspeções *in loco* e diversas outras atividades necessárias para o entendimento do comportamento do terreno, das interações entre litologias, do comportamento do maciço rochoso, entre outras, eram realizadas por

métodos convencionais. Via de regra, essas atividades demandam acesso às áreas a serem mapeadas para que sejam coletados dados para que posteriormente seja construído um modelo de representação do fenômeno ou ocorrência que se quer demonstrar. Essas técnicas aqui chamadas de convencionais, por exemplo, no que se refere à topografia do terreno, foram por muito tempo executadas por teodolitos e trena, mais recentemente por estações totais capazes de medir ângulos, distâncias horizontais e verticais (Beretta *et al.* 2017).

Mais recentemente, técnicas baseadas em sistemas de navegação e posicionamento global por satélites (GNSS) e imagens obtidas por sensores orbitais obtiveram (e estão presentes no nosso dia a dia) grande aplicação em atividades diversas, inclusive para os levantamentos topográficos e para mapeamento de feições e morfologia no terreno (Hofmann-Wellenhof, 2008). As técnicas de aerofotogrametria sempre foram também muito utilizadas para imageamento e mapeamento de grandes áreas, no entanto, são técnicas que envolvem custos elevados e uma logística complexa para execução do levantamento em função do tipo e porte dos equipamentos e especificidade dos serviços realizados em um levantamento dessa natureza (Linder, 2009).

No entanto, a partir da última década, o rápido crescimento e diversidade de aplicações fez com que o uso de Veículos Aéreos Não Tripulados (VANTs) obtivesse uma grande expansão em diversos setores, inclusive mineração (Peroni, 2017). Entre as aplicações para essa categoria de equipamentos está a utilização de pequenas aeronaves remotamente pilotadas, como portador de câmeras fotográficas de pequeno formato, que igualmente foram miniaturizadas nos últimos anos, permitindo que fossem embarcadas nessas aeronaves.

A aerofotogrametria não é uma técnica recente, mas com a utilização de câmeras portáteis passíveis de serem transportadas em pequenas aeronaves tornou-se uma novidade. Esse tipo de tecnologia se tornou acessível para empresas e profissionais para levantamentos de áreas muito menores, mas que igualmente demandam frequência de atualização, e não contam com recursos e capacidade de investimento para fazer esse tipo de levantamento com técnicas da aerofotogrametria convencional ou mesmo através das técnicas de levantamento em campo tradicionais que são geralmente lentas e pouco produtivas, quando comparadas à essas novas técnicas. Os levantamentos podem variar de escalas locais reduzidas para mapeamento de feições em pequenos afloramentos ou taludes

ou levantamentos maiores em áreas (~1000 ha ou mesmo mais), dependendo do porte e autonomia do equipamento utilizado.

A Figura 54 apresenta um fluxo esquemático do processo abordado nessa seção, desde a captura de imagens no campo, passando pela criação dos modelos até a visualização em realidade virtual (RV).

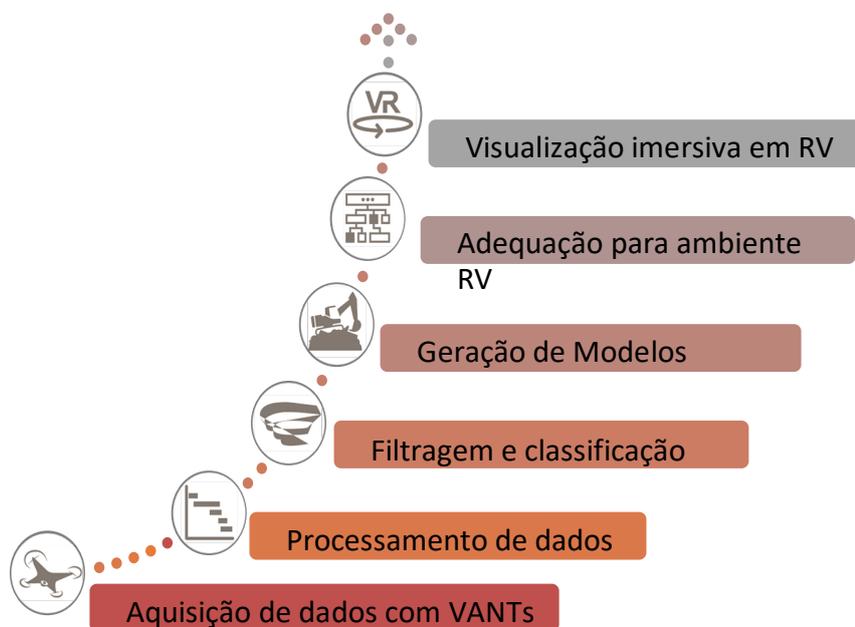


Figura 54 - Fluxo de processo desde a aquisição de dados com VANTs até a visualização de modelos em Realidade Virtual imersiva.

A qualidade de produtos gerados a partir de levantamentos aerofotogramétricos permite aplicação em mapeamento e modelagem de terrenos em áreas de mineração, que em última análise podem ser usadas como instrumento na rotina operacional de uma mina para atualizações sistemáticas de topografia, mapeamento de áreas e litologias, bem como para atividades de perícia e fiscalização. Os produtos obtidos podem ser comparados e confrontados com técnicas de topografia e outros métodos convencionais utilizados com a finalidade de mapeamento e medição no terreno.

Os resultados obtidos com o uso de equipamentos de pequeno porte demonstram uma excelente relação custo-benefício com a geração de produtos tanto temáticos com alta qualidade visual, quanto cartográficos, apresentando alta resolução com precisão centimétrica medida a partir de pontos de controle em solo, tais como:

- Modelo Digital de Elevação do Terreno
- Ortomosaico

- Curvas de nível de detalhe
- Superfície triangularizada da topografia
- Nuvem de pontos densificada
- Limites de propriedade
- Tipo de uso e ocupação do solo
- Contatos geológicos
- Entre outros.

A Figura 55 apresenta um exemplo de um levantamento em área de mineração a céu aberto com aproximadamente 100ha de área e uma profundidade de em torno de 250m, nas representações através de um modelo tridimensional de nuvem densa de pontos (a) e um modelo digital de elevação do terreno (b). Como ilustrado no exemplo apresentado, esse tipo de técnica permite levantamento de áreas com diferenças de nível consideráveis ou com difícil acesso. Áreas que ao serem levantadas por métodos convencionais demandariam grande tempo para serem mapeadas sendo que os produtos gerados superam em qualidade, resolução, grau de detalhamento e principalmente se equivalem em termos de precisão e acurácia posicional para que seja implementado na rotina das operações de pesquisa mineral e lavra de minas em operações de diferentes portes.

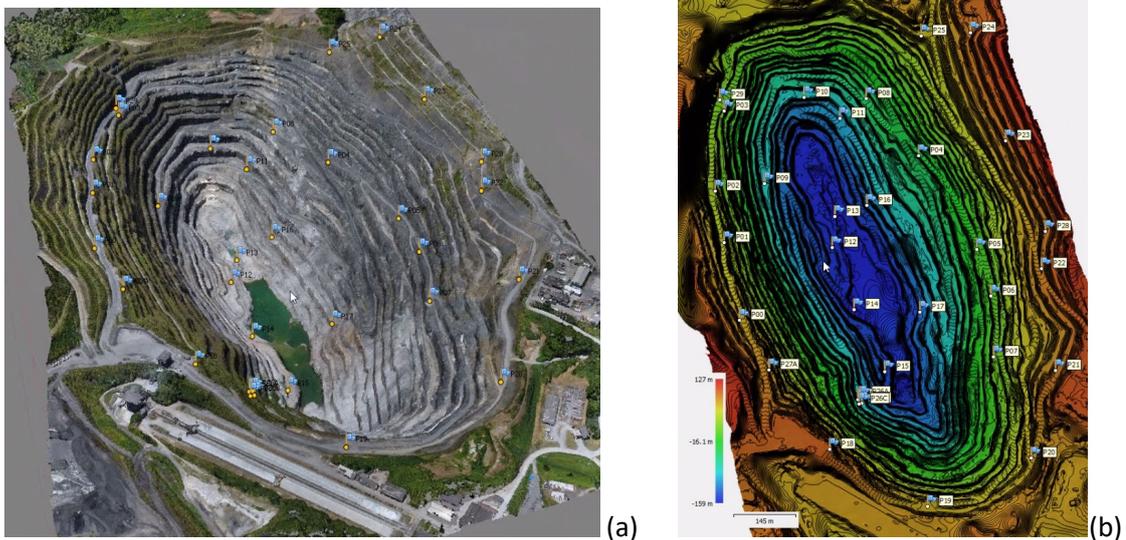


Figura 55 – Exemplos de modelos com nuvem densa de pontos (a) e de modelo de elevação do terreno (b) gerados por aerofotogrametria com VANTs. Fonte: arquivo pessoal prof. Rodrigo Peroni.

5.1.1.2. VISUALIZAÇÃO EM REALIDADE VIRTUAL

Atualmente, os modelos gerados e construídos através do processamento de imagens são manipulados com o uso de computadores como arquivos digitais em sistemas de informação geográficas (SIG), ou outros programas especialistas para geologia e mineração contendo múltiplas camadas de dados e informação. A Figura 56 apresenta um fluxograma esquemático das etapas envolvidas na aquisição de dados de diferentes fontes e a transformação digital necessária de arquivos com a integração desses diferentes formatos dentro de uma plataforma de software de código aberto que reconhece o hardware que permite a interação imersiva em primeira pessoa, de um ou múltiplos usuários simultaneamente.

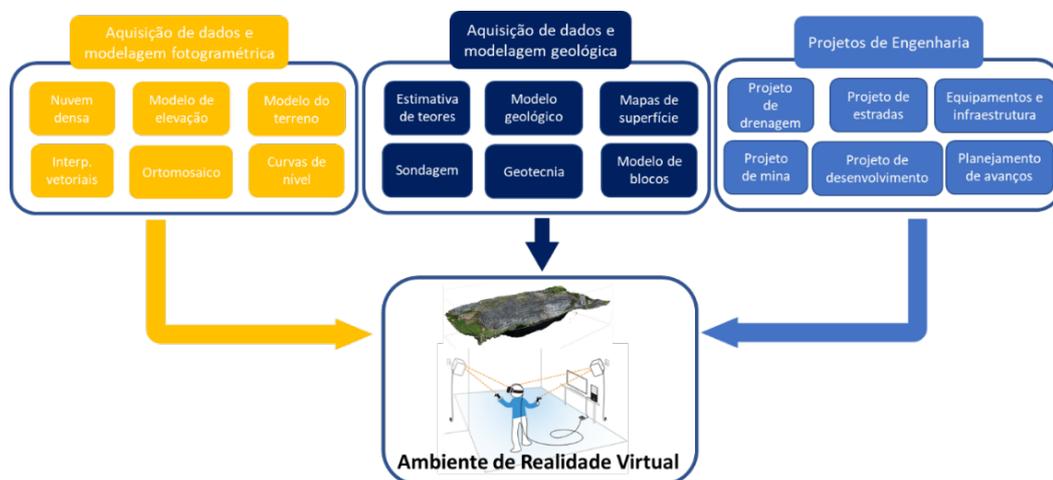


Figura 56 - Fluxograma de aquisição de dados, geoprocessamento, modelagem, projeto de engenharia de visualização em ambiente imersivo em Realidade Virtual.

Os dados adquiridos nos aerolevantamentos, uma vez processados, feitas as correções ortométricas, selecionadas as áreas de interesse e combinados adequadamente, podem ser agora visualizados como representações do estado atual ou mesmo modelados para reproduzirem estados futuros das áreas lavradas, de pilhas de deposição de material estéril, de modelos geológicos em subsuperfície ou modelos estimados dos depósitos minerais e as sondagens usadas nas amostragens e interpretações geológicas. Esse tipo de visualização e modelagem já faz parte da rotina de engenharia e geomodelagem, mas a possibilidade agora de ter uma frequência de atualização muito maior, e sobre esses modelos fazer projeções de cenários futuros, torna-se ainda mais interativo, permitindo que esses modelos possam ser visualizados em ambiente de Realidade Virtual (RV).

Dentro do ambiente de RV, com a riqueza de detalhes e resolução obtida a partir dos aerolevantamentos, permite-se que modelos sejam compartilhados entre pessoas localizadas em qualquer outro local no mundo sem a necessidade de visita presencial ao local da operação, permite que discussões técnicas sejam realizadas dentro de um ambiente controlado, isento dos riscos inerentes às atividades operacionais com a presença de equipamentos, alcance a áreas de difícil acesso, inspeção de áreas com risco de estabilidade ou mesmo escavações subterrâneas. Além das diversas vantagens listadas, permite inclusive que os próprios responsáveis pela modelagem consigam executar as suas tarefas de interpretação ou atualização das feições mapeadas dentro do modelo em RV. A Figura 57 apresenta um modelo visualizado a partir da perspectiva do usuário portando os instrumentos de interação e controle de navegação dentro do ambiente de RV.

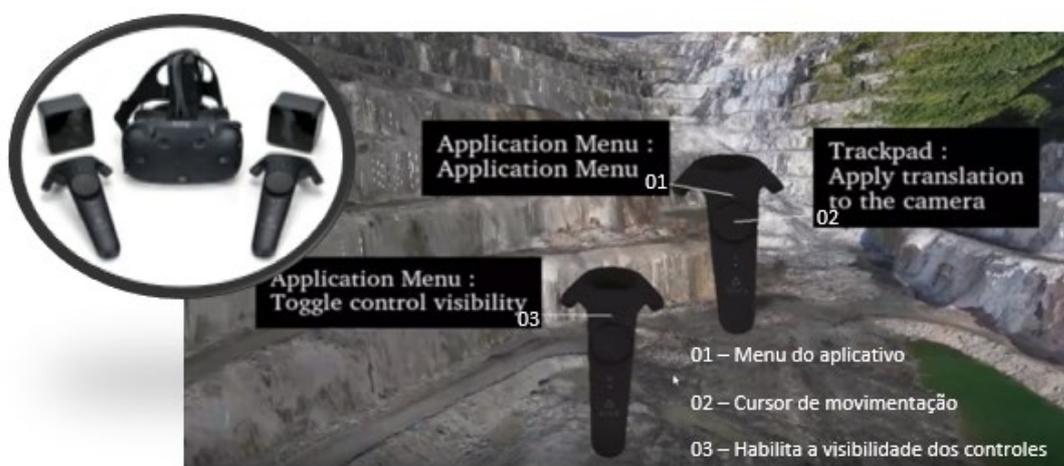


Figura 57 - Visão do usuário dentro do ambiente de realidade virtual com os controles de ação e interação com o modelo.

5.1.2. Otimização de processos de filtragem de rejeitos ultrafinos para disposição por empilhamento a seco

Atualmente, a recuperação e o aproveitamento ou disposição a seco de rejeitos tem sido uma questão crescente na política das empresas de mineração. O rigor e a dificuldade no licenciamento de novas barragens para disposição de rejeitos a úmido e a maior preocupação com o estabelecimento de uma mineração mais responsável do ponto de vista socioambiental, faz com que essas práticas de gestão de resíduos (filtragem para disposição a seco e/ou aproveitamento de rejeitos), que historicamente eram inviabilizadas pelos altos custos envolvidos, passem a ser consideradas e a constituir temas de estudos de desenvolvimento tecnológico, para viabilizar processos do ponto de vista técnico. Outro aspecto considerado na gestão de rejeitos é o aproveitamento das frações mineralógicas de

interesse econômico contidas nesses rejeitos para diversos fins em outros setores da economia, principalmente nas áreas de construção civil, industrial e agrícola.

Nesse contexto, a tendência atual de gestão de rejeitos, seja para disposição a seco em pilhas ou preenchimento de cavas ou no reaproveitamento como subproduto requer o desenvolvimento de técnicas e processos inovadores de desaguamento das polpas de rejeitos, especialmente nas etapas de filtração.

Esses rejeitos são geralmente constituídos de material particulado fino e ultrafino e representam um desafio tecnológico considerável para ser superado por empresas, universidades e centros de pesquisa da área mineral.

Os processos de filtração usados no tratamento de rejeitos e concentrados finos são estudados e otimizados em laboratório. São realizadas melhorias em relação à otimização de parâmetros de processo, bem como no desenvolvimento e aplicação de reagentes auxiliares de filtração, para aumento da velocidade de filtração e capacidade de processamento de equipamentos. Os estudos são conduzidos em escala de bancada (laboratório) em sistemas reduzidos (Figura 58) de otimização de parâmetros de filtração prensa para desaguamento de rejeitos minerais. Neste sentido, parcerias com empresas são importantes para viabilizar projetos em escalas piloto ou industrial.



Figura 58 - Equipamento de filtração prensa em bancada utilizado no Laboratório de Tecnologia Mineral e Ambiental (LTM) da UFRGS para otimização de parâmetros de filtração de rejeitos. Fonte: acervo LTM.

Com estudos de inovação em desaguamento de rejeitos e avaliações geotécnicas desses materiais para empilhamento a seco, pretende-se obter fluxogramas de processo.

conforme apresentado na Figura 59, para tratamento e disposição dos rejeitos sem o uso de barragens, conforme será apresentado na seção 5.3.2.

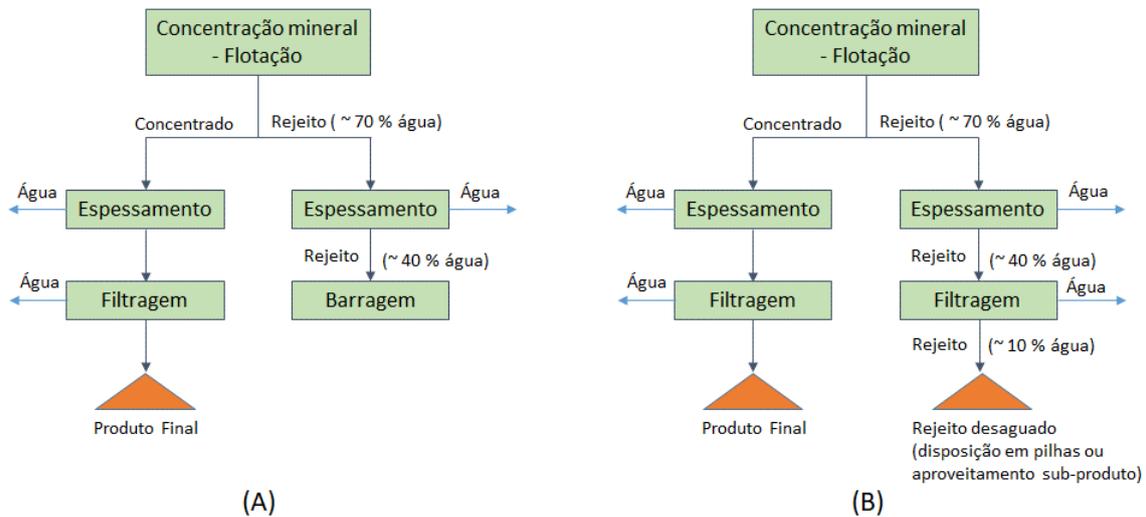


Figura 59 - Fluxograma de processos de separação sólido-líquido em beneficiamento de minérios. (A) Abordagem convencional (antiga); (B) Abordagem atual (inovadora) sem uso de barragens de rejeitos.

5.2. Redução de Consumo

5.2.1. Novas técnicas para tratamento de efluentes potencialmente geradores de drenagem ácida e reuso de águas de processo

A água é considerada um recurso estratégico para o desenvolvimento de uma mineração responsável. Entre os envolvidos no setor de mineração, existe o consenso de que há uma dualidade na relação entre água e mina. Se, por um lado, esse é um recurso natural de uso intenso e extremamente necessário em diversas atividades de operação da mina e da usina de beneficiamento de minérios, por outro é a origem de muitas preocupações.

A necessidade de utilização, aliado ao grande consumo de água em diversas etapas da cadeia produtiva mineral, vem fazendo com que esta seja considerada um dos principais insumos no setor de mineração, aumentando a preocupação com o conhecimento das fontes disponíveis para reposição da água consumida. A água está presente em quase todas as etapas do processo produtivo, desde a etapa de pesquisa mineral – que antecede o estabelecimento de uma mina – seguida pelas etapas de lavra, beneficiamento do minério até a metalurgia extrativa.

Em uma escala global, no entanto, o uso de água na mineração representa apenas uma pequena parte do uso geral da água. Mesmo em países relativamente secos e intensivos em mineração, como Austrália, Chile e África do Sul, o consumo de água em minas é de 2 a 4,5% da demanda nacional de água (BANGERTER; DIXON; VILLEGAS, 2010; BROWN, 2003). No entanto, quando a mineração ocorre em áreas onde a água é escassa, o consumo de água da mina pode afetar seriamente o abastecimento local. A redução do consumo de água e da emissão de efluentes aquosos em mananciais hídricos e de polpas de rejeitos em barragens são desafios fundamentais para avançar em direção a uma indústria de mineração mais sustentável.

As principais fontes da água consumida na mineração são:

- i. mananciais de águas superficiais;
- ii. águas subterrâneas e;
- iii. reciclagem e recirculação.

As demandas e especificações de qualidade da água no beneficiamento de minérios têm frequentemente implicações significativas de pontos de vista técnicos, econômicos, ambientais e políticos. O foco nas práticas de recuperação de água, recirculação em ciclo fechado e tratamento de águas de processo para reuso é uma tendência para empresas de mineração como forma de minimizar os impactos ambientais relacionados aos recursos hídricos e/ou garantir a operação de empreendimentos em zonas de escassez sazonal ou permanente de água. Nesse sentido, muitos projetos inovadores estão sendo desenvolvidos voltados à redução do consumo de água, tratamento e reuso de águas de processo (overflows de espessadores, filtrados de concentrados e rejeitos e águas pluviais e drenagens das minas). Os principais objetivos, incluem:

- Tratamento de águas de processo por técnicas de coagulação, floculação, adsorção, sedimentação ou flotação por ar dissolvido (FAD), com foco na remoção de sólidos suspensos e metais dissolvidos, para reuso no beneficiamento do minério;
- Neutralização e tratamento de drenagens ácidas de minas;
- Aplicação de pré-concentração a seco, com uso de equipamentos “automatic sorter”.

No tratamento de águas de processo, os principais pontos de inovação estão sendo realizados na investigação de reagentes de coagulação e floculação, principalmente aqueles de origem natural (amidos, taninos, quitosanas), aplicação de materiais adsorventes

na remoção de compostos dissolvidos e no desenvolvimento e otimização de técnicas de separação sólido-líquido (clarificação), seja por sedimentação ou FAD.

Em nível de pesquisa, estudos em escala de bancada e plantas piloto têm sido conduzidos para avaliar condições de processo em sistemas de efluentes simulados e reais, com investigação de rotas de coagulação-floculação, seguida de separação sólido-líquido (clarificação). A Figura 60 mostra um fluxograma de recuperação e tratamento de águas de processo em um conceito de circuito fechado, sem emissão de efluentes em recursos hídricos e com redução da captação de água nova para o beneficiamento mineral.

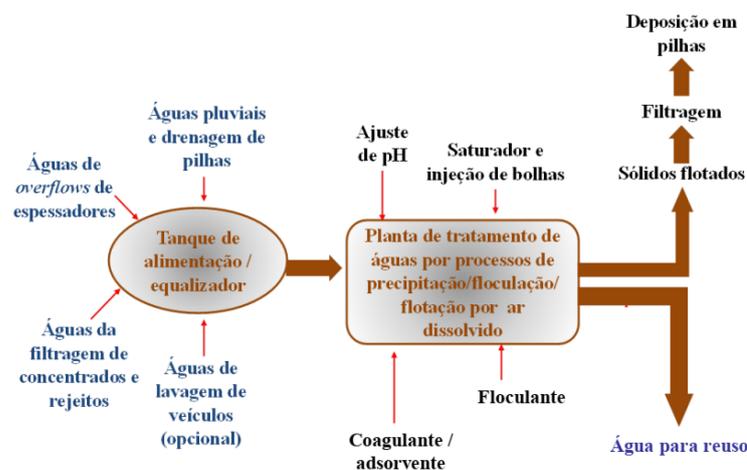


Figura 60 - Diagrama esquemático de recuperação e tratamento de águas de processo da mineração para reuso.

Com relação à Drenagem Ácida de Minas (DAM), os métodos de remediação são classificados em sistemas ativos, e que exigem operação contínua em uma planta de tratamento de efluentes com processos físico-químicos (neutralização da acidez, coagulação e floculação), ou sistemas passivos (*wetlands*), que funcionam sem necessidade de muito controle, embora demandem grandes áreas para o tratamento. Os métodos de remediação de DAM têm o objetivo de promover a remoção, principalmente, de sulfatos e íons metálicos, utilizando técnicas de precipitação-floculação e separação sólido-líquido por sedimentação ou FAD. As águas tratadas de DAM possuem potencial para reuso em processos de beneficiamento gravimétrico de carvão e/ou na flotação, no circuito de beneficiamento de finos de carvão.

5.2.2. Ecologia Industrial e a Análise de Ciclo de Vida (ACV)

De maneira geral, a Ecologia Industrial é um termo usado para designar um conjunto de metodologias aplicáveis ao contexto industrial (manufatura, design de produtos, etc.) olhando para ecossistemas naturais (não-humanos) como modelo para atividades industriais (Lifset & Graedel, 2002). Muitos ecossistemas biológicos são efetivos em reciclar recursos e, portanto, tidos como exemplos para eficiência do ciclo de materiais e energia na indústria. Além disso, a Ecologia Industrial coloca a atividade tecnológica humana no contexto de grandes ecossistemas que a suportam – examinando as fontes de recursos usados na sociedade.

Dentre os diversos métodos utilizados, pretende destacar a Análise de Ciclo de Vida (ACV) por sua crescente aplicação na indústria de mineração, em particular a nível de projetos. É importante destacar que há um grande campo de estudo da Ecologia Industrial em níveis setoriais (matérias primas minerais) em escalas regionais, nacionais e globais, auxiliando o planejamento de políticas públicas. Em essência, a Análise de Ciclo de Vida (ACV) refere-se a uma abordagem que foca em sistemas de produtos – o total de processos na economia que são responsáveis por exercer uma certa função (de Haes, 2002 apud Martins, 2020), ampliando os princípios de um simples balanço de massa. Nesse contexto, os ciclos de vida de um produto podem ser classificados da seguinte forma (Norgate & Jahanshahi, 2010):

- Do berço ao portão (extração de matéria prima e refino) - *Cradle to Entry Gate*;
- Do portão de entrada ao portão de saída (manufatura do produto) - *Entry Gate to Exit Gate*;
- Portão de saída ao túmulo (uso do produto, reciclagem e deposição) - *Exit Gate to Grave*.

Critérios do tipo ESG (ambientais, sociais e de governança) têm sido cada vez mais usados por investidores para medir níveis de sustentabilidade para investimento em uma empresa ou negócios. Tais fatores têm ganhado relevância nas empresas de mineração e o resultado disso é que muitas dessas empresas já adotaram tais critérios em seus princípios de negócio. Nas últimas décadas, a indústria avançou fortemente no desenvolvimento de melhores práticas para gerir riscos técnicos (e.g. distribuição de teores, eficiência de processos, riscos geotécnicos, custos operacionais, etc.) mas ao mesmo tempo, viu as incertezas do tipo ESG se tornarem mais difíceis de gerir (Bruce, 2014 apud Martins, 2020).

Em linhas gerais, mineradoras, atualmente buscam enfatizar que além de criar valor para seus acionistas também contribuem para impactos positivos às comunidades locais e economias regionais onde operam, levando melhores condições de trabalho aos seus colaboradores, juntamente com acesso a melhores serviços de saúde e educação.

- **Fatores-chave – energia, rejeitos e água**

O aumento da demanda de matérias primas minerais e o declínio nos teores de minério extraídos globalmente tendem a aumentar o impacto da indústria mineral, particularmente por meio de maior consumo de água e energia e maior geração de rejeitos. Para matérias primas de alto valor e baixos teores, como o ouro, cada tonelada de produto (Au) gera cerca de 1Mt de rejeito no seu processo produtivo. Em metais básicos, como o cobre, uma operação de lixiviação em pilha (minério com teor de 1% de Cu) pode gerar cerca de 550 toneladas de rejeito para cada tonelada de cobre catódico produzida (Rankin, 2011). Tayeb-Khorami *et al.* (2015) estimam que, mundialmente, a quantidade de rejeitos gerada por ano é da ordem de 100 bilhões de toneladas (rejeitos sólidos de extração primária). É intuitivo ainda que tal magnitude de geração de rejeitos tenda a aumentar em função do aumento de demanda por matérias primas conjugada com a redução de teores médios de minério para muitas substâncias minerais – ou seja, para a mesma massa de metal produzido, mais rejeito é potencialmente gerado. Da mesma forma, isso tende a pressionar a intensidade de energia demandada na produção mineral. Há ainda a interrelação entre água e energia na medida que uma melhora na gestão da água pode aumentar o consumo energético.

- **ÁGUA**

Muitos dos impactos ambientais associados à produção de metais são nos recursos hídricos, especialmente nos estágios de lavra e processamento (Rankin, 2011). A interação entre as operações de mineração e os recursos locais de água são localmente muito específicas e dependem em grande parte do clima local, tipo de processamento e das estratégias de gestão de água das operações, além de fatores como geologia, topografia e hidrologia local (Northey et al, 2014).

A Figura 61 mostra os fluxos de água típicos de uma operação mineira. Normalmente o consumo de água pode ser categorizado em direto ou indireto – pelas atividades do processo produtivo ou geração de energia, respectivamente. Rankin (2011) ainda sustenta que o consumo de água é em grande parte função do teor de minério – com menores teores, mais minério precisa ser tratado para extrair a mesma quantidade de metal, portanto mais água será consumida. No contexto de simulação e abordagens baseadas em sistemas, Kunz & Moran (2016 apud Martins, 2020) sugerem o uso dessas técnicas para auxiliar na tomada de decisão e identificação de riscos na gestão do uso da água. Os autores destacam os riscos de ‘dryness’ – água insuficiente para atender os requisitos de produção – e ‘wetness’ – quando há presença de muita água no sistema levando a descargas em períodos de chuva intensa. Ou seja, quando o estoque de água excede a capacidade de carga do local, há risco de inundações (e riscos ambientais associados a descarga de água contaminada).

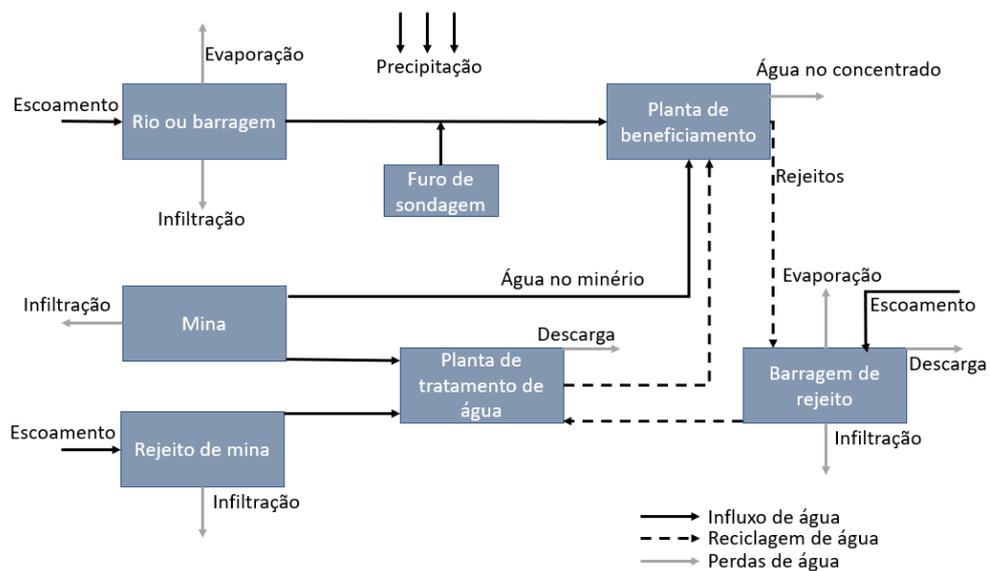


Figura 61 - Balanço de água simplificado na mineração (adaptado de Rankin, 2011).

- ENERGIA

As operações de mineração são grandes consumidoras de energia direta e indiretamente. Há diferentes estágios de consumo no processo produtivo de matérias primas minerais, por exemplo: combustível na lavra, energia elétrica na britagem e moagem e combustão na fundição. A Figura 62 mostra o fluxo de materiais e *inputs* e *outputs* de energia em etapas típicas na produção de metais. Formas de consumo direto de energia se

referem à usada na produção de uma substância mineral e, portanto, possuem um impacto direto nas operações. Já o uso indireto da energia se refere basicamente à geração de energia elétrica, especialmente àquelas baseadas em consumo de combustíveis fósseis e com sua ineficiência associada. Por exemplo, uma estação de energia a carvão converte cerca de 35% do calor produzido na queima de carvão em energia elétrica (Rankin, 2011). Ou seja, para cada kWh (quilowatt/hora) de energia elétrica consumida na produção de uma commodity, 1.86kWh de energia é perdido na termelétrica.

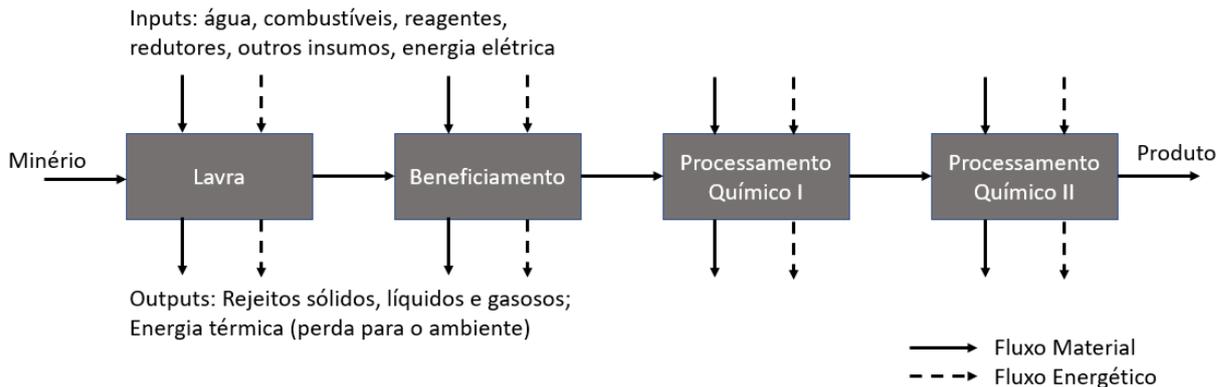


Figura 62 - Fluxos de materiais e energia (entradas e saídas) típicos em uma operação (Rankin, 2011).

- REJEITOS

A mineração produz uma grande quantidade e uma grande variedade de rejeitos. O conceito de rejeito, no entanto, é dinâmico: o que no passado era considerado um “rejeito” hoje pode ser “produto” e vice-versa. Os tipos de rejeito e sua composição podem variar substancialmente e dependem de sua origem mineralógica e de resíduos de reagentes adicionados ao longo da cadeia de processo do material. Os componentes de um sistema de gestão de rejeitos em uma operação são ilustrados na Figura 63.

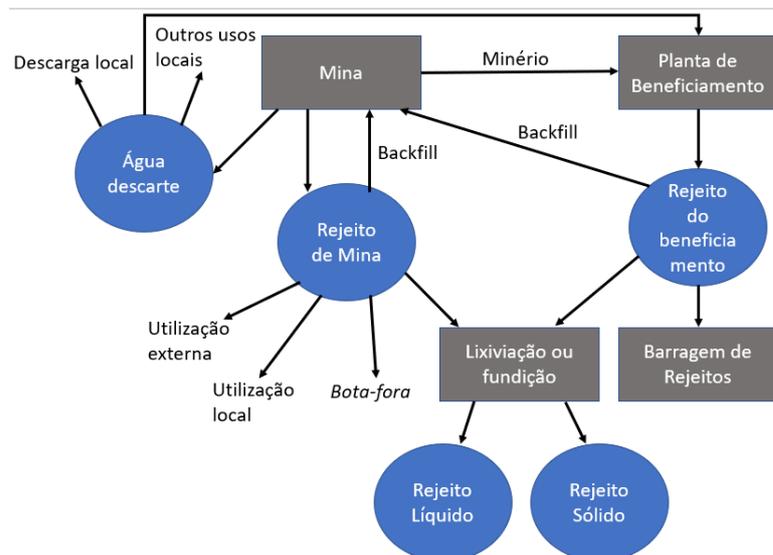


Figura 63 - Componentes de um sistema de gestão de rejeitos (adaptado de Rankin, 2011).

Naturalmente, a minimização de fluxos de rejeito é desejável em qualquer processo, uma vez que além de não possuir valor econômico a priori, pode representar riscos ambientais e sociais importantes. Estratégias típicas para minimizar ou eliminar rejeitos são (Rankin, 2011):

- Produção mais limpa: por exemplo, pela combinação de maior conservação de matérias primas, água e energia, eliminação de matérias primas tóxicas e redução da quantidade e toxicidade de emissões e rejeitos na sua origem durante o processo de produção;
- Uso de rejeito como matéria prima de outros processos;
- Redução de rejeito por reengenharia de processos: simplificação de fluxogramas, uso de novos equipamentos e novas condições de processamento e ecologia industrial.

5.3. Redução e Controle de Impactos Ambientais

5.3.1. Mineração Urbana – Processos de Reciclagem

A crescente demanda por recursos minerais contrasta com o atual cenário de diminuição na qualidade de reservas disponíveis e exigências técnicas e ambientais cada vez maiores no âmbito do processamento mineral. Em paralelo, quantidades cada vez maiores de resíduos urbanos e industriais são geradas à medida que se amplificam as atividades de setores como a construção civil e o uso de automóveis e dispositivos eletrônicos. Resíduos e

sucatas possuem quantidades significativas de insumos de valor, tais como metais não ferrosos e preciosos, de modo que se efetivamente processados podem ser convertidos em uma valiosa fonte de recursos. Por exemplo, supõe-se que 1 tonelada de iPhones contenha até 300 vezes mais ouro e 6,5 vezes mais prata do que em quantidade similar dos respectivos minérios (WIESZCZYCKA *et al.*, 2018). Não por acaso, estima-se que o mercado de reciclagem de metais, avaliado em U\$ 713 bilhões em 2017, possa alcançar cerca de U\$ 1 trilhão em 2026 (TMR, 2018).

Vale ressaltar que, apesar das vantagens apresentadas, a reciclagem por si só é insuficiente para cobrir a demanda de matérias-primas, uma vez que esta aumenta periodicamente e, por mais eficientes que sejam os processos de coleta e reciclagem, perdas são inevitáveis, de modo que a recuperação integral dos materiais é inviável. Contudo, uma reciclagem efetiva dos diferentes metais pode estender sobremaneira a vida útil das atuais reservas. A título de exemplo, se 50% do nióbio fosse reciclado, a vida útil de suas reservas poderia ser estendida em 72 anos; se a taxa de reciclagem fosse de 70%, o suprimento poderia ser estendido para até 360 anos (Wieszczycka, 2018; Sverdrup e Ragnarsdottir, 2014).

Resíduos sólidos tais como sucatas metálicas e eletrônicas possuem em sua composição substâncias perigosas tais como metais pesados, cloretos e poluentes orgânicos persistentes (bifenóis, dioxinas, retardantes de chama, entre outros), apresentando riscos à saúde de seres vivos. Assim, a reciclagem, além de agregar valor à cadeia extrativa, promove uma destinação final ambientalmente adequada desses resíduos. Ainda, fornece uma alternativa de desoneração de municípios de parte das despesas destinadas à preservação ambiental, prolongando a vida útil de aterros sanitários.

Neste contexto, o termo “mineração urbana” tem surgido como um conceito que vai além da reciclagem enquanto mera oportunidade comercial, mas sim como uma necessidade voltada à maximização do aproveitamento de recursos não renováveis por meio de tecnologias que minimizem os impactos ambientais (Figura 64).

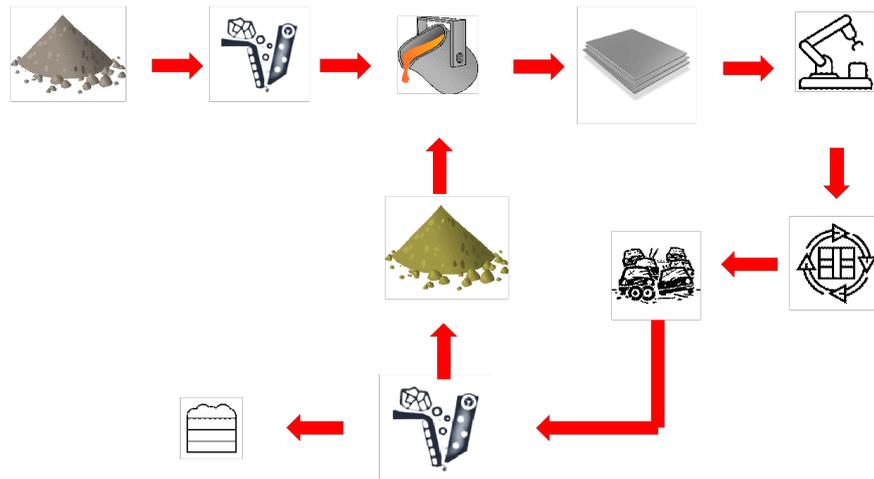


Figura 64 - Ciclo de transformação de matérias-primas.

Por incluírem em sua composição metais raros e preciosos, tais como ouro, cobre, e terras-raras, os resíduos de equipamentos eletroeletrônicos (REEEs) figuram entre os principais alvos da mineração urbana. Os REEEs se destacam como a corrente de reaproveitamento de resíduos com a mais alta taxa de crescimento (até 5% ao ano). Todavia, dos cerca de 50 milhões de toneladas gerados anualmente, estima-se que apenas 13% sejam efetivamente reciclados (Wieszczycka, 2018; Cucchiella *et al.*, 2015).

A reciclagem de REEE envolve estágios iniciais de separação física (fragmentação, classificação, separação gravimétrica, magnética, etc.) cujo foco principal é separar a fração metálica da não-metálica. Dentre estes processos, os processos de separação gravimétrica se destacam como os mais econômicos e tecnicamente versáteis, uma vez que resíduos eletrônicos apresentam grandes diferenças de densidades entre seus componentes. O uso adequado destas técnicas permite a obtenção de até 4 correntes de produtos principais a partir do resíduo bruto, constituindo um suprimento secundário para diferentes segmentos industriais:

1. metais ferrosos (ferro e aço);
2. metais não ferrosos, os quais podem ser encaminhados a usinas metalúrgicas para extração de metais individuais;
3. materiais cerâmicos, os quais, dentre outras aplicações, podem ser utilizados como substitutos minerais na indústria cimenteira; e

4. materiais orgânicos (plásticos, borrachas, etc.), os quais podem ser convertidos em combustíveis por meio de processos como pirólise e gaseificação.

Os insumos mencionados podem também ser obtidos a partir de outras categorias de resíduos. O processamento de sucatas automotivas, por exemplo, é um dos grandes desafios do setor siderúrgico, uma vez que seu potencial de reaproveitamento junto ao grande volume gerado faz da sua reciclagem não apenas uma necessidade ambiental, mas uma opção economicamente atraente.

A aplicação de tecnologias modernas de sensoriamento em tempo real e classificação automática, inicialmente desenvolvidas no contexto do processamento mineral, tem grande potencial inovador nesse sentido. Por exemplo, o uso de sensores que permitam detectar a interação de peças individuais de sucatas durante a passagem por um feixe de raios-X, acoplado a um sistema de aquisição e processamento de dados que gere modelos digitais para diferenciar as peças (Figura 65), tem sido objeto de pesquisas recentes por serem a base de sistemas de classificação automática de materiais (*sensor-based sorting* - SBS). As tecnologias de SBS oferecem uma série de vantagens no processamento de minério e outros tipos de materiais, apresentando potencial para reduzir de forma significativa o consumo de energia e o impacto ambiental causado pela mineração.

A tecnologia de SBS está baseada na análise e classificação das partículas sem ter contato direto com o material, os sensores capturam essas propriedades individualmente de cada partícula para comparar e posteriormente ejetá-las. A classificação física ocorre quando o sinal tratado é enviado ao sistema de ejeção, atendendo à informação das leituras, que pode ejetar as partículas detectadas por bicos sopradores a ar comprimido ou sistema mecânico de ejeção (flap).

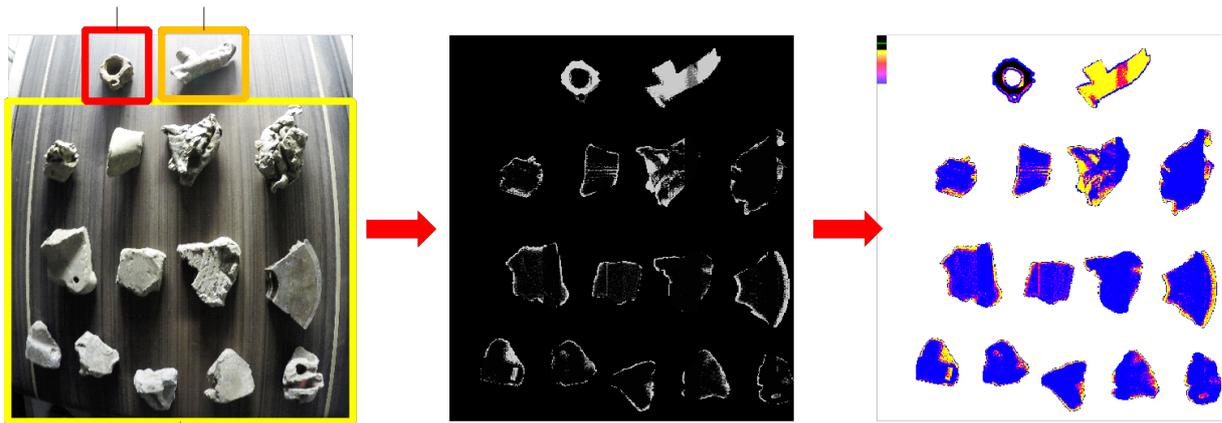


Figura 65 - Caracterização em tempo real de sucatas não ferrosas por meio do acoplamento de dados de detecção (sensor de raios-X) e modelo digital de imagens.

O setor de construção civil é responsável por ser grande consumidor de recursos naturais e uma importante fonte geradora de resíduos. Embora a reciclagem de resíduos de construção e demolição (RCD) possua um mercado desenvolvido em alguns países europeus, encontra-se ainda em estágio embrionário em países como o Brasil. Não obstante, mesmo em cenários de reciclagem estabelecida, a reintrodução no mercado geralmente se dá em aplicações com níveis tecnológicos inferiores ao original. Exemplificando: o agregado que originalmente foi usado em concreto estrutural é usualmente reutilizado na construção de bases e sub-bases de estradas. Deste modo, inovações no âmbito da reciclagem de RCDs tem buscado adaptar métodos típicos de processamento de minérios a fim de agregar valor aos materiais reciclados. Um desafio nesse sentido é o fato de que o produto reciclado possui um valor de mercado relativamente baixo quando comparado ao de outros resíduos (como resíduos eletrônicos por exemplo). Assim, as técnicas de processamento aplicadas devem ser acessíveis, de fácil implementação e, preferencialmente, exigirem um consumo mínimo (ou nulo) de água.

Processos de separação densimétrica e de classificação automática por sensores têm sido promissores nesse sentido. Equipamentos como jiques e mesas pneumáticas tem se mostrado capazes de separar a fração orgânica de RCDs (papel, plásticos, folhas, etc.) e classificar a fração mineral em diferentes produtos (concreto, gesso e cerâmicos) (Ambros *et al.*, 2017). O desenvolvimento de circuitos de beneficiamento que incluam o uso de equipamentos hidráulicos nos estágios finais permite a obtenção de uma variedade de produtos, além de agregados de alta qualidade, os quais podem ser reutilizados em conjunto com agregados naturais na produção de concretos (Figura 66).

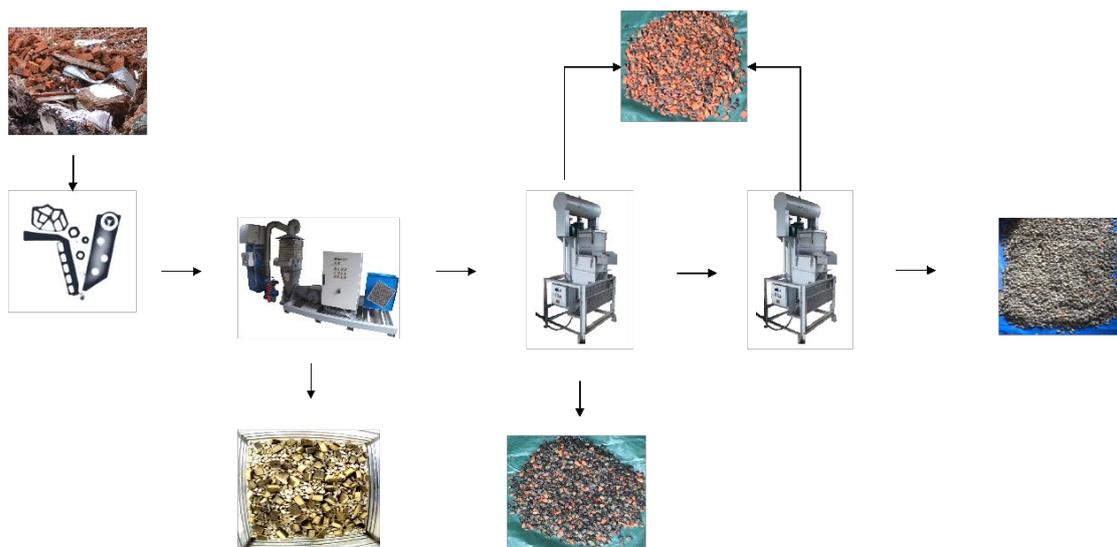


Figura 66 - Circuito de processamento de resíduos de construção e demolição com geração de diferentes produtos.

Resíduos gerados em outros setores têm sido identificados como potenciais fontes de suprimento estratégico de matérias-primas. Catalisadores automotivos e industriais são ricos em metais do grupo da platina (platina, paládio, ródio e rutênio) e metais como níquel e vanádio (Saternus e Fornalczyk, 2009). Pneus velhos e borrachas podem ser utilizados como combustíveis em processos de pirólise e as cinzas restantes como substituto de solos (Bowman *et al.*, 1994). Os próprios resíduos gerados na indústria extrativa são potenciais fontes de valiosos recursos. Rejeitos do beneficiamento e escórias de fornos, especialmente de metais não ferrosos, podem conter quantidades significativas de elementos como cobalto, cobre e zinco, os quais são críticos no desenvolvimento das novas tecnologias de automação e geração de energia. Neste sentido, o desenvolvimento de processos inovadores para recuperação de matérias-primas a partir de diferentes resíduos não é apenas uma ideia ecológica, mas uma necessidade frente à futura demanda de recursos relacionados ao desenvolvimento tecnológico.

5.3.2. Técnicas de disposição de rejeito por empilhamento a seco

A deposição de rejeito e estéril em uma mesma pilha e misturados é possível, dependendo da natureza do rejeito. Na mineração, em alguns casos, o rejeito não pode ser misturado com o estéril devido ao grau de toxicidade e presença de metais, sendo necessária a deposição em separado e em muitos casos em barragens especialmente construídas para essa finalidade. No entanto, nos últimos anos houve alguns acidentes em barragens que alertaram a sociedade para essas estruturas e seu potencial risco de ruptura, conduzindo órgãos governamentais a revisarem a

legislação sobre barragens de rejeito para aumento da segurança, o que motivou o estudo de novas formas de deposição de rejeito e estéril.

A pilha única, na qual se mantém a concepção de uma bacia de deposição do rejeito por meio da construção de um dique de contenção e o restante do estéril sendo depositado à frente desse dique. Essa bacia é impermeabilizada em sua base e taludes para não haver vazamento da água contaminada. O nome “pilha única” não significa que haverá mistura de rejeito e estéril, apenas o estéril será utilizado para montar uma contenção à frente do rejeito. A Figura 67 mostra a geometria global da pilha única com o rejeito no centro da pilha, esta configuração representa a máxima área a ser utilizada no projeto caso estes recursos sejam viabilizados no futuro.

O projeto de análise de estabilidade da pilha de estéril e rejeito segue as seguintes etapas:

1. Caracterização dos materiais em termos de resistência e comportamento mecânico;
2. Quantidade de material (estéril e rejeito) que será gerado durante a vida útil da mina;
3. Seleção do local de deposição de forma a comportar a quantidade de rejeito e estéril e tendo como condição de contorno principal a hidrologia e hidrogeologia do local de deposição;
4. Estudo pluviométrico para definição e projeto de drenagem da pilha de estéril e da bacia de rejeito;
5. Definição da geometria do dique, bacia e pilha final de estéril;
6. Análise de estabilidade por meio de métodos de equilíbrio limite e/ou numéricos.

5.3.2.1. GEOMETRIA DA PILHA ÚNICA E ANÁLISE DE ESTABILIDADE – ESTUDO DE CASO

Como exemplo, para o projeto em Caçapava do Sul, o rejeito será depositado com umidade prevista em torno de 8-12%. Como o clima da região do projeto é chuvoso em certos períodos, a deposição do rejeito será contida pelo dique formado por estéril das cavas. A deposição será feita em uma bacia interna da área da pilha única que é identificada na Figura 67. O dique de contenção com geometria em formato geral de um ‘C’ irá contornar o depósito de rejeito com o objetivo de não permitir a ruptura do rejeito devido ao excesso de chuvas e eliminar o risco de liquefação deste rejeito.

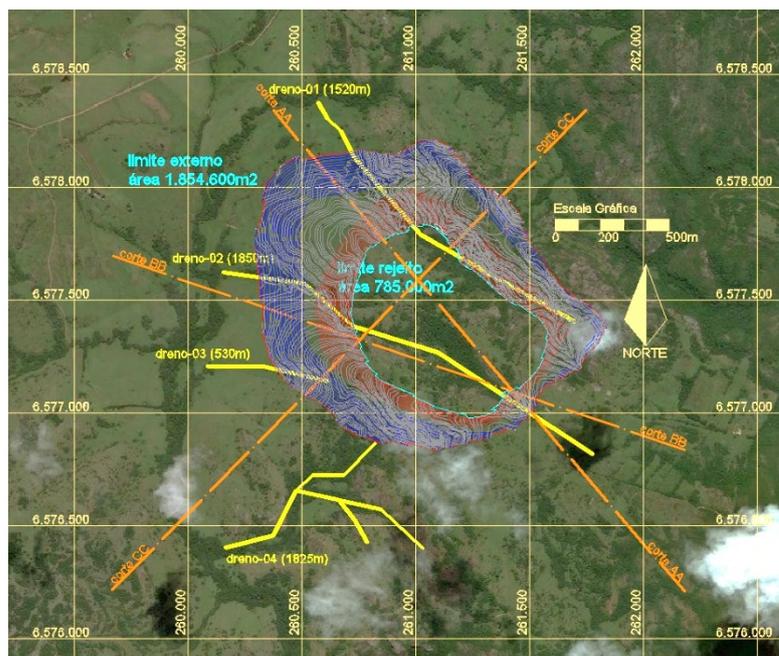


Figura 67 - Geometria geral da pilha única de estéril e rejeito.

5.3.2.2. COMPORTAMENTO DO REJEITO

Os principais resultados mostraram que o rejeito inundado tem um comportamento bem representativo de materiais com uma considerável compressibilidade e grande rigidez na descarga. O comportamento saturado também mostrou uma boa semelhança de comportamento entre diferentes corpos de prova. Adicionalmente, ele tem um comportamento bastante característico quando inicialmente não-saturado, já que apresenta uma acentuada rigidez que é muitas vezes maior do que os ensaios anteriores (inundados desde o início). Porém, uma vez inundados, apresentam uma deformação imediata e importante que caracteriza um colapso estrutural por perda de sucção. O limite de liquidez mostra forte potencial de liquidez. Isto significa que o rejeito não pode ser depositado em pilha. Essa foi a motivação da proposição da construção de uma bacia de rejeito utilizando o estéril vindo direto da mina.

5.3.2.3. COMPORTAMENTO DO ESTÉRIL

O estéril foi britado e amostrado de forma a representar o estéril real em termos de granulometria. Então, foi feita uma simulação da distribuição granulométrica em redução de escala. Depois de definida a curva homotética, a amostra foi novamente misturada e quarteada para realizar o ensaio de cisalhamento.

5.3.2.4. CHUVAS DA REGIÃO

Tendo em vista a importância das chuvas na operacionalização das pilhas de rejeito e sendo que a proposta é depositá-las e mantê-las com baixo teor de umidade, é necessário estudar as

condições de chuva do local. Resultados obtidos a partir do histórico de chuvas diárias dos últimos 30 anos registrados pela estação meteorológica são mostrados na Figura 68.

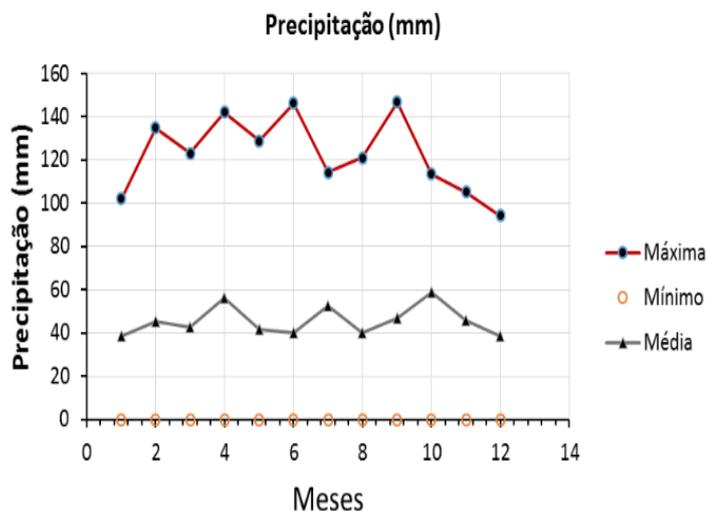


Figura 68 - Valores de chuvas máximas diárias – médias mensais ao longo de 30 anos (1986-2016) – Caçapava do Sul (Fonte: base em DAMÉ et al., 2014).

A construção da pilha única foi concebida pelo processo de montagens de diques a jusante da bacia de rejeito. Esse processo de construção de diques à frente do dique principal da bacia de deposição de rejeito garante a estabilidade da bacia e da pilha de estéril final.

Como está se considerando uma pilha única de estéril e rejeito, o restante do estéril não utilizado na execução do dique será depositado à frente do contorno do dique de contenção. Essa etapa será realizada após a construção completa do dique de contenção do rejeito. Quanto à sua geometria o dique terá seção transversal típica, que varia conforme cada corte ao longo de seu eixo principal, Figura 69, contemplando alguns critérios construtivos, a saber:

- Todas as etapas de alteamento deverão contar com crista com largura de 5 m para circulação de veículos e equipes de trabalho;
- A inclinação dos taludes dos alteamentos será de 37°, tanto de montante, quanto de jusante;
- O ângulo global do dique para o talude de jusante será de 31° e para o talude de montante o ângulo global será de 35°;
- As bancadas para o talude da pilha única final terão 10m de altura e largura e bermas de 5m. Esse talude será formado por material estéril vindo diretamente da mina e com granulometria em função do desmonte de rochas.

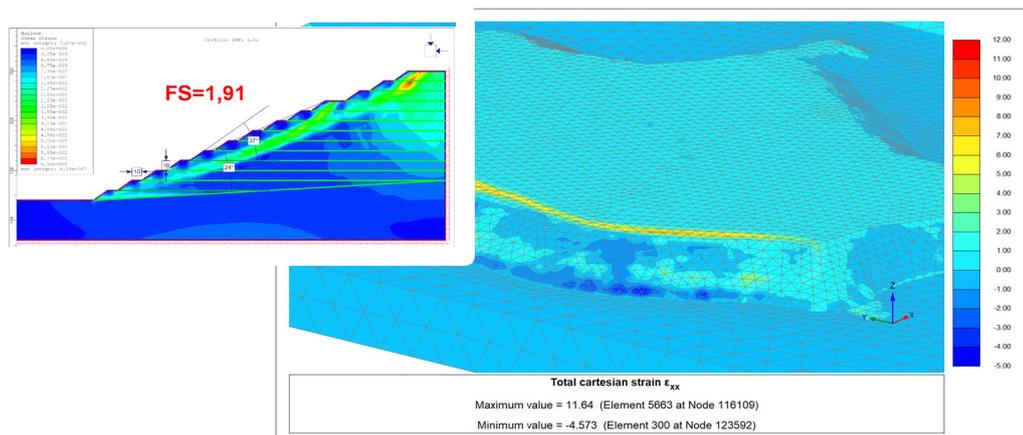


Figura 70 - Deformação cisalhante total na direção do talude de maior altura, vista em 3D e resultados de estabilidade para o método de elementos finitos.

5.3.2.6. COMENTÁRIOS FINAIS

Esse novo processo de deposição de rejeito e estéril evita a construção de estruturas de contenção tipo barragem que apresentam certo risco de instabilidade além de evitar a contaminação do nível freático devido a impermeabilização total da bacia. A deposição a seco do rejeito e bombeamento da água evita o acúmulo de água na bacia e essa será reaproveitada na planta beneficiamento, o que evita a captação da mesma em outras fontes.

Após esta fase de projeto conceitual, diversos parâmetros devem ser testados para a definição do projeto executivo, métodos de deposição e energia de compactação do rejeito, estabilização do rejeito por mistura com o material estéril (em que porcentagens, com que equipamento e umidade); se mantidas as premissas atuais, é preciso aumentar o conhecimento do comportamento do rejeito em diferentes condições de saturação e carregamento (necessidade de compactação do rejeito) ou estudos de estabilização química. Outros parâmetros que devem ser quantificados e detalhados para o processo executivo como a limpeza do terreno, construção dos drenos de fundo e da base da pilha. Para essas operações testes de energia de compactação e sequência de enchimento serão executadas na próxima fase do projeto.

Além disto, uma vez o rejeito depositado, as chuvas irão percolar pelo material, tendo que ser coletadas nas camadas drenantes inferiores. E o excesso de chuva (escoamento superficial) terá que ser acumulado e transportado para os tanques de recirculação. Quando as pilhas forem encerradas, a drenagem inferior retira toda a água livre do rejeito; e uma camada superior de impermeabilização (membrana mais solo vegetal) dará um aspecto final paisagístico e de estabilização às pilhas. A impermeabilização da pilha será executada por meio de geomembranas e solo compactado com revegetação.

5.3.3. Desenvolvimento de tecnossolos a partir de rejeitos de mineração

A recuperação de áreas de mineração envolve a reconformação topográfica e a implantação de cobertura vegetal. Para isso, torna-se fundamental a adição de uma camada de solo funcional capaz de manter a vegetação de forma efetiva, permanente e livre da necessidade de futuras intervenções. O material costuma vir de lugares denominados “áreas de empréstimo” ou “jazidas de empréstimo”, degradando outro ambiente.

A exploração de material de jazidas de empréstimo implica em licenciamento ambiental e em custos econômicos relacionados à aquisição de terrenos, extração, transporte e disposição de material e a recuperação ambiental da mesma. A necessidade de solos de áreas de empréstimos é muitas vezes um impedimento na recuperação de áreas degradadas pela mineração, de modo que é pertinente buscar materiais substitutos para minimizar sua utilização.

A linha de pesquisa propõe a transformação de rejeitos da mineração em um substrato (tecnossolo) capaz de sustentar vegetação. Tecnossolos compreendem solos com influência antrópica cujas propriedades e gênese tem origem em materiais não naturais (tais como resíduos domésticos, lodos, resíduos da construção civil, industriais e da mineração) (WRB, 2006). Essa prática é inovadora, uma vez que sua concepção se dá pelo aproveitamento de resíduos, em um conceito de reciclagem que poderá chegar a 100%, em oposição às práticas correntes que se limitam em isolar o rejeito sob uma camada de solo (Sheoran *et al.*, 2010; Bolan *et al.*, 2017).

Especificamente no caso do carvão mineral, o rejeito é uma rocha sedimentar, composto predominantemente por argilitos, siltitos e arenitos contendo teores variados de matéria carbonosa. Contudo, o material está associado a níveis variados de enxofre, apresentando-se nas formas de sulfetos (predominantemente pirita - FeS_2), sulfato (S-SO_4^{2-}) ou parte integrante de moléculas orgânicas (S-orgânico). Em muitas jazidas, dependendo da proporção entre minerais geradores de acidez e minerais alcalinizantes, o processo de oxidação da pirita é responsável pela geração de drenagem ácida de minas (DAM) (Akcil e Koldas, 2006).

Neste contexto, é de extrema relevância que se proceda à implantação de solo e cobertura vegetal em áreas de mineração de carvão, minimizando a exposição dos rejeitos à água e ao oxigênio e mantendo-se o balanço ácido-base próximo da neutralidade. Tecnossolos são muitas vezes denominados de “solos fabricados” e “antropossolos”, termos que denotam a manufatura antropogênica. Para a transformação do rejeito de mineração em um tecnossolo

são necessários alguns processos de preparação e condicionamento do material. Os solos devem apresentar fina granulometria, pH próximo à neutralidade, nutrientes, matéria orgânica e estrutura física para permitir o crescimento vegetal e restabelecer o equilíbrio ecológico no ambiente (Sheoran *et al.*, 2010; Bolan *et al.*, 2017; Weiler *et al.*, 2019). A Figura 71 apresenta de forma esquemática a metodologia de produção dos tecnossolos a partir de rejeito de carvão e os materiais utilizados como condicionadores. Basicamente, o processo poderá envolver todas ou algumas das seguintes etapas: seleção de um substrato principal, beneficiamento, adequação granulométrica e mistura com aditivos de forma balanceada.

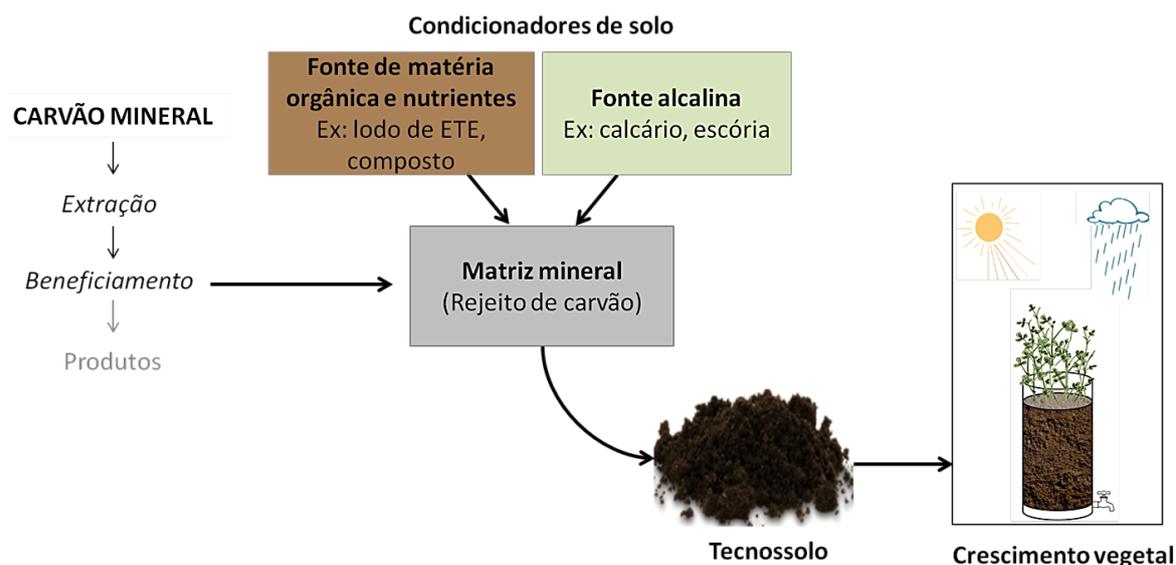


Figura 71 - Esquema de materiais utilizados na elaboração de um tecnossolo, seguido de crescimento vegetal.

Dessa forma, pensando na necessidade de fornecer nutrientes e matéria orgânica, bem como englobar outros resíduos que necessitam de disposição final adequada, propõe-se o condicionamento de rejeitos com lodo biológico proveniente de estações de tratamento de esgotos ou composto orgânico produzido a partir de resíduos sólidos urbanos. Os tecnossolos precisam também apresentar um pH adequado para o crescimento vegetal. Para tal, pode-se utilizar calcário ou materiais alcalinos alternativos, como escórias da produção de aço, dentre outros.

Deve-se ressaltar que todos os materiais enquadrados como resíduos sólidos devem ser gerenciados prevendo a redução no volume gerado seguido de reutilização, reciclagem ou uma disposição ambientalmente adequada conforme a Lei n.º 12.305 – Política Nacional de Resíduos Sólidos (Brasil, 2010) e diretrizes estabelecidas em resoluções do CONAMA (BRASIL, 2006, 2009). Na área de saneamento, especial atenção deve ser dada a lodos de estações de tratamento de esgoto e composto de resíduos sólidos urbanos, dado que a produção é

crecente em função da necessidade de ampliação dos sistemas de saneamento básico no Brasil e pela necessidade de minimização da massa de resíduos descartada em aterros (Von Sperling e Fernandes, 2014; Jordão e Pessoa, 2011).

A fabricação de tecnossolos a partir de rejeitos de carvão mineral, lodos de estação de tratamento de esgoto ou composto de resíduos sólidos urbanos e escória de aciaria mostrou êxito para o crescimento de várias espécies vegetais, como capim-mombaça (Weiler *et al*, 2018) alfafa (Weiler *et al*, 2020), aveia preta e milho (Firpo *et al.*, 2021). Possibilitou a reutilização e reciclagem de materiais, alavancando a valorização de resíduos relacionados ao saneamento básico e outras atividades industriais. A recuperação de áreas degradadas com tecnossolos é uma possibilidade em substituição à atual sistemática de recobrimento dos rejeitos com solo oriundo de jazidas de empréstimo, reduzindo o impacto ambiental como um todo.

5.3.4. Mineração responsável – Processos de Descomissionamento e fechamento de mina

5.3.4.1. INTRODUÇÃO

A mineração é fundamental para suportar o modo de vida da sociedade. O crescimento socioeconômico implica em maior consumo de bens minerais e há uma relação direta entre desenvolvimento, qualidade de vida e consumo de bens minerais. Entretanto, a mineração é classificada como de alto impacto no meio ambiente: pode criar riqueza, mas também gerar grandes problemas no seu entorno.

Entre os seus aspectos mais controversos estão o potencial de acidentes, como os registrados ao longo da história, impactos sociais e as alterações na qualidade de água e no ar na sua região de influência. A atividade depende de uma jazida com reservas finitas que vai operar por um tempo limitado. Seus efeitos, entretanto, normalmente persistem no tempo, depois de finalizadas as atividades de mineração. O resultado na situação social e ambiental após a finalização da atividade de mineração é uma questão que vem sendo discutida com maior intensidade nos últimos 10 anos.

No presente, poucas minas foram fechadas de acordo com algum plano preconcebido. As ações de fechamento ainda são confundidas apenas com atos para reabilitar áreas perturbadas. A experiência ainda é raramente compartilhada com profissionais do setor e o conhecimento adquirido, ainda carece de uma abordagem sistemática. Lembramos que os

textos de mineração publicados há vinte anos raramente mencionavam o fechamento ou o “descomissionamento” como estágios ou marcos na vida útil de uma mina.

Quando a desativação ocorre por exaustão da jazida fica mais fácil antever o final, mas é muito comum ocorrer o fechamento por questões de mercado e econômicas, sem planejamento ou comunicação prévia, o que dificulta a atuação dos órgãos governamentais de controle.

A tendência mundial é que as Instituições de governo que regulam a mineração imponham requisitos crescentes às empresas para iniciar um novo projeto de mineração, condicionado à existência de um plano que minimize os impactos quando ocorrer a paralização. Os países onde a mineração é mais desenvolvida, tendem a aprovar leis que condicionam os novos licenciamentos à existência de seguro dos passivos gerados. No Chile, país sul-americano, desde 2012, existe legislação para as grandes minas manterem seguros para garantir a regularização ou indenizar os passivos ao final da operação.

O objetivo é evitar que, quando uma mina for paralisada por exaustão da jazida, por razões legais ou razões econômicas, ocorram empregados sem pagamento de rescisão, dívidas com fornecedores, passivos ambientais e processos judiciais que se arrastam por longos anos. Existe casos de empresas mineradoras (pessoas jurídicas), que antes de encerrar a lavra, repassam as obrigações a terceiros, sem capacidade financeira ou recorrerem a outros artifícios que dificultem a responsabilização e a indenização dos passivos deixados, sendo o ônus dividido com a sociedade como um todo.

Existem muitos exemplos dessa situação no Brasil. Um exemplo recente é o caso da “Mina do Verdinho” na Região de Criciúma, em Santa Catarina, uma mina de grande porte, que operava há mais de trinta anos, que cessou as atividades em 2015. A situação causou forte comoção: os seus controladores simplesmente abandonaram a área, deixando grandes passivos ambientais e sociais.

5.3.4.2. LEGISLAÇÃO NO BRASIL – PLANO DE FECHAMENTO DE MINA

O código de mineração no Brasil é centenário e a legislação tem sido aprimorada, demonstrando a preocupação crescente com o abandono de áreas degradadas pela mineração. O DNPM e a sua sucedânea Agência Nacional de Mineração (ANM) desde 2001 têm emitido normativas para modernizar a legislação sobre o assunto (Portaria DNPM n.º 237 de 18 de outubro de 2001).

A resolução da ANM n.º 68, de 20 de abril de 2021, é a mais recente, onde foi instituído o Plano de Fechamento de Mina (PFM). O plano é constituído por um conjunto de procedimentos para o descomissionamento da área da mina após a atividade de mineração,

envolvendo a desmobilização das estruturas provisórias de suporte às operações de lavra e beneficiamento, a estabilização física e química das estruturas permanentes e seus monitoramentos, bem como a habilitação da área para um novo aproveitamento mineral ou outro uso futuro. A implementação do plano depois de aprovado deve iniciar, o mais cedo possível, com a mina ainda em atividade.

O PFM deve incluir entre outros documentos:

- Um projeto conceitual de descomissionamento citando as ações de reabilitação da área já executadas e as principais ações de monitoramento e manutenção, com um cronograma físico-financeiro das ações de pré-fechamento, fechamento e pós-fechamento. Descrição das ações de fechamento das áreas eventualmente já encerradas ao longo da operação (fechamento progressivo).
- Deve incluir ainda a avaliação dos riscos decorrentes do fechamento do empreendimento, formas de mitigação dos eventuais danos e diretrizes para adequação da área ao uso previsto no futuro.
- O PFM para empreendimentos com barragens de mineração deve conter também plano de descaracterização destas barragens ou outra solução técnica. Caso não seja possível a descaracterização da barragem, o PFM obriga o seu monitoramento, conforme a legislação aplicável.
- No caso de encerramento antes da exaustão da reserva: Deve haver uma justificativa técnico-econômica com uma declaração dos recursos e reservas minerais remanescentes.
- O PFM deverá ser atualizado a cada 5 (cinco) anos ou nas atualizações do Plano de Aproveitamento Econômico (PAE). Além disso, no caso de decisão de fechamento antecipado, antes da exaustão da reserva, a comunicação deve ser com antecedência mínima de 2 (dois) anos. A resolução da ANM determina que a última atualização do PFM deverá ser comunicada à ANM com antecedência mínima de 2 (dois) anos da data prevista para o fechamento da mina.

5.3.4.3. ETAPAS DO FECHAMENTO DE MINA

As etapas do fechamento de mina compreendem:

- Descomissionamento, que corresponde às operações necessárias para garantir a desativação da mina, visando devolver o local para outros usos pela comunidade.
- Fechamento e reabilitação da área, onde os impactos causados sobre o meio ambiente são reparados.
- Estabilização das estruturas construídas durante a vida útil da mina que não são passíveis de serem retiradas como: cavas de minas a céu aberto, galerias de minas subterrâneas,

barragens, depósitos de rejeitos e estéreis que não poderão apresentar situações de riscos para a área descomissionada.

- Retirada das estruturas de apoio, como: infraestruturas civis, usinas de tratamento de minério, pátios de resíduos, sistemas de distribuição de água e energia, entre outros, que devem ser desmobilizados.

O fechamento da mina encerra as atividades de desativação e reabilitação das áreas impactadas, marcando o início da fase de monitoramento e manutenção das medidas implantadas.

- Monitoramento e manutenção, representado pelo acompanhamento dos efeitos posteriores sobre o meio ambiente, após o encerramento das atividades de mineração e reabilitação da área. Em outras palavras, o acompanhamento dos efeitos sobre o meio ambiente que venham a ocorrer, após o encerramento das atividades de mineração e reabilitação da área.

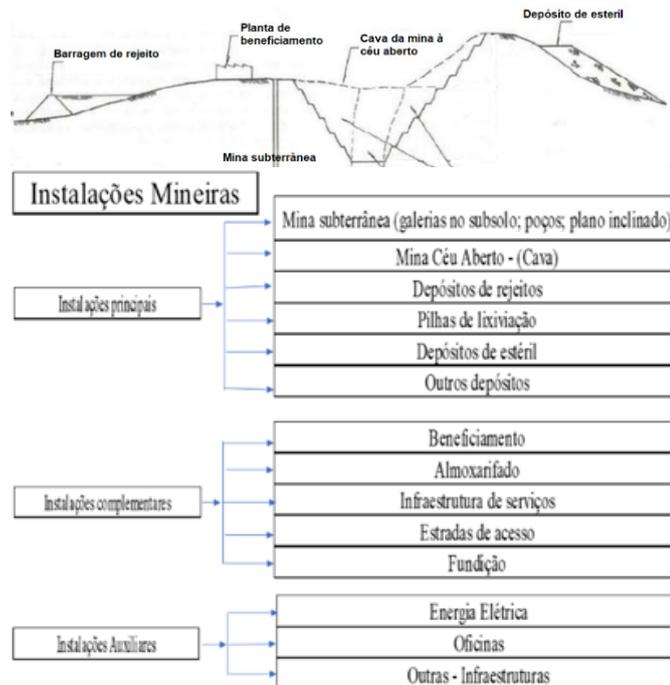
- Pós-Fechamento, corresponde a parte final do processo, com a liberação da área para outras finalidades.

O empreendedor deverá apresentar à ANM um relatório final, comprovando que os trabalhos de fechamento foram concluídos de forma adequada e em conformidade com o PFM apresentado. Somente após aprovação do relatório final de execução do PFM, a renúncia ao título minerário poderá ser homologada.

Deve ser ressaltado ainda que a aprovação do relatório final de execução do PFM pela ANM, não implica na liberação das obrigações previstas em outras legislações vigentes.

5.3.4.4. PROCESSO DE IDENTIFICAÇÃO DOS RISCOS APRESENTADOS POR CADA INSTALAÇÃO

Cada instalação é diferente e a avaliação de risco é única e particular para cada situação. O objetivo deve ser garantir a devida proteção à vida, à saúde, à segurança das pessoas e ao meio ambiente. Além disso, deve ser considerada uma visão de longo prazo, pois algumas instalações ou estruturas vão permanecer perpetuamente no local. A Figura 72 mostra as instalações normalmente encontradas nas áreas de mineração cujos riscos devem



ser analisados.

Figura 72 – Construções e instalações mineiras típicas.

O processo deve iniciar definindo quais as estruturas presentes no site e depois identificar os riscos em cada uma. Para esse processo existem diversas metodologias (qualitativas, quantitativas e semiquantitativas e ou combinação dessas). A mais comumente utilizada é a semiquantitativa, com o emprego de uma matriz de risco. Os critérios usados na matriz de risco devem ser padronizados, propostos e aceitos pela mineradora e a instituição reguladora (ANM, órgão ambiental).

A matriz permite classificar a gravidade dos riscos considerando como critério - A probabilidade de acontecer e a severidade das consequências. A classificação permite planejar e implementar as ações de mitigação necessárias.

5.3.4.5. ESTABILIDADE BIOLÓGICA, FÍSICA E QUÍMICA DA ÁREA DE MINERAÇÃO

A área remanescente da mineração deve ter a sua estabilidade química, biológica e física assegurada. A estabilização do meio biológico se refere ao processo de reocupação da fauna e da flora em áreas que foram degradadas, com retorno a uma condição autossustentável. Já a estabilidade física se refere basicamente a conter os processos erosivos e aos riscos de movimentos de massa por efeitos das atividades de mineração, que podem deixar as superfícies instáveis podendo ocasionar erosão, escorregamentos em taludes nas minas a céu aberto. Nas minas subterrâneas diz respeito basicamente a controlar os desabamentos e subsidência por ruptura de pilares.

Outra ação importante é impedir as emissões fugitivas compreendidas por poeira e outros contaminantes no ar e nas águas provenientes das cavas de mineração e dos depósitos dos rejeitos. As emissões podem contaminar áreas vizinhas e a drenagem da região a jusante, que pode se estender por distâncias muito superiores aos limites da área minerada.

Na mineração um grande fator que contribui para a instabilidade química é a drenagem ácida. Para que ocorra, é necessário que haja minérios, estéril ou rejeitos sulfetados, que em contato com oxigênio e água se oxidam gerando ácido sulfúrico e, conseqüentemente, lixiviação dos metais contidos na rocha.

5.3.4.6. GEOQUÍMICA DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

Água subterrânea é usualmente conhecida como a água que ocorre no ambiente geológico situado abaixo da superfície do terreno. A composição dessas águas pode ser variável, algumas são alcalinas, outras ácidas, podem ser ricas em alumínio, ferro ou outros metais ou mesmo serem limpas, com poucos metais e pH neutro. Portanto, cada água subterrânea ou de mina tem uma assinatura geoquímica particular, derivada da interação de vários processos ao longo do caminho de fluxo dessas águas.

Ocorrendo a interação da água com a rocha que ela percola, se estabelecem processos geoquímicos que tendem a resultar em consumo de O_2 e CO_2 dissolvido, elevação do pH e produção de alcalinidade e liberação de cátions base. Também, podem ocorrer misturas de água de diversos aquíferos, como mistura com formações de águas salinas ou superficiais salinas, ou de aquífero profundo com o aquífero superficial.

As principais reações envolvendo água e fases minerais em subsolo são: dissolução, troca de íons, reações ácido-base e redox. As reações ácido-base são muito importantes, pois afetam os minerais mais comuns formadores de rocha como feldspatos e carbonatos. Essas reações tendem a consumir CO_2 e elevar o pH, liberar alcalinidade de bicarbonatos e cátions

Minas de carvão inundadas, com restrito acesso de oxigênio e fluxo de água lento são frequentemente caracterizadas por águas de mina mais neutras.

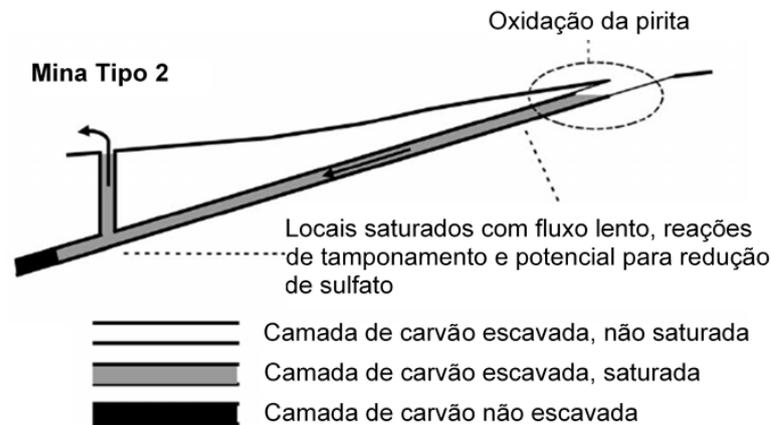


Figura 74 - Águas de mina com características mais neutras surgem à jusante quando as condições de saturação e fluxo lento de água são atendidas (Fonte: Projeto - Estudo para avaliação de Plano de Fechamento de Minas (Caso Mina Verdinho)).

5.3.4.7. RECOMENDAÇÕES PARA O FECHAMENTO DE MINAS

○ **Mina subterrânea**

No caso de uma lavra subterrânea a situação usual é deixar a mina inundar. Após o período de recuperação do nível de água do aquífero profundo deve ocorrer um equilíbrio das águas de subsolo com melhoria de sua qualidade. Dessa forma, é recomendável as seguintes medidas:

- Deixar a mina inundar.
- Instalação de piezômetros para monitoramento das águas dos aquíferos profundos e superficiais. Manter monitoramento.
- Retirada dos cabos de energia que alimentavam a mina em subsolo e selagem desses furos.
- Selagem dos furos de sondagem que ainda não foram fechados e possíveis de localização.
- Construção de barreira de concreto dos poços e planos inclinados de acesso ao subsolo visando interromper a entrada de ar e evitar acidentes por acesso indevido de pessoas ou animais.
- No caso eventual de surgências, essa deve ser monitorada. Se a condição apresentar risco de contaminar outras águas superficiais deve ser tratada.

○ **Minas à Céu Aberto**

- Cavas das Minas

As cavas das minas em operação estão expostas ao risco de estabilidade geotécnica ao longo da vida da mina. Esses riscos são considerados parte das condições normais de operação e são

gerenciados pelas equipes de mineração conforme previsto ou observado. Após a conclusão da mineração, os riscos de estabilidade continuam a existir, pois as encostas das cavas podem se deteriorar e exibir mecanismos de falha progressiva. No longo prazo, esses mecanismos de falha progressiva podem impactar a infraestrutura da mina existente ou planejada.

Todas as minas a céu aberto devem ter um estudo de estabilidade para ser considerada ambientalmente aceitável e a sua estabilidade química e física deve ser demonstrada no curto e longo prazo. O terreno deve ser terraplanado e moldado para se misturar com a topografia circundante e revegetado. A menos que as áreas sejam abaixo do lençol freático.

Diversas técnicas podem ser usadas para uso futuro da cava da mina remanescente, podendo ser citados: depósitos de material estéril, de resíduos sólidos urbanos e criação de lagos artificiais, para fins recreativos, projetos de irrigação e suprimentos de água para populações rurais e urbanas. No entanto, o uso futuro deve ser planejado, já que vários aspectos devem ser considerados: as características geológicas e geotécnicas do local, o clima, custos e principalmente, as necessidades das populações.

No Rio Grande do Sul existem bons exemplos de aproveitamentos das cavas de mineração e minas subterrâneas desativadas. Um exemplo é a cidade de Butiá, cujo abastecimento de água nas épocas de estiagem é garantido por uma antiga cava de mineração de carvão inundada que foi convenientemente habilitada. Também todo o lixo urbano da cidade de Porto Alegre e de mais de cento e cinquenta municípios, depois de passarem por uma fase de reciclagem, são transportados e depositados em cavas de mineração no município de Minas do Leão. O aterro sanitário está situado a noventa quilômetros de Porto Alegre. No local existe ainda uma usina termelétrica de geração de energia que usa como combustível o gás gerado no aterro sanitário.

Outro exemplo que merece destaque no RS é o restaurante subterrâneo com espaço para até 200 pessoas, no município de Ametista do Sul. O restaurante está situado em uma mineração subterrânea desativada. O empreendimento compreende ainda um parque museu para visitação turística. A atividade de mineração é uma importante atividade econômica da região. O local mostra o processo da extração dos geodos de ametista até o final da cadeia produtiva, quando são elaboradas joias, artesanatos e outros produtos (Figura 75).

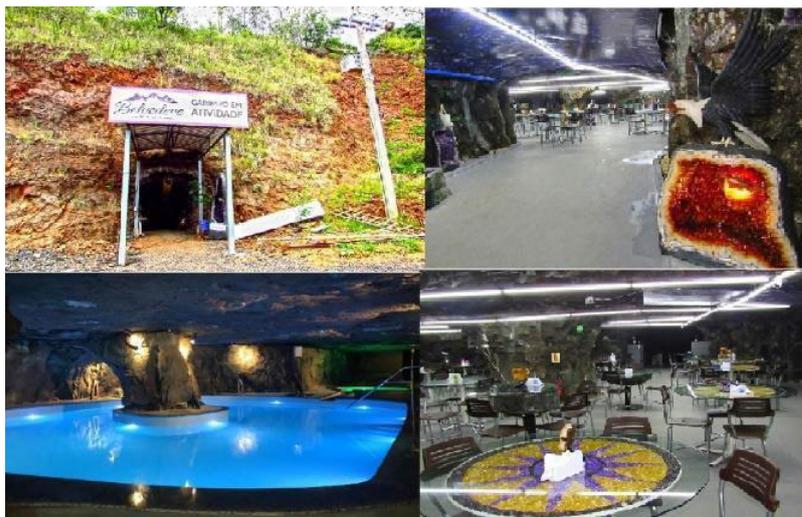


Figura 75 - Hotel e restaurante no município de Ametista do Sul/RS – Uso de galerias de mineração desativada (Fonte: Booking.com - <https://www.booking.com/hotel/br/e-restaurante-belvedere-mina.pt-br.html?activeTab=photosGallery>).

5.3.4.8. DEPÓSITOS DE ESTÉRIL E REJEITOS

Com respeito ao material que vai permanecer na área superficial (depósitos de rejeito e barragens), dois aspectos principais devem ser abordados: as condições de estabilidade físicas e o potencial de geração de drenagem ácida.

No caso de potencial de instabilidade, trabalhos de terraplanagem e redução na inclinação de taludes são indicados. Para diminuição da geração de drenagem ácida deve ocorrer a cobertura dos depósitos. O material de cobertura deve ser argiloso, para garantir o isolamento dos rejeitos, que deverá ficar contido e confinado. O material a ser utilizado para cobertura deverá ser caracterizado geotecnicamente para uma definição adequada de qual deverá ser a espessura da camada, a forma de disposição e o grau de compactação. Os dados servirão, também, para efetivar a análise de estabilidade de talude.

Parte do material de enchimento poderá vir do material de demolição dos escritórios, oficinas e plantas de serviço da mina que serão gerados durante a remoção deles. O restante do material poderá ser de solo residual da região se apresentar baixa permeabilidade.

Alternativamente, deverá ser verificada, através de um estudo específico, a viabilidade econômica do aproveitamento dos rejeitos. Essa atividade poderia gerar recursos para as ações de recuperação ambiental no site.

Devem ser realizados ainda trabalhos complementares, como canais de drenagem para reduzir e remover as águas da chuva da área dos depósitos. A ação visa diminuir o tempo de residência e infiltração das águas superficiais sobre os depósitos para mitigar a geração de drenagem ácida e os riscos de contaminação dos aquíferos da região.

5.3.4.9. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A atividade de mineração gera emprego e renda, reduz as disparidades regionais e abre novas fronteiras econômicas. O setor mineiro pode ter importante participação no desenvolvimento do país conforme pode ser visto em países como Canadá, Austrália e Estados Unidos. Entretanto, quando a mineração não é realizada de forma responsável e com boa técnica provoca impactos sociais e ambientais de grande intensidade.

A sociedade cobra cada vez mais das Instituições reguladoras uma atuação mais eficaz na segurança operacional das atividades de mineração, na saúde e segurança do trabalhador e na minimização dos impactos ambientais. O uso de tecnologias modernas permite minerar com práticas ambientalmente amigáveis e seguras.

As consequências ambientais e socioeconômicas do fechamento de minas vêm sendo objeto de estudos e regulamentação em várias partes do mundo, inclusive no Brasil. A discussão para a criação de um fundo custeado pelas próprias mineradoras para securitizar os passivos das minas deve ganhar mais destaque nos próximos anos. Trata-se de um assunto complexo pois envolve minerações de pequeno, médio e grande porte, com diferentes tempos de vida útil e de capacidades econômicas diversas.

O conceito de fechamento de mina é mais abrangente que a paralização do empreendimento e da recuperação ambiental das áreas degradadas. Deve incluir ações para assegurar a sustentabilidade ambiental, econômica, social e cultural das comunidades no seu entorno. Neste sentido, diversos posicionamentos são apresentados e discutidos em congressos. Tem sido consenso que o plano de fechamento, aprovado pelos órgãos reguladores, deve ser com a antecedência de tempo necessária para acompanhar a vida operacional de uma mina, para ser bem-sucedido ao final. O plano e as ações devem iniciar o mais cedo possível, assim os custos podem ser suportados, tanto quanto possível, pela mina ainda em atividade.

Para minimizar custos e riscos, o conceito “Abrir pensando em fechar” deve nortear todas as fases desde o licenciamento inicial e as ações dos órgãos fiscalizadores.

Como consideração final devemos salientar que, nos próximos anos, várias minas que estão em operação chegarão à exaustão da reserva. A forma como esses fechamentos vão ocorrer será um farol para o setor de mineração no Brasil. Vai afetar os custos relacionados ao fechamento de minas, a visão do setor de mineração pela sociedade e os riscos avaliados pelos investidores.

REFERÊNCIAS

ABCERAM – Associação Brasileira de Cerâmica. Informações Técnicas - Definição e Classificação. Disponível em <<https://abceram.org.br/definicao-e-classificacao/>>. Acesso em: 09 jul. 2021.

ABNT NBR 13529:2013. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas — Terminologia. ABNT, 2013

AKCIL, A.; KOLDAS, S. Acid Mine Drainage (AMD): causes, treatment and case studies. J. Clean. Prod. 14, p. 1139-1145, 2006.

A Legislação de Áreas de Mineração em fase de disponibilidade e seus impactos no Estado de Minas Gerais – Gabriel Neres Campos – 2019.

ANM – Agência Nacional de Mineração. Cadastro Mineiro. Disponível em: <<https://www.gov.br/anm/pt-br/assuntos/acesso-a-sistemas/cadastro-mineiro-1>>. Acesso em: 09 jul. 2021.

ANM – Agência Nacional de Mineração. Legislação de Mineração. ANM, 2021a. Disponível em: <https://anmlegis.datalegis.inf.br/action/ActionDatalegis.php?acao=recuperarTematicasCollapse&cod_modulo=405&cod_menu=6783>. Acesso em: 26 mar. 2021.

ANM – Agência Nacional de Mineração. Mineração em números. ANM, 2021b. Disponível em: <<https://www.gov.br/anm/pt-br/centrais-de-conteudo/mineracao-em-numeros>>. Acesso em: 05 abr. 2021.

ANM – Agência Nacional de Mineração. Sistema Arrecadação. Disponível em: <https://sistemas.anm.gov.br/arrecadacao/extra/Relatorios/arrecadacao_cfem_substancia.aspx>. Acesso em: 09 jul. 2021.

ANM – Agência Nacional de Mineração. Anuário Mineral Estadual - Rio Grande do Sul. ANM, 2016 – 2019. Disponível em: <<https://www.gov.br/anm/pt-br/centrais-de-conteudo/publicacoes/serie-estatisticas-e-economia-mineral/anuario-mineral/anuario-mineral-estadual/anuario-mineral-estadual/rio-grande-do-sul>>. Acesso em: 09 jul. 2021.

ANM – Agência Nacional de Mineração. Sumário Mineral. ANM, 2016, 2018, 2019. Disponível em: <<https://www.gov.br/anm/pt-br/centrais-de-conteudo/publicacoes/serie-estatisticas-e-economia-mineral/sumario-mineral>>. Acesso em: 09 jul. 2021.

AMBROS, WESLEI MONTEIRO ET AL. Usage of air jigging for multi-component separation of construction and demolition waste. Waste management, v. 60, p. 75-83, 2017.

BANKS, H. (2004) Geochemical processes controlling mine water pollution. Proceedings of the Groundwater Management in Mining Areas, Hungary, p 17-42.

BARROS, J. N. Legislação ambiental aplicada à mineração. Cruz das Almas, BA: UFRB 2017. Disponível em:

<https://educapes.capes.gov.br/bitstream/capes/175231/1/Legislacao_Juliana.pdf>. Acesso em: 14 set. 2021.

BERETTA, F., SHIBATA, H., CÓRDOVA, R., PERONI, R., AZAMBUJA, J., COSTA, J. F. Topographic modelling using UAVs compared with traditional survey methods in mining. REM: International Engineering Journal, v. 71, n. 3, p. 463-470, 2018.

BERNARDES, N. Bases Geográficas do Povoamento do Estado do Rio Grande do Sul. Boletim Geográfico, Rio de Janeiro, ano 20, n. 171. p. 587-620, 1962.

BOLAN, N.S.; KIRKHAM, M.B.; OK, Y. Spoil to Soil: Mine Site Rehabilitation and Revegetation. New York: CRC Press, 392p., 2017.

BOSSI, J. & CAGGIANO, W. 1974. Contribuicion a la geologia de los yacimientos de amatistas en del departamento de Artigas (Uruguai). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 28., 1974. Porto Alegre, Anais. Porto Alegre, SBG, v. 3, p. 301-317.

BOWMAN DC, EVANS RY, DODGE LL. Growth of Chrysanthemum with ground automobile tires used as container soil amendment. Horti Sci. 1994; 29:774–76.

BRANCO, PÉRCIO DE MORAES. Dicionário de Mineralogia. 3. ed. Porto Alegre, 1995.

BRASIL, Resolução CONAMA 375 / 2006. Define critérios e procedimentos, para o uso agrícola de lodos de esgoto gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados, e dá outras providências, 2006.

BRASIL, Resolução CONAMA 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.

BRASIL. Resolução – RDC nº 274, de 22 de setembro de 2005. Regulamento Técnico para águas envasadas e gelo. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 23 set. 2005.

BRASIL. Política Nacional de Resíduos Sólidos. Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Presidência da República, Departamento da Casa Civil. Brasília, 2010.

Código de Mineração: e legislação correlata. – 2. ed. – Brasília: Senado Federal, Subsecretaria de Edições Técnicas, 2011.

CPRM - Serviço Geológico do Brasil. Projeto “Implantação de Rede Integrada de Monitoramento das Águas Subterrâneas”. CPRM, 2009. Disponível em:

<http://rimasweb.cprm.gov.br/layout/pdf/proposta_monitoramento_CPRM_2009.pdf>. Acesso em 17 jun 2021.

CPRM - Serviço Geológico do Brasil. Minerais Argilosos. CPRM, c2016. Disponível em: <<http://www.cprm.gov.br/publique/CPRM-Divulga/Canal-Escola/Minerais-Argilosos-1255.html>>. Acesso em 01 jul 2021.

CPRM – Serviço Geológico do Brasil. Mapa Gemológico do Estado do Rio Grande do Sul. 2ª ed. BRANCO, P.M., GIL, C.A. Porto Alegre:CPRM, 2002. 1v. Il. Mapa.

CUCCHIELLA F, D'ADAMO I, KOH SL, ROSA P. Recycling of WEEEs: an economic assessment of present and future e-waste streams. *Renew Sust Energy Rev.* 2015; 51:263–72.

DENT, D.; YOUNG, A. Soil survey and land evaluation. London: E & FN Spon, 1993. 292p.

EPE - Empresa de Pesquisa Energética. Matriz Energética e Elétrica. EPE, 2021. Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/matriz-energetica-e-eletrica>>. Acesso em 08 jun 2021.

FEPAM. Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luis Roessler. Mapa de Classificação dos Solos do Estado do Rio Grande do Sul quanto à Resistência a Impactos Ambientais. Porto Alegre: FEPAM. 13 p. (n.publ.) Relatório final de consultoria elaborado por Nestor Kämpf. Mapa em meio digital. 2001.

FIRPO, B.A.; WEILER, J.; SCHNEIDER, I.A.H. Technosol made from coal waste as a strategy to plant growth and environmental control. *Energy Geoscience*, v.2, p.160-166, 2021.

FORMAGGIO, A.R. et al. Sistemas de Informações Geográficas na obtenção de aptidão agrícola e de taxa de adequação de uso das terras. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v.16, p.249-256, 1992.

FRAZÃO, E. B. (2007). Tecnologia para a produção e utilização de agregados. In: Agregados para a construção civil no Brasil; Edson Campos, Ely Frazão, Gilberto Calaes e Hildebrando Herman (editores), SGM-MME/CETEC-MG, p. 25-74, 2007.

FRENGSTAD & BANKS (2000) – Evolution of high-pH Na-HCO₃ groundwaters in anorthosites: silicate weathering or cation exchange? In: Sililo et al. (eds) *Groundwater: Past Achievements and future challenges*, Proc. XXXII Congress of the Inter. Ass. of Hydrogeologists, Cape Town, Balkema, 493-498.

GONZATTI, C., PHILIPP., R.P. Características Tecnológicas de Rochas Ornamentais do Estado do Rio Grande do Sul. Fundação de Ciência e Tecnologia – Cientec. Porto Alegre: CIENTEC, 2009. 74p.

Guía Metodológica de Evaluación de Riesgos para El Cierre de Faenas Mineras /Servicio Nacional de Geología y Minería. SERNAGEOMIN – Chile 2014.

<https://www.sernageomin.cl/wp-content/uploads/2017/11/14.03.24-GuiaEvaluaciondeRiesgosparaelCierreFaenasMineras.pdf>.

Guía Para Evaluar EIAs de Proyectos Mineros - Alianza Mundial de Derecho Ambiental (ELAW), Eugene OR 97403 - © 2010 por la Alianza Mundial de Derecho Ambiental, Julio 2010.

HOFMANN-WELLENHOF, B.; LICHTENEGGER, H.; WASLE, E. GNSS – Global Navigation Satellite Systems: GPS, GLONASS, Galileo, and more. Vienna. Springer- Verlag Wien, 2008. 518 p.

Holz, Michael, De Ros, Luiz Fernandes (Eds.) Geologia do Rio Grande do Sul, Edições CIGO/UFRGS, p. 13-52, 2000.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Monitoramento da Cobertura e Uso da Terra do Brasil 2000 – 2010 – 2012 – 2014: Em Grade Territorial Estatística. Rio de Janeiro, 2017. 31p.

IBRAM – Instituto Brasileiro de Mineração. Informações sobre a economia mineral brasileira 2020 – Ano base 2019. Brasília: IBRAM, 2020. 80p.

JOHNSTONE, A.; DENNIS, I.; MCGEORGE, N. (2013) – Ground water stratification and impact on coal mine closure. North West University, South Africa, 6p.

JORDÃO, E. P.; PESSOA, C. A. Tratamento de Esgotos Domésticos, 6. Edição, Rio de Janeiro: ABES, 2011.

LEPSCH, I.F. et al. Manual para levantamento utilitário do meio físico e classificação de terras no sistema de capacidade de uso. Campinas: SBCS, 1991. 175p.

LIFSET, R., GRAEDEL, T. E. Industrial Ecology: goals and definitions, em: Ayres, R., Ayres, L. (Eds) Industrial Ecology Handbook. Edward Elgar Publishing Limited, 2002.

LINDER, W. Digital Photogrammetry. Berlin: Springer-Verlag, 2009.

MARTINS, M.K. Integrando Aspectos Técnicos Tangíveis e Não Técnicos Intangíveis na Análise de Projetos por meio de Dinâmica de Sistemas. Dissertação PPGE3M-UFRGS, 121 p, 2020.

MME – Ministério de Minas e Energia. Portaria nº 354 - Programa Mineração e Desenvolvimento. Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral, Brasil, 2020.

MME – Ministério de Minas e Energia. Portaria nº 540 - Detalhamento do Programa para Uso Sustentável do Carvão Mineral Nacional. Brasil, 2021.

<https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/noticias/mme-publica-detalhamento-do-programa-para-uso-sustentavel-do-carvao-mineral-nacional>.

Normas Reguladoras da Mineração nº 20.4 e nº 20.5. Portaria DNPM nº 237. 18 de outubro 2001.

NORTHEY, S. A., HAQUE, N., LOVEL, R., COOKSEY, M. A. Evaluating the application of water footprint methods to primary metal production systems. *Minerals Engineering* 69 (2014) 65–80, 2014

PARK, C. C. Man-induced changes in stream channel capacity. In: GREGORY, K. J. *River channel changes*. Chichester: Wiley, 1977. 8, p. 121-144.

PERONI, R. Aplicações de mapeamento e modelagem de terreno com uso de VANTs em áreas de mineração. Relatório de Pós-Doutorado, Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2016. 136p.

Políticas Públicas para a Indústria Mineral. Instituto Brasileiro de Mineração; organizador, Instituto Brasileiro de Mineração. 1.ed. - Brasília: IBRAM, 2020. 124p.

Projeto - Estudo para avaliação de Plano de Fechamento de Minas (Caso Mina Verdinho). Convênio FEENG/UFRGS/ANM. 31 de dezembro 2019.

QUARESMA, L. F.. Perfil de areia para construção civil. Belo Horizonte: J. Mendo Consultoria, 2009. (Relatório Técnico 31)

RAMALHO FILHO, A.; BEEK, K.J. Sistema de avaliação da aptidão agrícola das terras. 3.ed. rev. Rio de Janeiro: EMBRAPA – CNPS, 1995. 65p.

RANKIN, W., J. *Minerals, Metals, and Sustainability: Meeting Future Material Needs*. CSIRO Publishing, 2011

RESOLUÇÃO ANM Nº 68 - Dispõe sobre as regras referentes ao Plano de Fechamento de Mina – PFM. 30 abril 2021.

RIO GRANDE DO SUL - Secretaria de Minas e Energia. *Mineração no Rio Grande do Sul: diagnóstico setorial e visão de futuro. Sumário Executivo*. Porto Alegre : Secretaria de Minas e Energia, 2018. v. 1, 88 p., : il.

RODRIGUES, J.B.T. et al. Utilização de sistemas de informação geográfica na avaliação do uso da terra em Botucatu (SP). *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v.25, p.675–681, 2001.

SATERNUS M, FORNALCZYK A. An used auto catalytic converters as a source of PGM. *Rudy Metale*. 2009;54(2):59–67.

Site Município de Ametista do Sul/RS. <https://ametistadosul.rs.gov.br>

SHEORAN, V.; SHEORAN, A.S.; POONIA, P. Soil reclamation of abandoned mine land by revegetation: a review. *The International Journal of Soil, Sediment and Water: Documenting the Cutting Edge of Environmental Stewardship*, v.3, p.1-20, 2010.

SVERDRUP H, RAGNARSDOTTIR KV. Natural resources in a planetary perspective. *Geochemical Perspect.* 2014; 3:129–336.

TAYEB-KHORAMI, M., EDRAKI, M., CORDER, G., GOLEV, A. Re-thinking Mining Waste Through and Integrative Approach Led by Circular Economy Aspirations. *Minerals* 2019, 9, 286, 2019

Transparency Market Research (TMR), 2018. *Recycled Metal Market - Global Industry Analysis, Size, Share, Growth, Trends, and Forecast, 2018 - 2026*, 270 pages, May 2018.

TRINDADE, J. P. P.; ROCHA, D. S. da; VOLK, L. B. da S. *Uso da terra no Rio Grande do Sul: ano de 2017*. Bagé: Embrapa Pecuária Sul, 2018. 18 p.

VIANA, M. B. *Panorama do Setor Mineral: Legislação e Impactos Socioambientais*. Consultoria Legislativa da Câmara dos Deputados. Câmara dos Deputados, 2015. Disponível em:
<http://bd.camara.gov.br/bd/bitstream/handle/bdcamara/21119/politicas_setoriais_ganen.pdf?sequence=1>. Acesso em: 14 set. 2021.

VIERO, A.C., SILVA, D.R.A. *Geodiversidade do estado do Rio Grande do Sul/Organização Ana Cláudia Viero e Diogo Rodrigues Andrade da Silva – Porto Alegre: CPRM, 2010. 250 p.*

VON SPERLING, M; FERNANDES, F. *Lodo de Esgotos: Tratamento e Disposição Final - Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias*. 2. Ed, Belo Horizonte: Editora UFMG, 2014.

WEILER, J.; FIRPO, B.A.; SCHNEIDER, I.A.H. *Áreas Degradadas: O uso de tecnossolos na recuperação*. *Saneamento Ambiental*, v.191, p. 23 - 29, 2019

WEILER, J.; FIRPO, B.A.; SCHNEIDER, I.A.H. Coal waste derived soil-like substrate: An opportunity for coal waste in a sustainable mineral scenario. *Journal of Cleaner Production*, v. 174, p. 739-745, 2018.

WEILER, J.; FIRPO, B.A.; SCHNEIDER, I.A.H. Technosol as an integrated management tool for turning urban and coal mining waste into a resource. *Minerals Engineering*, v. 147, 106179, 2020.

WIESZCZYCKA, Karolina; TYLKOWSKI, Bartosz; STASZAK, Katarzyna (Ed.). *Metals in Wastes*. De Gruyter, 2018.

YOUNGER, P. L.; BANWART, S.A.; HEDIN, R.S. (2002) – *Mine water: hydrology, pollution remediation*. Kluwer, Dordrecht, 442 pp.

ZINGANO, ANDRE CEZAR; KOPPE, JAIR CARLOS; GAVRONSKI, JORGE DARIANO; CABRAL, ROGER ROMÃO. Fechamento de mina: caso Mina Verdinho. In: Congresso Brasileiro de Minas a Céu Aberto e Minas Subterrâneas. [Anais] [recurso eletrônico], [Belo Horizonte: IBRAM, 2021]. [19] f. , il. Color.

ZWIRTES, S., HAMMES, D.F. Projeto materiais para construção civil da região da grande Florianópolis/Simone Zwirtes; Daiane Flora Hammes. Porto Alegre: CPRM, 2016. 154 p.: il.

WRB, World reference base for soil resources. A framework for international classification, correlation and communication, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome. World soil resources reports 103. 145p., 2006.

GLOSSÁRIO DE TERMOS TÉCNICOS

Potencial exploratório: avaliação feita com base nos resultados de exploração relativos a um corpo mineralizado para o qual não houve ainda trabalhos de pesquisa suficientes para se estimar os recursos minerais, sendo expresso como intervalo de toneladas e de teores ou de qualidade.

Recurso mineral: concentração ou ocorrência de substância mineral que, quando mensurada, apresenta forma, teor ou qualidade e quantidade com perspectivas razoáveis de aproveitamento econômico. Subdivide-se, em ordem crescente conforme o grau de confiabilidade da pesquisa geológica, nas seguintes categorias:

a) Recurso inferido: parte de um recurso mineral estimado com base em evidências geológicas, técnicas apropriadas de pesquisa e amostragem limitadas que sugerem, mas não atestam, a continuidade geológica, teor ou qualidade do bem mineral. O recurso inferido possui nível de confiabilidade mais baixo que aquele aplicado ao recurso indicado e não deve ser convertido para reserva mineral.

b) Recurso indicado: parte de um recurso mineral estimado com base em técnicas adequadas de pesquisa derivadas de exploração, amostragem e testes com detalhamento adequado, confiáveis e suficientes para assumir a continuidade geológica, teor ou qualidade, densidade, forma e características físicas do depósito mineral entre os pontos de observação, permitindo a aplicação de fatores modificadores em detalhe suficiente para embasar o planejamento da mina e a avaliação preliminar da viabilidade econômica do depósito. O recurso indicado possui nível de confiabilidade mais baixo que o recurso medido e pode ser convertido apenas em reserva provável.

c) Recurso medido: parte de um recurso mineral estimado com base em técnicas apropriadas de pesquisa derivadas de exploração, amostragem e testes detalhados e confiáveis o suficiente para confirmar a continuidade geológica, teor ou qualidade, densidade, forma e características físicas do depósito mineral entre os pontos de observação, permitindo a aplicação de fatores modificadores para o planejamento de mina detalhado e a avaliação final da viabilidade econômica do depósito. O recurso medido é aquele que possui nível mais alto de confiabilidade geológica, em que pequenas variações na estimativa não afetam a potencial viabilidade econômica do projeto, podendo ser convertido em reserva provável ou reserva provada.

Reserva mineral : parte economicamente lavrável de um recurso mineral medido e/ou indicado, cuja viabilidade técnico-econômica da lavra tenha sido demonstrada por meio de estudos técnicos adequados que incluam a aplicação de fatores modificadores. Subdivide-se, em ordem crescente conforme o grau de confiança dos fatores modificadores aplicados sobre os recursos minerais previamente definidos, nas seguintes categorias:

a) Reserva provável: porção economicamente lavrável de um recurso mineral indicado e, sob determinadas circunstâncias, de um recurso medido. A confiabilidade nos fatores modificadores é inferior àquela aplicada à reserva provada, mas suficiente para servir como base para uma decisão sobre o desenvolvimento de um depósito mineral.

b) Reserva provada: porção economicamente lavrável de um recurso mineral medido identificada por meio de estudos desenvolvidos com elevado grau de confiança nos fatores modificadores aplicados.

ROM (run of mine): É o minério bruto, obtido diretamente da mina, sem passar por qualquer tipo de beneficiamento.

**SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE
E INFRAESTRUTURA
DEPARTAMENTO DE MINERAÇÃO**



**GOVERNO DO ESTADO
RIO GRANDE DO SUL**

SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE
E INFRAESTRUTURA

NOVEMBRO DE 2022