

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE MINAS**

MIRELLA GUEDES ALCOFORADO RODRIGUES

**IMPACTOS DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS NA MINERAÇÃO: UM ESTUDO DE
CASO SOBRE OS DESAFIOS ENFRENTADOS PELA INDÚSTRIA MINERAL.**

**RECIFE
2024**

MIRELLA GUEDES ALCOFORADO RODRIGUES

**IMPACTOS DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS NA MINERAÇÃO: UM ESTUDO DE
CASO SOBRE OS DESAFIOS ENFRENTADOS PELA INDÚSTRIA MINERAL.**

Trabalho de conclusão de curso apresentado junto ao programa de Bacharelado em Engenharia de Minas da Universidade Federal De Pernambuco, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Minas.

Orientador: Prof. Dr. Robson Ribeiro Lima.

**RECIFE
2024**

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do programa de geração automática do SIB/UFPE

Rodrigues, Mirella Guedes Alcoforado .

Impactos das mudanças climáticas na mineração: um estudo de caso sobre os desafios enfrentados pela indústria mineral. / Mirella Guedes Alcoforado Rodrigues. - Recife, 2024.

44p. : il.

Orientador(a): Robson Ribeiro Lima

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Tecnologia e Geociências, Engenharia de Minas - Bacharelado, 2024.

1. Mudanças Climáticas. 2. Mineração. 3. Adaptação. 4. Mitigação. I. Lima, Robson Ribeiro. (Orientação). II. Título.

620 CDD (22.ed.)

MIRELLA GUEDES ALCOFORADO RODRIGUES

**IMPACTOS DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS NA MINERAÇÃO: UM ESTUDO DE
CASO SOBRE OS DESAFIOS ENFRENTADOS PELA INDÚSTRIA MINERAL.**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao programa de **Graduação em Engenharia de Minas** da **Universidade Federal De Pernambuco**, como requisito parcial à obtenção do título de **Bacharel em Engenharia de Minas**.

Data de aprovação:

27/03/2024

Banca examinadora:

Prof. Dr. Robson Ribeiro Lima

Universidade Federal de Pernambuco

Prof. MSc Carlos Eduardo da Silva Araújo

Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Dr. Márcio Luiz de S. Campos Barros

Universidade Federal de Pernambuco

Agradecimentos

Eu gostaria de agradecer a todos vocês que me ajudaram durante esta jornada. Quem aqui não encontrar seu nome, saiba que não foi esquecimento, mas restrição de espaço.

Em primeiro lugar, agradeço Àquele que começou a boa obra em minha vida e me manteve de pé. Reencontrei o meu caminho n'Ele e a fé que havia perdido. Se cheguei até aqui foi porque Deus não concluiu ainda os Seus propósitos para mim.

À minha família, que é muito mais do que meu suporte: vocês são meu presente, meu refúgio, o meu lugar seguro. Meus pais Alberto e Verônica são os pais mais amorosos e dedicados que poderia desejar, nunca deixaram de me acolher e foram os maiores responsáveis pela minha caminhada em busca de conhecimento. Aos meus irmãos, em especial Marcela e Betinho: meus melhores amigos da vida, minhas maiores referências de amizade e companheirismo, meus primeiros amores. À Rama que é extensão da minha família e que me conhece desde o nascimento. Aos meus cunhados, a quem adoto como irmãos. Minha prima Alice que fez parte de boa parte da minha graduação. À família Castiel Reis de Souza que me acolheu como filha.

Ao Dr. Mais Estranho, Artur. O meu maior suporte para não desistir mesmo diante de todo desestímulo que minha caminhada me impôs. O meu maior companheiro e minha maior inspiração como ser humano e profissional.

Aos professores que fizeram parte da minha formação neste curso: Márcio, Carlos Eduardo, Áureo, Amanda, Carlos Magno, Marinésio, Artur, Júlio, José Carlos, Rafael e Pedro Guzzo. À Cema e Luciano. Registro aqui, por fim, especial carinho ao professor Robson Lima, mais do que meu professor, meu padrinho de coração e graduação, sou eternamente grata por tudo que fez por minha vida acadêmica.

Por fim, aos meus amigos, que são muitos para enumerar todos. Amigos que fiz durante minha caminhada em Engenharia de Minas. Vou representá-los com dois, em especial: Allyson Denys e Marcos. À Mizael, uma amizade que ganhei como presente ao fim da graduação, me ajudou efetivamente no desenvolvimento deste trabalho. À Penélope que teve um papel especial para manter o meu equilíbrio. E aos amigos que não fazem parte desse contexto, mas são muitos, espero que saibam o quão grata sou a vocês.

Ao meu filho Victor, sua simples existência mudou a minha vida. Cheguei até aqui por você.

*Este trabalho é inteiramente
dedicado ao meu amado filho Victor.*

Com amor, sua mamãe Mirella.

RESUMO

Em escala global, as mudanças climáticas vêm causando impactos cada vez mais expressivos na indústria mineral, e, por este motivo, faz-se cada vez mais necessário debater esta temática na academia e na própria indústria. A partir da ocorrência de desastres naturais até a drástica diminuição da disponibilidade de água, as empresas de mineração enfrentam adversidades importantes para se adaptarem às condições ambientais cada vez mais extremas e alarmantes. Este trabalho de conclusão de curso apresenta um estudo de caso de artigos relevantes, os quais discutem os impactos das mudanças climáticas na mineração, incluindo riscos de inundação e desastres naturais, além de incluir dados estatísticos minuciosamente analisados e compilados. Os resultados inferem que as empresas de mineração apresentam uma necessidade emergente de aderir medidas proativas para enfrentar tais desafios. Estas medidas incluem: investimentos em tecnologias de adaptação e mitigação de riscos. Outrossim, este trabalho também discute a importância da colaboração entre as partes interessadas, desde as comunidades locais, ONGs até as autoridades governamentais, a fim de lidar com os impactos das mudanças climáticas na mineração de forma eficiente.

Palavras-chave: Mudanças Climáticas; Mineração; Adaptação; Mitigação.

ABSTRACT

At a global level, climate change emerges as a disruptive force in the mining industry, triggering impacts whose significance is increasingly recognized in modern society. The complexity and urgency of these impacts call for extensive discussion both in academic circles and within the industry itself. From the onset of natural disasters to the alarming scarcity of water resources, mining companies face highly complex challenges in adapting to increasingly extreme and unpredictable environmental conditions.

This written assignment aims to promote a detailed analysis through relevant, current, and well-grounded case studies that explore the effects of climate change on mining, addressing everything from flood risks to the ramifications of natural disasters. The findings of these investigations suggest an urgent need for mining companies to adopt proactive measures to address these challenges. Such measures include substantial investments in adaptation and risk mitigation technologies, underscoring the importance of technological innovation in this context.

Furthermore, this written assignment deliberates on the vital importance of collaboration among various stakeholders, from local communities and non-governmental organizations to governmental authorities. This synergy among different actors is deemed essential for effectively addressing the impacts of climate change on the mining industry. Collective efforts and the establishment of strategic partnerships emerge as crucial elements in the pursuit of sustainable and resilient solutions in the face of the evolving climate scenario.

Keywords: Climate Change; Mining; Adaptation; Mitigation.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	9
1.1	Objetivo Geral	10
1.1.1	<u>Objetivos específicos</u>	11
1.2	Problemática: Mudança climática	11
1.2.1	<u>Mudança climática: alguns efeitos e fenômenos</u>	12
2	ARTIGO 1: O IMPACTO DOS RISCOS DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS NO DESEMPENHO FINANCEIRO DA INDÚSTRIA DE MINERAÇÃO: EVIDÊNCIAS DE EMPRESAS LISTADAS NA CHINA.	14
3	ARTIGO 2: MINERAÇÃO E MUDANÇA CLIMÁTICA: RUMO A UMA ESTRATÉGIA PARA A INDÚSTRIA.	19
4	ARTIGO 3: AVALIAÇÃO DO IMPACTO DE EVENTOS POTENCIAIS DE PRECIPITAÇÃO EXTREMA NA MINERAÇÃO NO PERU.	22
5	ARTIGO 4: MINERAÇÃO E MUDANÇA CLIMÁTICA: UMA REVISÃO E ESTRUTURA PARA ANÁLISE.	25
6	ARTIGO 5: ADAPTAÇÃO PRIVADA AOS RISCOS CLIMÁTICOS: EVIDÊNCIAS DAS MAIORES EMPRESAS DE MINERAÇÃO DO MUNDO.	32
7	DISCUSSÃO	38
8	CONCLUSÃO	42

1 INTRODUÇÃO

As mudanças climáticas têm se tornado um tema cada vez mais fundamental nas discussões globais deste século, especialmente no que diz respeito aos impactos no meio ambiente e na economia: eventos climáticos extremos, perturbações sazonais e perda de espécies. Compreender as percepções individuais é importante para a tomada de decisões efetivas sobre o clima (HENRY et al., 2019). Além disso, juntamente a outras atividades essenciais à manutenção do modelo de sociedade atual, a indústria da mineração é necessariamente uma das mais afetadas pelas mudanças climáticas, devido ao fato de estar intrínseca aos recursos naturais e ser subordinada à estabilidade climática para operar com eficiência. Em momentos recentes da história, as mudanças climáticas têm causado impactos significativos na indústria de mineração, incluindo desastres naturais, aumento dos riscos de inundação, diminuição da disponibilidade de água e impactos na biodiversidade.

A mineração é indiscutivelmente uma das indústrias mais importantes do mundo, fornecendo matérias-primas essenciais para várias outras indústrias, para as mais diversas finalidades: desde a construção civil à indústria farmacêutica, permeando praticamente todas as áreas da manutenção da vida humana. Entretanto, a mineração também é uma das indústrias mais impactantes para o meio ambiente, o que é assiduamente questionado por organizações ambientais. Outrossim, as mudanças climáticas são um dos principais fatores que afetam a mineração e seus impactos ambientais. De acordo com o relatório do IPCC (2014), por exemplo, o aquecimento global tem causado aumento da temperatura do ar e dos oceanos, derretimento de geleiras e aumento preocupante do nível do mar. Esses efeitos têm impactado negativamente a indústria da mineração, causando desastres e prejuízos financeiros bastante consideráveis.

É válido salientar que, além dos desastres causados pelas mudanças climáticas, a mineração também é extremamente sensível ao aumento da demanda por recursos minerais, a qual é diretamente afetada pelo uso das commodities minerais, o nível da população que as consumirá e os padrões de vida e consumo (KESLER, 2007). Outro fator de impacto é a crescente necessidade de práticas sustentáveis e exigências das legislações, governos e organizações globais. A mineração no Brasil, em contrapartida, também enfrenta desafios significativos em termos de sustentabilidade, incluindo a gestão de resíduos

e a minimização do impacto ambiental.

Podemos destacar, também, que a mineração se trata de uma das indústrias que mais consome energia (HOLMBERG et al., 2017). Este consumo gera uma grande emissão de gases de efeito estufa. Para tanto, é fundamental que a indústria da mineração passe a aderir práticas mais sustentáveis para reduzir sua pegada de carbono e minimizar seus impactos ambientais (IRARRAZÁBAL, 2006).

Em resumo, a mineração é uma indústria essencial para a economia global, indubitavelmente. Entretanto, é também uma das indústrias mais impactantes em termos ambientais, e reconhecê-lo tem um papel fundamental para o seu próprio desenvolvimento com base nas perspectivas e demandas globais. As mudanças climáticas representam um desafio significativo para a indústria da mineração, causando desastres e impactando a sustentabilidade das operações. No entanto, a adoção de práticas sustentáveis e a gestão adequada de riscos podem ajudar as empresas a lidar com esses desafios e a alcançar uma mineração mais responsável.

Apresentaremos neste trabalho de conclusão um estudo de caso baseado em publicações que discutem os impactos das mudanças climáticas na mineração, incluindo desastres causados por eventos extremos. Nosso objetivo primordial é analisar os desafios enfrentados pelas empresas de mineração devido às mudanças climáticas e discutir estratégias que possam ser adotadas para enfrentá-los, as quais foram apresentadas por diversos autores e chanceladas por importantes meios de publicação.

1.1 Objetivo Geral

O objetivo geral deste trabalho é analisar os desafios enfrentados pela indústria de mineração devido às mudanças climáticas e discutir estratégias que possam ser adotadas para enfrentá-los de forma eficaz a partir de uma revisão bibliográfica. Por meio de um estudo de caso baseado em publicações selecionadas e relevantes, busca-se compreender os impactos das mudanças climáticas na mineração, incluindo riscos de inundação e desastres naturais, e identificar medidas proativas apontadas que as empresas de mineração possam adotar para se adaptarem às condições ambientais cada vez mais extremas e alarmantes.

1.1.1 Objetivos específicos

- Analisar os impactos das mudanças climáticas na indústria de mineração, incluindo desastres naturais, impactos em microclimas, diminuição da disponibilidade de água e aumento da emissão de gases nocivos à atmosfera, por exemplo.
- Identificar as estratégias de gestão de riscos e adaptação às mudanças climáticas adotadas pelas empresas de mineração.
- Avaliar a importância da implementação de práticas sustentáveis na indústria de mineração para reduzir sua pegada de carbono e minimizar seus impactos ambientais.
- Investigar a colaboração entre as partes interessadas, incluindo comunidades locais, organizações não governamentais e autoridades governamentais, para lidar eficazmente com os impactos das mudanças climáticas na mineração.
- Propor recomendações para a indústria de mineração com base nas conclusões do estudo de caso, visando promover uma mineração mais responsável e sustentável diante dos desafios impostos pelas mudanças climáticas.

1.2 **Problemática: Mudança climática**

As mudanças climáticas representam uma transformação de longo prazo nos padrões climáticos médios que caracterizam os diferentes ambientes da Terra, seja local, regional ou global. Essas mudanças resultam em uma série de efeitos observados que estão diretamente associados ao fenômeno.

Desde meados do século XX, os especialistas observam que as mudanças no clima na terra têm sido impulsionadas principalmente por atividades humanas, como a queima de combustíveis fósseis (fenômeno que também tem ocorrência na indústria mineral), que aumentam os níveis de gases de efeito estufa na atmosfera. Isso, por sua vez, leva a um aumento na temperatura média da superfície terrestre. Embora processos naturais também possam contribuir para essas mudanças, como a variabilidade interna, como padrões oceânicos cíclicos, e fatores externos, como atividade vulcânica ou variações na energia solar, eles têm sido suplantados pelas atividades humanas. Por este motivo,

também é importante avaliar a mineração como atividade humana de impacto global, ou mesmo no que tange os microclimas. (NASA, 2023)

Os cientistas utilizam uma vasta variedade de métodos: incluindo observações de campo, atmosfera e espaço, bem como modelos computacionais robustos, para estudar e monitorar as mudanças climáticas. Os registros de dados climáticos fornecem evidências de indicadores-chave, como o aumento da temperatura global, o aumento do nível do mar, a perda de gelo polar e em geleiras, além de mudanças na ocorrência e intensidade de fenômenos climáticos extremos, como furacões, ondas de calor, incêndios florestais, secas, inundações e padrões de precipitação (NASA, 2023). Além disso, é importante conhecer os termos com os quais os especialistas referem-se aos fenômenos climáticos: embora frequentemente usados de forma alternada, os termos "mudança climática" e "aquecimento global" possuem significados distintos. Da mesma forma, embora relacionados, os conceitos de "tempo" e "clima" se referem a fenômenos distintos em termos de escala temporal e espacial.

1.2.1 Mudança climática: alguns efeitos e fenômenos

As mudanças climáticas têm desencadeado uma série de efeitos adversos em todo o mundo, impactando diretamente o meio ambiente e a sociedade. Dentre os principais efeitos das mudanças climáticas, destacam-se (UNDRR, 2022):

- **Inundações:** Com o aumento da temperatura global, os eventos de inundação têm se tornado mais intensos e frequentes. Estima-se que, para cada 1°C de aquecimento global, os eventos de precipitação extrema podem intensificar em cerca de 7%. Essas inundações representam uma ameaça para as comunidades locais e a infraestrutura, podendo colocar em risco ativos no valor de até 20% do PIB global até 2100.
- **Ciclones:** Os ciclones tropicais, como furacões e tufões, estão se tornando mais frequentes e intensos devido às mudanças climáticas. Sob um cenário de aquecimento global de até 2.5°C, prevê-se que os ciclones mais devastadores ocorram até duas vezes mais frequentemente do que atualmente. Esses eventos climáticos extremos representam uma ameaça para as comunidades costeiras e podem resultar em danos significativos à infraestrutura e perda de vidas.
- **Secas:** As mudanças climáticas também estão associadas a secas mais intensas, que

podem impactar a disponibilidade de água e a segurança alimentar. Estima-se que o número de pessoas sofrendo com secas extremas em todo o mundo possa dobrar em menos de 80 anos .

- Ondas de Calor: O aumento da temperatura global está contribuindo para a ocorrência de ondas de calor extremas, que representam um risco para a saúde humana e a biodiversidade. Estima-se que, até 2100, cerca de 1.2 bilhão de pessoas possam ser afetadas anualmente pelo estresse causado pelo calor extremo e umidade.
- Propagação de Doenças Infecciosas: As mudanças climáticas também podem aumentar a propagação de doenças infecciosas, como a malária, à medida que os vetores dessas doenças se expandem para novas áreas. Estima-se que, até 2050, os mosquitos que transmitem doenças como a malária possam atingir um adicional de 500 milhões de pessoas .
- Aumento do Nível do Mar: O aumento do nível do mar devido às mudanças climáticas pode resultar em eventos de inundação costeira que ameaçam ativos no valor de até 20% do PIB global até 2100 .
- Incêndios Florestais: Prevê-se que, até 2030, a temporada de incêndios florestais possa se estender por três meses a mais em áreas já expostas a incêndios.

2 ARTIGO 1: O IMPACTO DOS RISCOS DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS NO DESEMPENHO FINANCEIRO DA INDÚSTRIA DE MINERAÇÃO: EVIDÊNCIAS DE EMPRESAS LISTADAS NA CHINA.

O estudo conduzido por Sun et al.(2020) aborda a influência dos riscos associados às mudanças climáticas no desempenho financeiro das empresas de mineração na China. O autor destaca a importância de compreender como os impactos ambientais afetam as finanças das empresas do setor mineral, fornecendo insights valiosos para investidores e partes interessadas da indústria.

Sun et al. (2020) ressaltam que as políticas climáticas governamentais têm um papel crucial na restrição das indústrias intensivas em energia, visando reduzir as emissões de carbono e promover a sustentabilidade ambiental. A implementação de um sistema nacional de comércio de emissões na China e a internalização dos custos ambientais nas atividades produtivas são apontadas como medidas essenciais para incentivar escolhas mais sustentáveis por parte das empresas.

Além disso, o estudo destaca a necessidade de as empresas de mineração se adaptarem às mudanças que necessariamente são impostas pelo mercado, especialmente no que diz respeito à redução do consumo de carvão e petróleo. O carvão ainda é um recurso mineral bastante utilizado na China e apresenta um enorme potencial poluente. A transição para fontes de energia mais limpas e a adoção de tecnologias de baixo carbono são apontadas como oportunidades de mercado que podem impulsionar o desenvolvimento sustentável das empresas.

Sun et al. (2020) também abordam a importância da divulgação para a sociedade em geral, além das partes interessadas, de informações sobre mudanças climáticas pelas empresas de mineração. A finalidade é de sinalizar aos stakeholders os riscos, bem como as oportunidades associados ao clima. A transparência nesse sentido pode não apenas melhorar a reputação das empresas, mas também fortalecer sua posição no mercado e valor da marca: o que se aplica não tão somente à indústria minerária chinesa, como pode se aplicar às empresas de mineração de uma forma global.

Em termos teóricos importantes, os autores estabelecem no artigo um modelo básico para testar os impactos dos riscos das mudanças climáticas no desempenho financeiro das empresas de mineração na China. O autor define a variável independente como

o Índice de Risco Climático Abrangente (CRI) e a variável dependente como o Retorno sobre Ativos Totais (ROA), que é utilizado como medida de desempenho financeiro das empresas. O autor descreve a relação entre o CRI e o ROA, indicando como as mudanças nos riscos climáticos podem influenciar o desempenho financeiro das empresas de mineração na China. Abaixo descreveremos melhor a metodologia utilizada para a avaliação quantitativa do desempenho financeiro das empresas:

CRI (Comprehensive Climate Risk Index): Índice abrangente de risco climático, que é composto por cinco índices de desastres meteorológicos ponderados e normalizados. Os cinco índices são:

- Índice de Inundação por Chuvas (CYRI)
- Índice de Seca (CYDI)
- Índice de Tufão (CYTI)
- Índice de Alta Temperatura (CYHI)
- Índice de Congelamento Criogênico (CYFI)

ROA (Return on Assets): Retorno sobre Ativos, utilizado como variável dependente para avaliar o desempenho financeiro das empresas.

Outros termos e variáveis nos cálculos incluem:

- Debtas: Índice de estrutura de capital (Asset-liability ratio)
- Totalin: Total de ativos
- Size: Tamanho da empresa
- Holder: Detentor de ações
- Ownership: Propriedade
- PGDP: Produto Interno Bruto per capita
- Finance: Desenvolvimento financeiro
- Humanresource: Recursos humanos

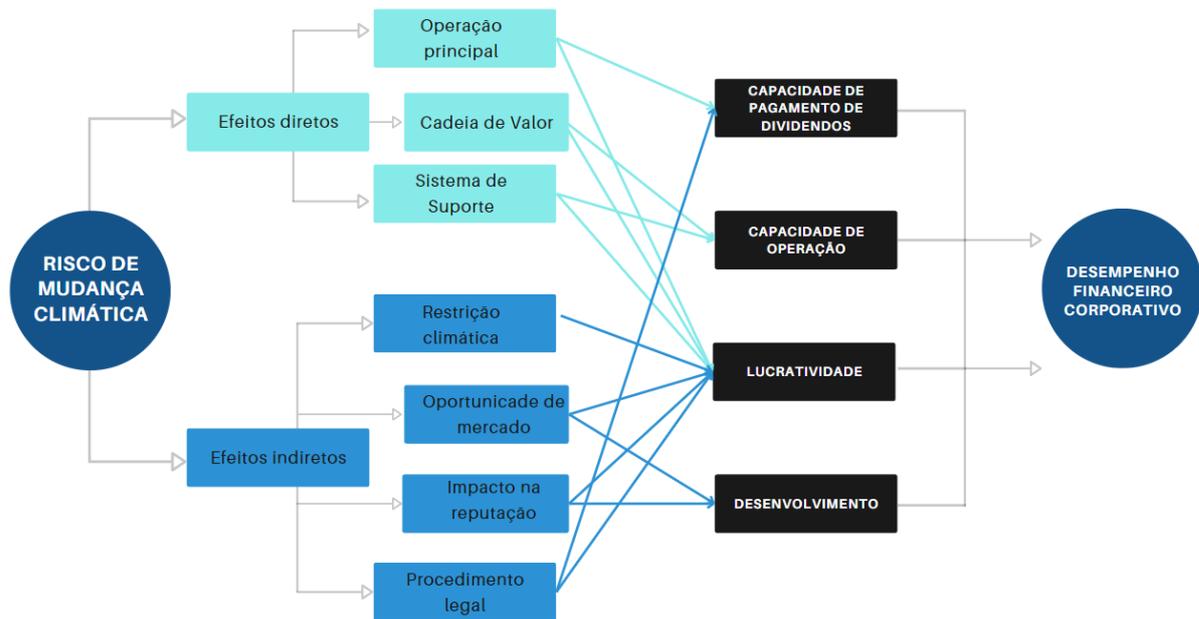
No estudo, são realizadas análises de regressão para avaliar o impacto dos riscos climáticos na performance financeira das empresas de mineração listadas na China. Os resultados das regressões mostram que o impacto do índice abrangente de risco climático (CRI) na performance financeira das empresas de mineração listadas não é significativo. Isso pode ser devido aos efeitos compensatórios entre diferentes tipos de riscos climáticos, onde alguns podem ser positivos e outros negativos.

Além disso, o estudo final também considera índices de risco climático subdivididos, como o índice de Inundação por Chuvas (CYRI), Índice de Seca (CYDI), Índice de Tufão (CYTI), Índice de Alta Temperatura (CYHI) e Índice de Congelamento Criogênico (CYFI), para analisar de forma mais específica o impacto desses riscos na performance financeira das empresas de mineração.

As conclusões apontam para a necessidade de considerar os diferentes tipos de riscos climáticos e suas interações ao avaliar o impacto na performance financeira das empresas de mineração. A subdivisão dos índices de risco climático pode fornecer insights mais detalhados sobre como esses fatores afetam as empresas e orientar estratégias de gestão de riscos mais eficazes.

Além disso, o autor apresenta, também, um fluxograma simplificado e acessível que ilustra visualmente como os riscos e impactos das mudanças climáticas afetam o desempenho financeiro das empresas de mineração. O fluxograma foi traduzido e representado na Figura 1.

Figura 1: Impacto do risco das mudanças climáticas no desempenho financeiro corporativo.



Fonte: Sun et al (2020)

Por fim, o estudo destaca a necessidade de expandir as amostras de empresas de mineração analisadas, especialmente considerando a relevância crescente das questões climáticas – visto que a amostragem ainda pode representar com maior robustez estes impactos diretos e indiretos. A pesquisa aponta para a importância de as empresas cumprirem suas responsabilidades de redução de emissões, aproveitarem políticas do governo chinês de apoio à economia de baixo carbono e se adaptarem às demandas do mercado por práticas mais sustentáveis.

Em suma, o estudo de Sun et al. (2020) e colaboradores destaca a interseção entre mudanças climáticas e desempenho financeiro das empresas de mineração na China, enfatizando a necessidade de ações proativas e estratégias de adaptação para garantir a sustentabilidade e competitividade do setor no contexto atual de transição para uma economia mais verde. Algumas das ações sugeridas pelos autores são as seguintes:

- Adoção de tecnologias de baixo carbono e transição para fontes de energia mais limpas.
- Implementação de um sistema nacional de comércio de emissões e internalização dos custos ambientais.

- Divulgação de informações sobre mudanças climáticas para stakeholders.
- Cumprimento das responsabilidades de redução de emissões e aproveitamento de políticas de apoio à economia de baixo carbono.
- Adaptação às demandas do mercado por práticas mais sustentáveis.

3 ARTIGO 2: MINERAÇÃO E MUDANÇA CLIMÁTICA: RUMO A UMA ESTRATÉGIA PARA A INDÚSTRIA.

O artigo "Mining and Climate Change: Towards a Strategy for the Industry" de Ricardo Irarrázabal, publicado no *Journal of Energy & Natural Resources Law*, aborda de forma detalhada a interação entre a indústria de mineração e as questões relacionadas às mudanças climáticas. Irarrázabal (2016) destaca a importância de desenvolver estratégias específicas para que o setor minerador possa lidar de maneira eficaz com os desafios impostos pelas mudanças climáticas.

Irarrázabal (2006) ressalta que a indústria de mineração é bastante intensiva em consumo de energia e emite uma quantidade significativa de gases responsáveis pelo agravamento do efeito estufa, contribuindo assim para o agravamento do aquecimento global. O autor destaca a necessidade de as empresas mineradoras adotarem medidas para reduzir suas emissões de gases de efeito estufa e minimizar seu impacto ambiental, o que é consensual e apresenta-se como ponto comum entre todos os estudos.

Dentre essas necessidades, o autor discute a importância de considerar os princípios da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (UNFCCC) e do Protocolo de Kyoto ao desenvolver estratégias para a indústria de mineração. Irarrázabal (2006) enfatiza a necessidade de as empresas cumprirem os compromissos de redução de emissões estabelecidos no Protocolo de Kyoto e de buscarem formas de tornar suas operações mais sustentáveis.

Além de destacar tais necessidades de adoção de medidas, o artigo também aborda a questão da responsabilidade diferenciada dos países em relação às mudanças climáticas, destacando a importância de considerar as diferentes contribuições históricas de gases de efeito estufa e os níveis de desenvolvimento de cada nação. Ou seja, cada país tem um impacto distinto, dado o seu nível de industrialização e participação no mercado minerário. Ele argumenta que um arcabouço legal eficaz sobre mudanças climáticas deve levar em conta essas disparidades e promover a justiça ambiental.

Além disso, o autor discute a aplicação de princípios como o da precaução e o do "poluidor-pagador" no contexto das políticas de mudança climática para a indústria de mineração. Ele ressalta a importância de agir de forma proativa para evitar danos ambientais irreversíveis e de responsabilizar os poluidores pelos impactos de suas atividades.

O princípio do "poluidor-pagador", mencionado no texto de Ricardo Irarrázabal, é um conceito fundamental da política ambiental que estabelece que aqueles que causam danos ao meio ambiente devem arcar com os custos associados à poluição ou degradação ambiental que geraram. Em outras palavras, os poluidores são responsáveis por pagar pelos impactos negativos que suas atividades causam ao meio ambiente.

O princípio do poluidor-pagador, citado anteriormente, apresenta-se deveras interessante: visa internalizar os custos ambientais nas atividades econômicas, incentivando as empresas e indivíduos a adotarem práticas mais sustentáveis e a reduzirem sua pegada ambiental. Ao responsabilizar os poluidores pelos danos ambientais que causam, o princípio do poluidor-pagador busca promover a prevenção da poluição, a proteção dos recursos naturais e a promoção do desenvolvimento sustentável.

No contexto da indústria de mineração e das mudanças climáticas, o princípio do poluidor-pagador implica que as empresas mineradoras devem assumir a responsabilidade por suas emissões de gases de efeito estufa e pelos impactos ambientais de suas operações. Isso pode envolver o pagamento de taxas, multas ou compensações, bem como a implementação de medidas para reduzir as emissões e mitigar os impactos ambientais.

Em resumo, o princípio do poluidor-pagador busca garantir que aqueles que poluem ou degradam o meio ambiente sejam responsabilizados financeiramente por seus atos, incentivando a adoção de práticas mais sustentáveis e contribuindo para a proteção do meio ambiente e a promoção da sustentabilidade. Fazendo um contraponto a Sun et. al (2020) este princípio da justiça ambiental também afeta diretamente o exercício financeiro das empresas de mineração.

No estudo de Irarrázabal (2006) sobre a indústria de mineração e as mudanças climáticas, algumas ações específicas são mencionadas como estratégias para lidar com os desafios ambientais e reduzir as emissões de gases de efeito estufa:

- Implementação de medidas de eficiência energética nas operações de mineração para reduzir o consumo de energia e as emissões de gases de efeito estufa.
- Adoção de tecnologias mais limpas e sustentáveis na extração e processamento de minérios para minimizar o impacto ambiental.
- Investimento em fontes de energia renovável para reduzir a dependência de combustíveis fósseis e diminuir as emissões de carbono.

- Participação em programas de compensação de carbono e projetos de reflorestamento para neutralizar as emissões de gases de efeito estufa.
- Colaboração com outras indústrias e stakeholders para desenvolver soluções inovadoras e compartilhar melhores práticas ambientais.

Os resultados específicos obtidos com a implementação dessas ações incluem:

- Redução significativa das emissões de gases de efeito estufa associadas às operações de mineração.
- Melhoria da imagem e reputação da empresa no que diz respeito à responsabilidade ambiental e sustentabilidade (como um fator importante, também citado anteriormente no estudo de Sun et al. (2020)).
- Redução dos custos operacionais a longo prazo devido à eficiência energética e à adoção de práticas mais sustentáveis.
- Cumprimento das regulamentações ambientais e compromissos internacionais relacionados às mudanças climáticas.
- Contribuição para a mitigação dos impactos das mudanças climáticas e para a promoção de um desenvolvimento mais sustentável na indústria de mineração.

Essas ações e resultados específicos demonstram a importância de as empresas do setor minerador adotarem uma abordagem proativa e responsável em relação às questões ambientais e climáticas, visando não apenas a conformidade regulatória, mas também a sustentabilidade a longo prazo de suas operações.

Em suma, em linhas gerais, na conclusão do estudo de Ricardo Irarrázabal (2006) sobre a indústria de mineração e as mudanças climáticas, ele destaca a importância de as empresas do setor adotarem estratégias de CSR (Responsabilidade Social Corporativa) para enfrentar os desafios ambientais. Ele ressalta a necessidade de implementar ações como a participação em projetos de CDM (Mecanismo de Desenvolvimento Limpo) e JI (Implementação Conjunta) para reduzir as emissões de CHG (Gases de Efeito Estufa) e cumprir os compromissos do Protocolo de Kyoto. Irarrázabal (2006) enfatiza a relevância de se antecipar às regulamentações ambientais e de investir em tecnologias limpas para garantir a sustentabilidade e a competitividade da indústria de mineração no contexto das mudanças climáticas.

4 ARTIGO 3: AVALIAÇÃO DO IMPACTO DE EVENTOS POTENCIAIS DE PRECIPITAÇÃO EXTREMA NA MINERAÇÃO NO PERU. .

O terceiro estudo que se apresenta no presente trabalho, é o estudo realizado por Gonzalez et al. (2018), publicado no Journal of Mining Science, o paper teve como objetivo avaliar o impacto de eventos potenciais de precipitação extrema na mineração no Peru, considerando a influência das mudanças climáticas. Selecionamos este artigo também pela maior proximidade climática e em cultura de indústria mineral do Peru com o Brasi. A pesquisa destacou primordialmente a relevância de uma análise aprofundada e preditiva dos cenários climáticos futuros na sustentabilidade dos projetos de mineração, especialmente em um país tão vulnerável climaticamente como o Peru (no que diz respeito à sujeição maior às inundações, por exemplo).

Antes de especificar a metodologia utilizada, precisamos levar em consideração as seguintes informações: HadGEM2-ES trata-se de um modelo climático global desenvolvido pelo Met Office Hadley Centre, que combina o modelo atmosférico HadGEM2-ES com o modelo oceânico HadGEM2-ES. Este modelo é utilizado para simular projeções climáticas e estudar os efeitos das mudanças climáticas em diferentes regiões do mundo. GCM é a sigla para Global Climate Model, ou Modelo Climático Global. Que nada mais são do que modelos computacionais complexos que simulam o sistema climático da Terra, incluindo interações entre a atmosfera, oceanos, gelo marinho e terra. Os GCMs são utilizados para prever o clima futuro com base em diferentes cenários de emissões de gases de efeito estufa. Por fim, a sigla ETCCDI representa o Expert Team on Climate Change Detection and Indices, que é um grupo de especialistas que desenvolveu um conjunto de índices padronizados para monitorar e detectar mudanças climáticas e eventos extremos, como precipitação intensa, ondas de calor e secas. Esses índices são amplamente utilizados para avaliar a variabilidade climática e os impactos das mudanças climáticas em diferentes regiões.

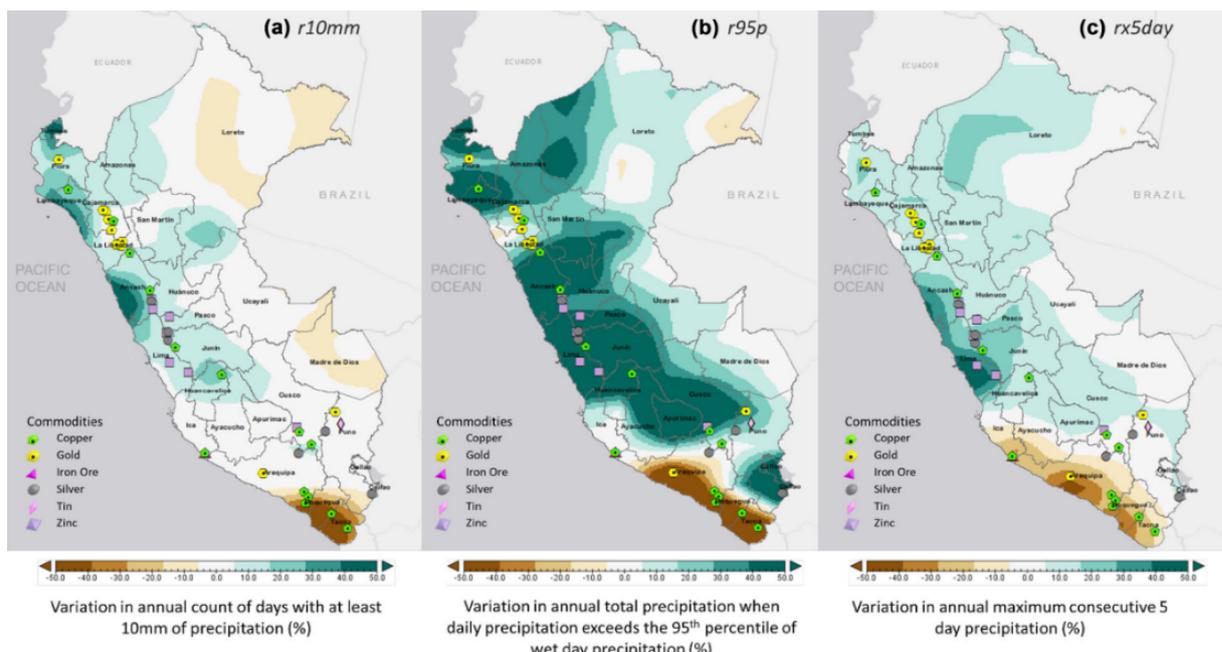
Portanto, tornando ao escopo geral do paper, Gonzales et. al (2018) utilizaram projeções climáticas downscaled do modelo HadGEM2-ES para analisar a variação de eventos de precipitação extrema em regiões mineiras específicas. É importante salientar que, no estudo foi ressaltado que as projeções climáticas não devem ser consideradas como previsões do clima futuro, devido à incerteza inerente nos dados de base e nas projeções

climáticas. A escolha do HadGEM2-ES como GCM e de cinco índices de precipitação ETCCDI como métricas foi justificada.

Além disso, os autores abordam os índices de precipitação, explicando como foram selecionados e como mudaram ao longo do tempo, identificando as regiões e os minérios mais afetados. Foram utilizados índices padronizados do Expert Team on Climate Change Detection and Indices (ETCCDI) para avaliar a variação dos eventos de precipitação extrema no Peru. Os índices selecionados incluem r10mm (número de dias com precipitação igual ou superior a 10 mm), r95p (número de dias muito úmidos) e rx5day (quantidade máxima de precipitação em 5 dias consecutivos).

As projeções climáticas indicam mudanças significativas nos índices de precipitação ao longo do período analisado (2015-2044 em comparação com 1971-2000). Regiões como Junin, Pasco e Ancash, que possuem reservas consideráveis de prata e zinco, apresentam um aumento de mais de 30% nos índices de r95p. Por outro lado, regiões como Tacna, Arequipa e Moquegua, que abrigam a maioria das reservas de cobre do Peru, mostram uma diminuição de 30-40% nos dias de precipitação intensa (r10mm) e de 30-50% nos dias muito úmidos (r95p).

Figura 2: Variação dos índices de precipitação ETCCDI no Peru no período de 2015-2044 em comparação com 1971-2000: (a) r10mm, (b) r95p e (c) rx5day. Dias de precipitação intensa (r10mm), dias muito úmidos (r95p) e quantidade máxima de precipitação em 5 dias (rx5day) são indicadas em porcentagem.



Fonte: Gonzalez et al (2020)

Em relação aos minérios mais afetados, projetos de mineração envolvendo zinco, prata e ouro são os mais propensos a serem expostos a variações nos índices de precipitação. No entanto, as regiões do sul do Peru, onde o cobre é o minério mais importante, são as mais propensas a experimentar uma diminuição na precipitação extrema. Isso é particularmente relevante para regiões como Tacna, Arequipa e Moquegua, que podem enfrentar condições mais secas no futuro devido às mudanças nos padrões de precipitação.

Os resultados obtidos indicaram que a variação de eventos de precipitação extrema pode impactar significativamente a mineração no Peru. Foi sugerido que futuras pesquisas se concentrem no desenvolvimento de uma metodologia prática para avaliar as perdas de produtividade associadas a esses eventos. A análise de dados históricos de precipitação e produção foi apontada como essencial para estimar os impactos operacionais e as perdas.

Além disso, o estudo destacou a importância de considerar eventos de precipitação extrema desde a fase de viabilidade até o fechamento da mina, visando quantificar o impacto potencial desses eventos nas reservas de minério exploradas. Foi mencionado que a detecção da vulnerabilidade de regiões mineiras a eventos de precipitação extrema fornece informações relevantes para empresas de mineração e órgãos governamentais responsáveis pela regulação e promoção das atividades mineradoras.

Em termos de recomendações, os autores sugeriram que as empresas e instituições governamentais adotem medidas preventivas para se preparar para os impactos das mudanças climáticas e eventos climáticos extremos no futuro. Foi ressaltada a importância de uma abordagem cautelosa ao interpretar os resultados, considerando as incertezas inerentes aos modelos climáticos globais e regionais.

Em suma, o estudo forneceu uma abordagem inovadora para identificar a variação de eventos de precipitação extrema associados a um clima em mudança na indústria de mineração no Peru. A pesquisa contribuiu para a compreensão dos potenciais impactos das mudanças climáticas na mineração e ressaltou a necessidade de avaliar a vulnerabilidade das regiões mineiras a eventos climáticos extremos para garantir a continuidade dos projetos ao longo do tempo.

5 ARTIGO 4: MINERAÇÃO E MUDANÇA CLIMÁTICA: UMA REVISÃO E ESTRUTURA PARA ANÁLISE.

O artigo “Mining and climate change: A review and framework for analysis” de Odell et. al (2018), publicado na revista *The Extractive Industries and Society* aborda a interseção entre mudanças climáticas e atividades de mineração, com foco em como esses aspectos impactam comunidades e ambientes. O estudo se baseia em um *framework* que busca analisar as relações entre mineração, mudanças climáticas e as respostas a esses desafios.

Os autores do estudo escolheram o Chile como caso de estudo devido à familiaridade dos próprios pesquisadores com o país, a indústria chilena e, também, devido à disponibilidade de dados necessários. As fontes de dados incluem mapas administrativos do Chile e globais do “DIVA-GIS”, dados de minas do SERNAGEOMIN, dados de temperatura e precipitação atuais e futuros de Fick e Hijmans, bem como de Hijmans et al., e o modelo HadGEM2-ES GCM.

O artigo destaca a importância de pesquisas baseadas em evidências para lidar com a intensidade energética e hídrica da mineração em grande escala, especialmente em comunidades onde os recursos são escassos. Os autores também mencionam a necessidade de mais pesquisas sobre como as mudanças climáticas afetam a mineração em diferentes escalas espaciais e destaca a falta de literatura sobre as relações entre mineração e mudanças climáticas em países não pertencentes à OCDE ou BRICS.

O estudo realizou uma revisão sistemática e focada da literatura, identificando artigos que abordam diretamente as relações entre mineração e mudanças climáticas. Foram identificados padrões gerais na literatura revisada, com ênfase em países como Austrália e Canadá. O artigo também discute a falta de uma pesquisa consolidada nesse campo e destaca a importância de preencher as lacunas existentes.

O artigo apresenta gráficos que mostram o número de artigos identificados por tipo de relação de framework, por ano de publicação e por país de foco. Além disso, discute a necessidade de mais pesquisas para entender e lidar com os impactos das mudanças climáticas na mineração e destaca a importância de um debate informado e baseado em evidências nesse campo.

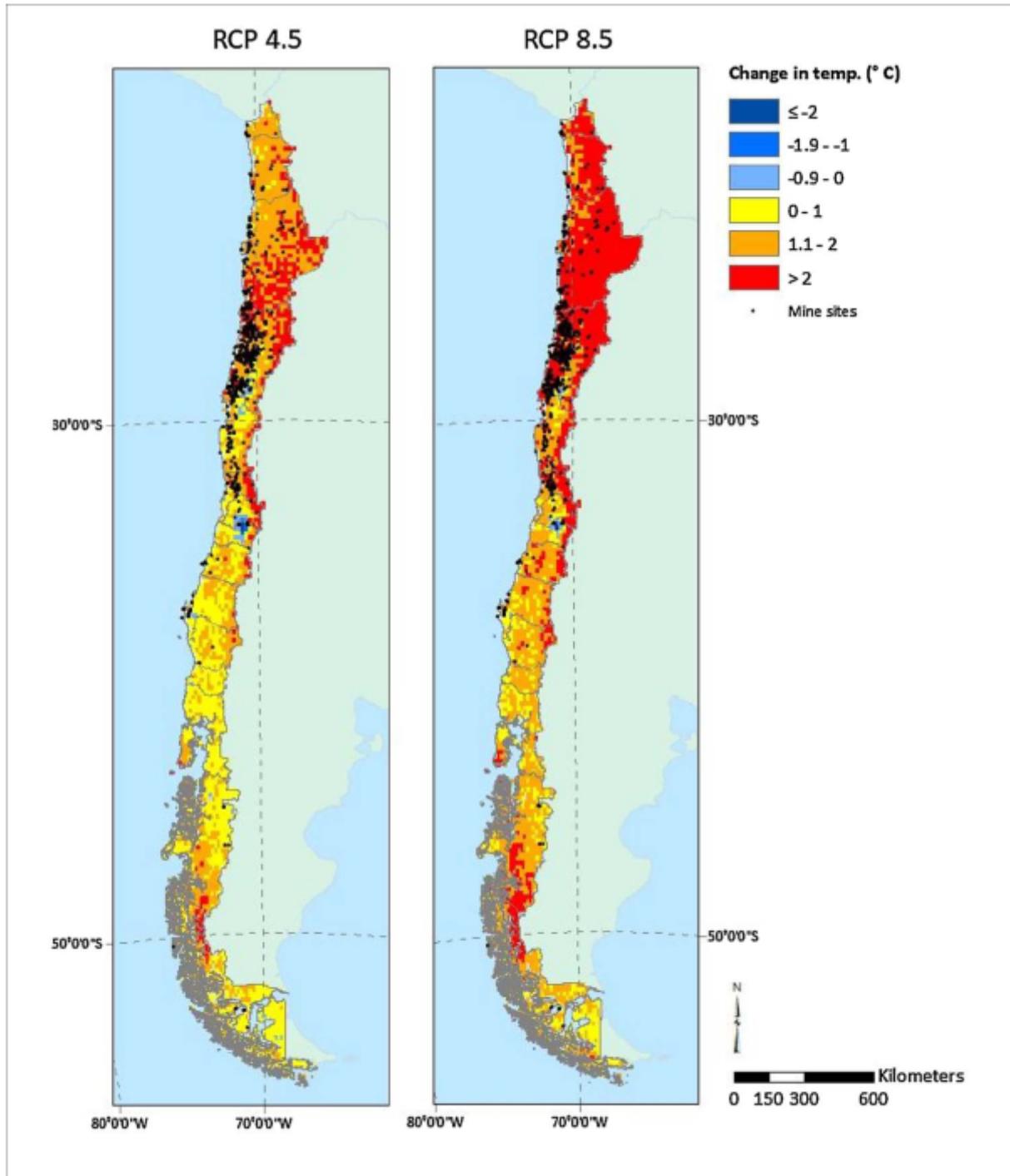
Para sermos mais específicos quanto aos resultados e gráficos obtidos durante

o estudo, tais resultados abordam diretamente a relação entre mudanças climáticas e mineração no Chile. O artigo destaca a importância do Chile como o maior produtor de cobre do mundo e a relevância do setor de mineração para a economia do país. O texto menciona que a mineração no Chile é concentrada em regiões áridas, especialmente do norte do país, que são algumas das áreas mais secas da Terra, resultando em escassez de recursos hídricos e conflitos com comunidades locais.

Há uma discussão em como pequenas mudanças climáticas nessas regiões de mineração podem ter consequências severas para as operações de mineração, comunidades locais e o meio ambiente. Para tanto, são apresentadas projeções de mudanças na temperatura média anual e na precipitação anual total no Chile até 2050, considerando dois cenários do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC): RCP 4.5 e RCP 8.5.

Os gráficos apresentados mostram que a maioria das minas no Chile experimentará um aumento na temperatura média anual entre 1 e 3 °C até 2050 sob o cenário RCP 4.5, e entre 1 e 4 °C sob o cenário RCP 8.5. Além disso, as projeções indicam um leve aumento na precipitação na maioria das minas sob ambos os cenários. O texto ressalta que as mudanças na precipitação são difíceis de prever e que até mesmo alterações menores podem ter impactos significativos em regiões extremamente secas, como o Deserto do Atacama (Odell et. al, 2018).

Figura 3: Projeção de mudança na temperatura média anual no Chile até 2050 e locais de mineração. Esses mapas mostram a mudança projetada na temperatura média anual em relação aos níveis atuais (1970-2000) até 2050. Os níveis anuais são calculados pela média das temperaturas máximas e mínimas de cada mês, somando-as e dividindo por doze. As projeções utilizam dados do CMIP5, especificamente o modelo HadGEM2-ES. Os locais de mineração representam minas subterrâneas e a céu aberto de pequena, média e grande escala em operação em 2011 ou 2012, dependendo da fonte de dados.

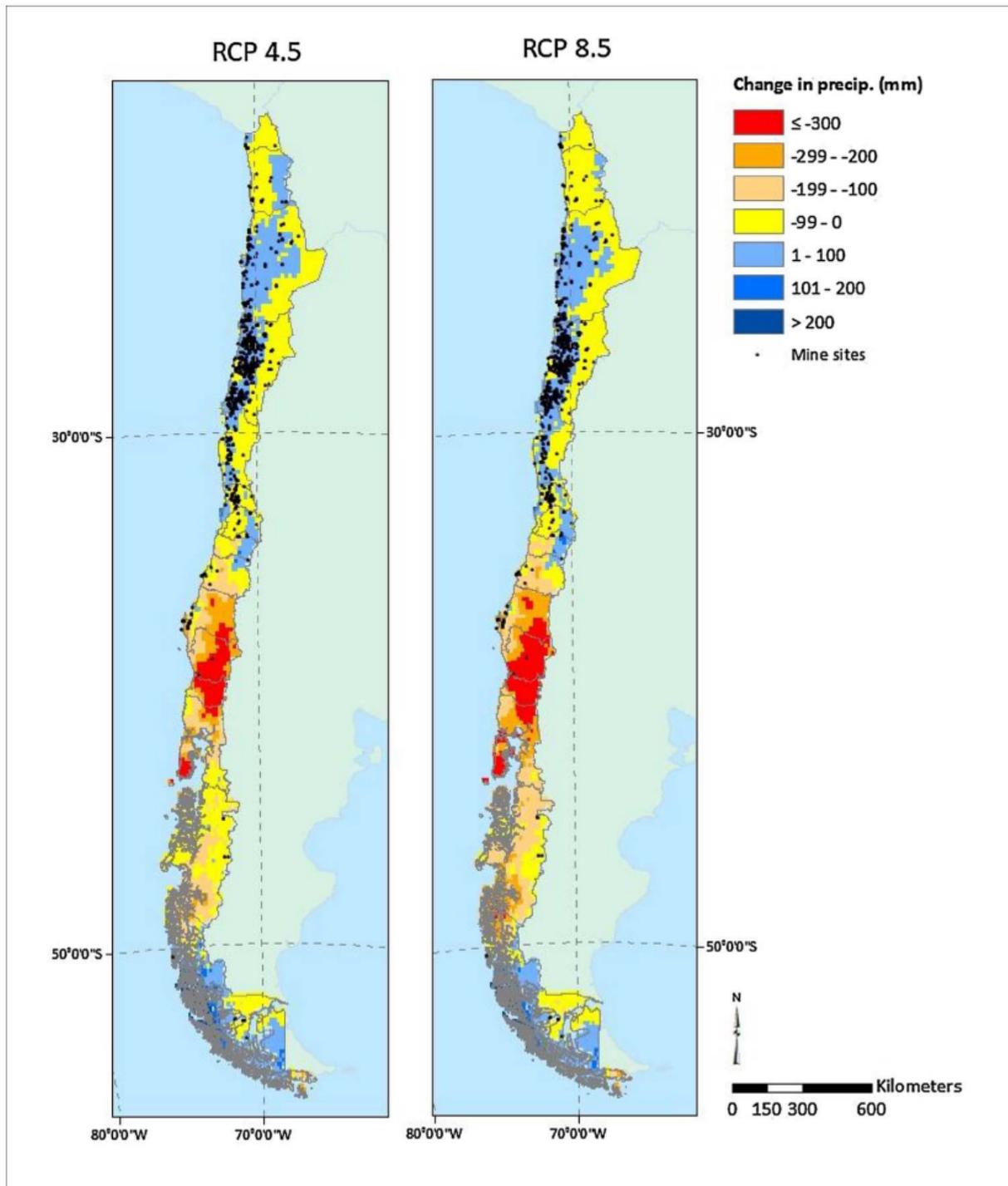


Fonte: Odell et al (2018)

Outro ponto que é tecnicamente discutido no artigo é de como o aumento das temperaturas pode acelerar o derretimento de geleiras ao longo da cordilheira dos Andes no Chile, afetando a disponibilidade de água no país. Odell et al. (2018) destacam a importância de compreender as interações físicas e sociais entre as mudanças climáticas e a mineração, considerando processos socioeconômicos, práticas industriais, políticas públicas, percepções públicas e resultados físicos reais.

Além das projeções de mudanças de temperatura, Odell et. al (2018) apresentam as mudanças na precipitação anual média no Chile até o ano de 2050. O estudo demonstra as mudanças previstas na precipitação anual média em relação aos níveis atuais (1970-2000) para as áreas onde as minas estão localizadas no país durante os anos de 2011 e 2012.

Figura 4: Locais de mineração e mudança projetada na precipitação média anual no Chile até 2050. Os mapas representam a mudança projetada na precipitação média anual em relação aos níveis atuais (1970-2000) até 2050. Os níveis anuais são calculados somando os níveis médios mensais de precipitação. As projeções utilizam dados do CMIP5, especificamente o modelo HadGEM2-ES. Os locais de mineração representam minas subterrâneas e a céu aberto de pequena, média e grande escala em operação em 2011 ou 2012, dependendo da fonte de dados.



Fonte: Odell et al (2018)

A análise da figura 4 revela o seguinte: A figura indica as mudanças projetadas na precipitação anual média, mostrando se haverá um aumento ou diminuição em relação aos níveis atuais. Essas projeções são fundamentais para entender como as mudanças climáticas podem afetar a disponibilidade de água nas regiões de mineração no Chile.

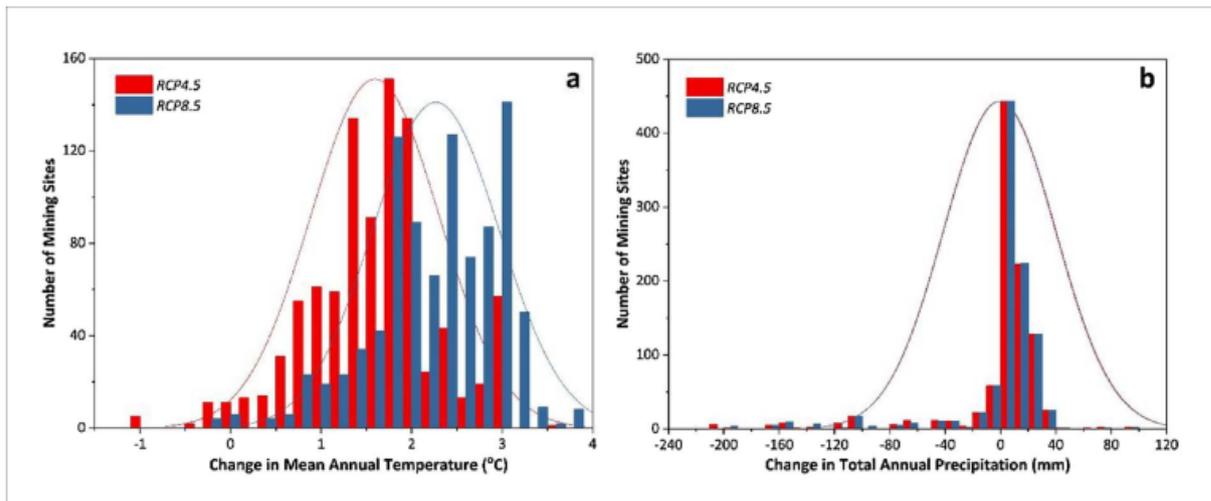
Além disso, a imagem fornece uma representação espacial das projeções de mudanças na precipitação, destacando as áreas onde as minas estão localizadas e como essas áreas podem ser afetadas pelas mudanças climáticas. Isso ajuda a visualizar as regiões que podem enfrentar desafios relacionados à disponibilidade de água no futuro.

Ao sobrepor as projeções de mudanças na precipitação com a localização das minas, a Figura 4 permite avaliar como as operações de mineração podem ser impactadas pelas mudanças no regime de precipitação. Isso é crucial para entender os potenciais desafios que as empresas de mineração podem enfrentar em termos de gestão da água.

É importante salientar que as projeções obtidas são baseadas em diferentes cenários de emissões, como RCP 4.5 e RCP 8.5, que representam trajetórias otimistas e pessimistas de concentração de gases de efeito estufa. Esses cenários ajudam a fornecer insights sobre os possíveis impactos das mudanças climáticas na precipitação no Chile.

Para além dos gráficos demonstrados nas figura 3 e 4, outro resultado importante apresentado no paper trata-se de um histograma de frequência que mostra o número de minas no Chile que se espera que experimentem determinadas mudanças na temperatura média anual e na precipitação anual total até 2050. A figura é dividida em duas partes: a parte (a) refere-se às mudanças na temperatura média anual e a parte (b) refere-se às mudanças na precipitação anual total.

Figura 5: Número de locais de mineração no Chile projetados para experimentar uma mudança específica na temperatura média anual (a) e na precipitação anual (b) até 2050.



Fonte: Odell et al (2018)

A análise da Figura 5 demonstra que a maioria das minas no Chile está prevista para experimentar um aumento na temperatura média anual entre 1 e 3 °C até 2050 sob o cenário RCP 4.5, e entre 1 e 4 °C sob o cenário RCP 8.5. Em relação à precipitação anual total, a figura indica um leve aumento na maioria das minas sob ambos os cenários.

É importante notar que as projeções apresentadas na Figura 5 são baseadas em dois cenários do IPCC: RCP 4.5, que representa um cenário otimista com um aumento de 4.5 W/m² na energia adicionada à atmosfera até 2100, e RCP 8.5, que representa um cenário pessimista com um aumento de 8.5 W/m² na energia atmosférica (Odell et. al., 2018).

Em suma, a partir dos dados obtidos por instituições mencionadas no artigo (as quais incluem o SERNAGEOMIN, Cartografía Rulamahue, CSIRO, ICM, entre outras) foram gerados gráficos no estudo que fornecem insights sobre a distribuição geográfica e temporal dos estudos revisados, destacando a relevância da mineração e das mudanças climáticas em diferentes contextos regionais e nacionais.

6 ARTIGO 5: ADAPTAÇÃO PRIVADA AOS RISCOS CLIMÁTICOS: EVIDÊNCIAS DAS MAIORES EMPRESAS DE MINERAÇÃO DO MUNDO.

O artigo de Gustafsson et al. (2022) aborda especialmente a adaptação das maiores empresas de mineração do mundo às mudanças climáticas, destacando a importância do setor mineral na transição para uma economia de baixo carbono. O estudo utiliza um conjunto de dados original sobre as respostas de adaptação de 37 grandes empresas de mineração, com foco na integração de riscos climáticos em suas operações e infraestrutura.

O trabalho destaca que a maioria das empresas investigadas implementou procedimentos para avaliar os impactos climáticos em suas operações, integrar riscos climáticos na governança da água e adaptar sua infraestrutura. Os resultados explicativos indicam que a adaptação privada é impulsionada principalmente por pressões de investidores, em vez de regulamentações domésticas e sociedade civil. Isso sugere que as empresas raramente se envolvem em respostas de adaptação orientadas para a comunidade, cooperando com as comunidades locais de maneiras que beneficiariam essas comunidades.

O estudo utiliza uma abordagem teórica baseada em análises quantitativas e qualitativas de documentos, estudos de caso aprofundados e entrevistas semiestruturadas. Para identificar e mapear as respostas de adaptação privada, os pesquisadores criaram um conjunto de dados com base nas atividades de adaptação climática das 37 maiores empresas de mineração do mundo em 2019. Eles analisaram documentos corporativos, como relatórios anuais, relatórios de sustentabilidade e relatórios de iniciativas como o Carbon Disclosure Project.

Dentre as análises feitas, os autores avaliaram também as pressões regulatórias sofridas pelas empresas de mineração envolvidas no estudo. Essas pressões referem-se às exigências e restrições impostas pelos governos e autoridades locais às empresas de mineração em relação à adaptação às mudanças climáticas. Segundo Gustafsson et. al. (2022) essas pressões podem incluir:

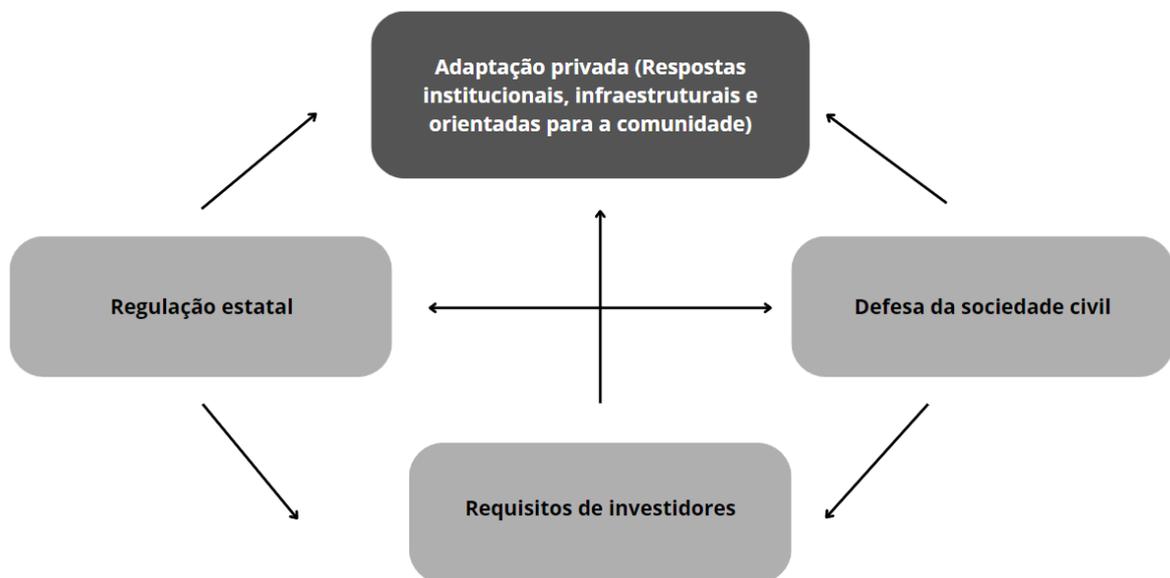
- Requisitos de avaliação de impacto ambiental: Regulamentações que exigem que as empresas realizem avaliações detalhadas dos impactos ambientais de suas operações, incluindo os riscos climáticos associados.
- Restrições de uso de recursos naturais: Regulamentações que limitam a quantidade

de recursos naturais que as empresas podem extrair, visando proteger ecossistemas sensíveis e garantir a sustentabilidade a longo prazo.

- Normas de segurança e infraestrutura: Regulamentações que estabelecem padrões de segurança e infraestrutura para garantir que as operações de mineração sejam resilientes aos impactos das mudanças climáticas, como eventos climáticos extremos.
- Requisitos de transparência e prestação de contas: Regulamentações que exigem que as empresas divulguem informações sobre seus planos de adaptação, investimentos em resiliência climática e impactos nas comunidades locais.

Essas pressões regulatórias podem variar de acordo com o país e a região, sendo mais rigorosas em algumas jurisdições do que em outras. A falta de pressões regulatórias consistentes e eficazes pode levar as empresas a priorizarem o lucro e o crescimento dos negócios em detrimento da proteção do meio ambiente e das comunidades locais contra os riscos climáticos. Portanto, a presença e a força das pressões regulatórias desempenham um papel fundamental na orientação das práticas de adaptação das empresas de mineração.

Figura 6: Figura traduzida pela autora: Visualização do quadro analítico.



Fonte: Gustafsson et al (2022)

A respeito das questões regulatórias, a figura 6 representa um modelo conceitual que ilustra a interação entre essas pressões, as respostas de adaptação das empresas de

mineração e os impactos nas comunidades locais em relação às mudanças climáticas. A figura pode ser uma representação visual das seguintes relações: As regulamentações governamentais e as políticas de governança ambiental influenciam diretamente nas práticas e decisões das empresas de mineração em relação à adaptação às mudanças climáticas. Isso pode incluir a imposição de requisitos legais, normas de segurança e transparência, entre outros. As ações e estratégias que as empresas de mineração adotam para lidar com os riscos climáticos, como a implementação de tecnologias mais sustentáveis, a redução do consumo de recursos naturais e a melhoria da resiliência das operações também são fatores de grande importância.

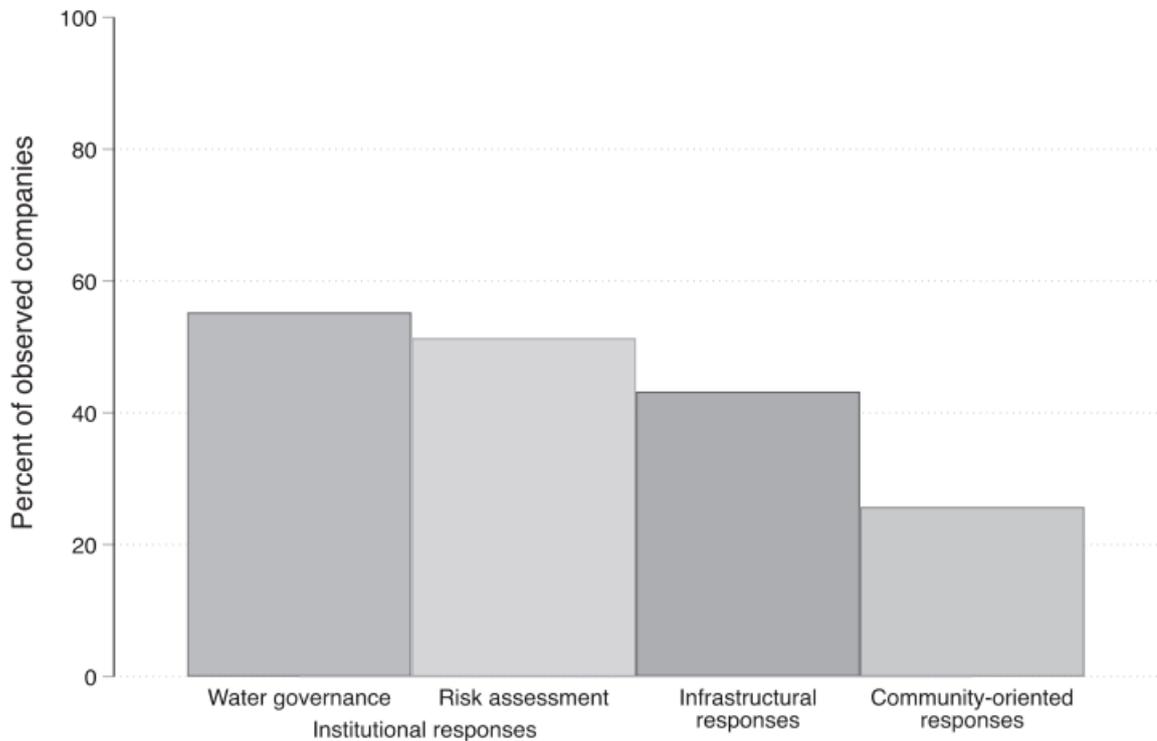
Além de avaliar as pressões regulatórias e seus impactos, Gustafsson et al.(2022) também realiza uma análise das respostas de adaptação das 37 maiores empresas de mineração do mundo. Essa análise envolve a identificação e categorização das respostas de adaptação em três tipos principais: 1) respostas institucionais, 2) respostas infraestruturais e 3) respostas orientadas para a comunidade.

As respostas institucionais podem incluir a governança da água, como a integração de riscos climáticos nos procedimentos de medição e monitoramento do consumo de água, bem como o estabelecimento de metas para reduzir o consumo de água. As respostas infraestruturais podem abranger a adaptação da infraestrutura das empresas para lidar com os impactos das mudanças climáticas, como investimentos em tecnologias mais sustentáveis e eficientes.

Já as respostas orientadas para a comunidade referem-se às iniciativas que visam melhorar a capacidade adaptativa das comunidades locais afetadas pelas operações de mineração. Embora algumas empresas relatem a realização de iniciativas de adaptação voltadas para as comunidades, muitas vezes esses esforços são pontuais e não fazem parte de uma estratégia sistemática.

A análise dessas respostas de adaptação das empresas de mineração, obtidas por Gustafsson et al.(2022) fornece insights sobre como elas estão abordando os desafios climáticos em suas operações e em suas relações com as comunidades locais. Além disso, essa análise pode revelar lacunas e oportunidades para aprimorar as práticas de adaptação no setor de mineração e promover uma abordagem mais integrada e sustentável em relação às mudanças climáticas.

Figura 7: Percentual de empresas adotando tipos específicos de respostas de adaptação. Notas: N = 37. Com base em uma análise de documentos usando relatórios das empresas.



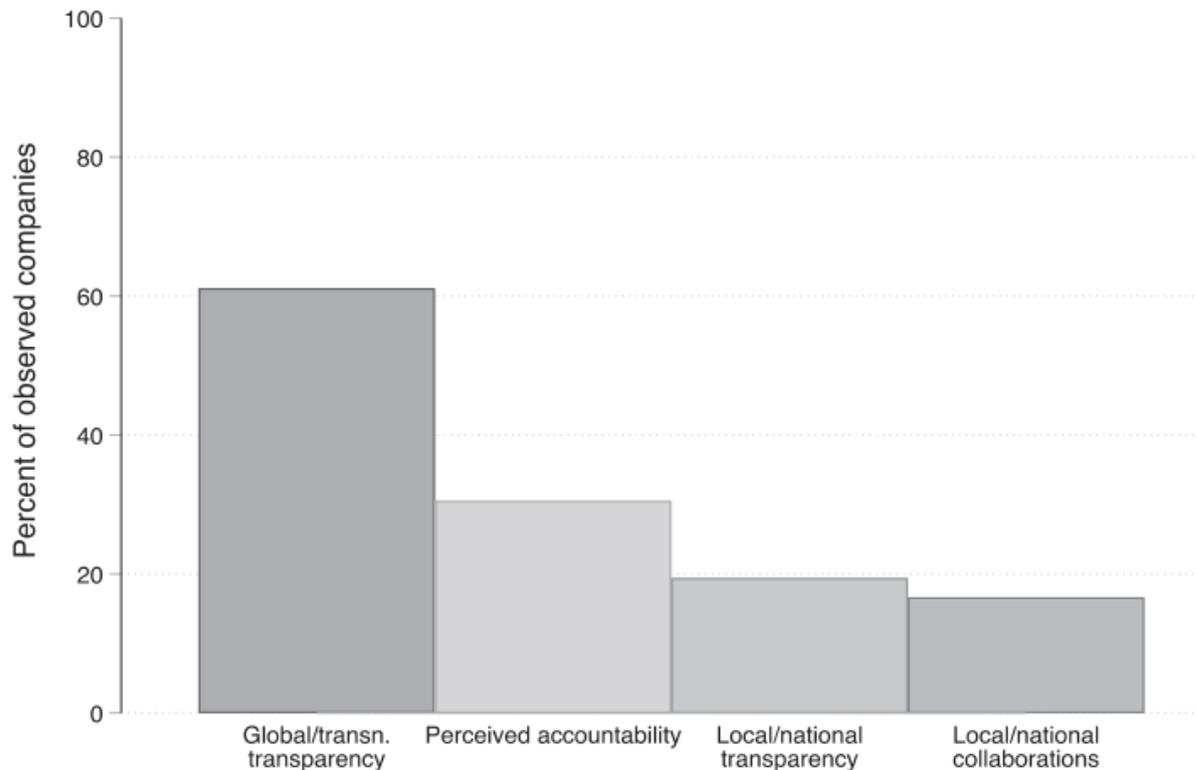
Fonte: Gustafsson et al (2022)

O gráfico da Figura 7 apresenta as diferentes respostas de adaptação das empresas de mineração em relação aos riscos climáticos (GUSTAFSSON ET AL., 2022). Ele mostra a distribuição percentual das empresas que adotaram cada tipo de resposta de adaptação: governança da água, avaliações de riscos, respostas infraestruturais e respostas orientadas para a comunidade.

A partir do gráfico, é possível observar que a resposta mais comum entre as empresas estudadas é a governança da água, com cerca de 55% das empresas adotando essa abordagem. Em seguida, as avaliações de riscos são adotadas por aproximadamente 51% das empresas, seguidas pelas respostas infraestruturais, com cerca de 43% de adoção, e as respostas orientadas para a comunidade, com cerca de 26% de adoção.

Além disso, o gráfico destaca que oito das 37 empresas estudadas adotaram todos os quatro tipos de respostas de adaptação, enquanto 16 empresas adotaram pelo menos dois tipos de resposta. Por outro lado, 18 empresas não adotaram nenhum dos tipos de resposta analisados.

Figura 8: Percentual de empresas adotando respostas responsáveis e transparentes. Notas: N = 37. Baseado em uma análise de documentos usando relatórios das empresas.



Fonte: Gustafsson et al (2022)

A Figura 8 apresenta a distribuição das respostas de adaptação das empresas de mineração em relação aos riscos climáticos, categorizadas em três tipos: respostas institucionais, respostas infraestruturais e respostas orientadas para a comunidade. Cada tipo de resposta é subdividido em diferentes estratégias específicas adotadas pelas empresas.

Por fim, em resumo, os resultados detalhados mostram que, embora 61% das empresas tenham divulgado informações para investidores, apenas 19% compartilharam informações com as comunidades locais e agências governamentais. Apenas 17% das empresas relataram colaborações com atores locais e nacionais para abordar os riscos climáticos. Isso sugere que as empresas estão respondendo principalmente às preocupações dos investidores, em vez de buscar proteger as comunidades locais dos riscos climáticos (GUSTAFSSON ET AL., 2022).

A análise das respostas de adaptação privada destaca a importância da transparência e responsabilidade das empresas em relação às comunidades locais e governos. As figuras no artigo, como a Figura 8, analisam as qualidades das respostas de adaptação

privada, incluindo transparência local ou nacional, transparência global ou transnacional, responsabilidade percebida e colaborações locais ou nacionais.

Além disso, o estudo ressalta as limitações da autoavaliação das empresas em relação à adaptação privada, destacando a fragmentação, viés e falta de dados sobre investimentos em adaptação. A pesquisa também destaca a importância de diálogos significativos com as comunidades locais para abordar os riscos climáticos de forma eficaz.

Em suma, o artigo fornece insights valiosos sobre as respostas de adaptação privada das empresas de mineração e destaca a necessidade de maior transparência, responsabilidade e colaboração com as comunidades locais para enfrentar os desafios das mudanças climáticas.

7 DISCUSSÃO

No artigo de Sun et al. (2020) foi constatado que os riscos das mudanças climáticas podem afetar em diversos graus o desempenho financeiro das empresas de mineração listadas na China por meio de canais diretos e indiretos, de maneira positiva ou negativa. Uma conclusão interessante é de que o risco abrangente das mudanças climáticas tem um impacto positivo no desempenho financeiro do setor de exploração de petróleo e gás, por exemplo, no entanto, o risco de inundação causada por chuvas tem um impacto negativo no desempenho financeiro das empresas de mineração chinesas listadas no artigo. No mais, as inundações causadas por precipitações extremas podem atrapalhar as atividades de mineração e transporte do minério, levando a uma diminuição no desempenho financeiro das empresas. Por outro lado, verificou-se que para o cenário chinês, especificamente, o risco de seca representa, na verdade, um impacto positivo no desempenho financeiro das indústrias. Como sugestão de mitigação dos efeitos climáticos na indústria mineral chinesa, os autores sugerem que as empresas podem gerenciar ativamente os riscos das mudanças climáticas para melhorar seu desempenho financeiro por meio de várias maneiras: enfatizando que, em primeiro lugar, as empresas devem mudar seus conceitos tradicionais e reconhecer a importância dos riscos das mudanças climáticas no planejamento de seu desenvolvimento futuro, incluindo a construção de infraestrutura adequada. Em segundo lugar, as empresas devem cumprir suas responsabilidades de redução de emissões para evitar multas das autoridades e aproveitar políticas governamentais de apoio ao desenvolvimento de uma economia de baixo carbono, o que é uma realidade no cenário chinês. Por último, as empresas devem divulgar informações sobre mudanças climáticas aos stakeholders, incluindo consumidores, investidores e comunidades adjacentes aos empreendimentos, a fim de melhorar sua reputação e valor de marca no mercado.

No artigo de Gonzalez et al. (2018), uma abordagem é proposta para identificar a variação potencial de eventos de chuvas intensas associadas às mudanças climáticas para a indústria de mineração no Peru. O Peru foi selecionado como país de estudo devido à sua relevância como país minerador e vulnerabilidade histórica a eventos de chuvas intensas e enchentes. Os autores sugerem que as empresas de mineração nas regiões identificadas devem considerar as informações sobre as potenciais mudanças nos eventos de chuvas intensas em sua tomada de decisão para o projeto e planejamento de projetos de

mineração atuais e propostos. O estudo também destaca a necessidade de mais pesquisas sobre outros eventos climáticos extremos, como secas ou extremos de temperatura, no contexto da mineração no Peru e em outros países da América do Sul, como Chile ou Colômbia, e até mesmo o Brasil.

Em Irarrazábal (2006), o objetivo central do artigo foi investigar se as mudanças climáticas representam um desafio para a indústria de mineração e analisar as implicações que o quadro de mudanças climáticas traz para essa indústria. Concluiu-se que a indústria de mineração pode ser tanto uma emissora direta quanto uma emissora indireta de gases de efeito estufa, devido à sua condição de indústria intensiva em energia. Com isso em mente, é crucial considerar a resposta exigida do setor minerador para enfrentar esse desafio. Foi constatado que uma resposta adequada implicaria na formulação de estratégias de mudanças climáticas que podem ser articuladas em nível de empresa ou em nível de associações de mineração. Desta forma, seria possível incluir na estratégia tanto pequenas como novas empresas que ainda não estão preparadas para implementar medidas custosas para reduzir as emissões de gases de efeito estufa. Uma estratégia eficaz de mudanças climáticas deve incorporar não apenas medidas voltadas para o uso eficiente de energia ou o cumprimento de obrigações ambientais, mas também ações que capitalizem as oportunidades oferecidas pelo quadro legal. Princípios como o da precaução e do "poluidor-pagador" também são discutidos como fundamentais para promover ações proativas e responsabilizar os poluidores pelos impactos ambientais de suas atividades. Por fim, Irarrazábal (2016) destaca a importância de as empresas de mineração adotarem estratégias de Responsabilidade Social Corporativa (CSR), que incluem eficiência energética, adoção de tecnologias limpas e investimento em energias renováveis para reduzir emissões de gases de efeito estufa e contribuir para a sustentabilidade da indústria de mineração.

Já o estudo de Odell et al. (2018) oferece uma análise detalhada das interações entre mudanças climáticas e atividades de mineração no Chile. Ao examinar as projeções de temperatura e precipitação até 2050 sob diferentes cenários do IPCC, o artigo destaca os desafios iminentes que a indústria mineradora e as comunidades locais enfrentarão. Neste capítulo de discussão concentramos em explorar as implicações dessas projeções e como elas podem influenciar as práticas de mineração e as políticas de gestão ambiental.

O Chile, como maior produtor mundial de cobre, desempenha um papel crucial no

mercado global de mineração. No entanto, a concentração de operações de mineração em regiões áridas e semiáridas do país apresenta desafios significativos, especialmente diante das mudanças climáticas projetadas. As projeções indicam um aumento na temperatura média anual e variações na precipitação, o que pode agravar a escassez de recursos hídricos nessas áreas já vulneráveis. Os gráficos obtidos com os dados analisados pelos autores, revelam que a maioria das minas no Chile experimentará um aumento na temperatura média anual até 2050, com variações significativas dependendo do cenário de emissões considerado. Esse aumento de temperatura pode acelerar o derretimento das geleiras na cordilheira dos Andes, afetando diretamente a disponibilidade de água para as operações de mineração e para as comunidades que dependem desses recursos. Além da variação de temperatura, destacam-se igualmente as mudanças projetadas na precipitação anual média, ressaltando as áreas onde as minas estão localizadas. A sobreposição dessas projeções com a localização das minas permite uma avaliação mais precisa dos possíveis impactos das mudanças no regime de precipitação. Como mencionado por Odell et al. (2018), mesmo alterações menores na precipitação podem ter consequências significativas, especialmente em regiões extremamente secas como o Deserto do Atacama.

Além disso, o estudo destaca a necessidade de mais pesquisas sobre as interações entre mudanças climáticas e mineração em países fora da OCDE e BRICS. Isso sugere uma lacuna significativa na literatura atual e destaca a importância de uma abordagem mais global e inclusiva na análise dessas questões.

Em conclusão, o estudo de Odell et al. (2018) fornece insights valiosos sobre os desafios enfrentados pela indústria de mineração do Chile diante das mudanças climáticas. Suas projeções e análises destacam a urgência de ações para mitigar os impactos adversos e promover a resiliência tanto nas operações de mineração quanto nas comunidades.

Por fim, o estudo conduzido por Gustafsson et al. (2022) oferece uma análise detalhada das estratégias de adaptação adotadas pelas principais empresas de mineração do mundo diante dos desafios das mudanças climáticas. Ao examinar as respostas de 37 grandes empresas de mineração, o estudo destaca como essas organizações estão integrando considerações climáticas em suas operações e infraestrutura, bem como o impacto dessas respostas nas comunidades locais.

Uma descoberta chave do estudo e que devemos destacar é que a adaptação privada das empresas de mineração é impulsionada principalmente por pressões de investidores, em

vez de regulamentações domésticas e sociedade civil. Isso sugere que, embora as empresas estejam respondendo aos riscos climáticos, seus esforços muitas vezes se concentram em atender às expectativas dos investidores em vez de beneficiar diretamente as comunidades locais.

A análise das pressões regulatórias enfrentadas pelas empresas revela a importância crítica desses fatores na orientação das práticas de adaptação. Requisitos como avaliações de impacto ambiental, restrições ao uso de recursos naturais e normas de segurança e infraestrutura desempenham um papel fundamental na moldagem das estratégias das empresas de mineração. O artigo também nos apresenta um modelo conceitual que ilustra a interação entre essas pressões, as respostas de adaptação e os impactos nas comunidades locais, destacando a complexidade dessas relações.

Além disso, a análise de Gustafsson et. al.(2022) das respostas de adaptação das empresas revela uma variedade de abordagens, incluindo respostas institucionais, infraestruturais e orientadas para a comunidade. Enquanto a maioria das empresas implementou procedimentos para avaliar os impactos climáticos e adaptar sua infraestrutura, há uma lacuna significativa em relação às respostas orientadas para a comunidade. Muitas vezes, as iniciativas de adaptação voltadas para as comunidades são pontuais e não fazem parte de uma estratégia sistemática.

Os pesquisadores nos fornecem também uma visão detalhada da distribuição das respostas de adaptação, destacando que a governança da água é a abordagem mais comum entre as empresas estudadas. No entanto, a falta de divulgação de informações para as comunidades locais e a baixa colaboração com atores locais e nacionais sugerem uma lacuna na responsabilidade das empresas em relação aos impactos climáticos nas comunidades onde operam.

É importante ressaltar as limitações identificadas no estudo, incluindo a fragmentação e viés na autoavaliação das empresas em relação à adaptação privada. Além disso, a falta de transparência e dados sobre investimentos em adaptação destaca a necessidade de maior diálogo e colaboração com as comunidades locais.

Em resumo, o estudo de Gustafsson et al. (2022) fornece insights valiosos sobre as respostas de adaptação das empresas de mineração às mudanças climáticas. No entanto, destaca a necessidade de maior transparência, responsabilidade e colaboração com as comunidades locais para enfrentar eficazmente os desafios climáticos.

8 CONCLUSÃO

Ainda que breve e concisa, a análise dos impactos das mudanças climáticas na indústria mineral, baseada nas contribuições dos diversos autores e estudos de caso apresentados ao longo deste trabalho, revelam o alto grau de urgência e de complexidade dos desafios enfrentados pelo setor da mineração, um setor tão crucial para a economia global. A necessidade de adotar práticas sustentáveis, estratégias de adaptação e gestão de riscos eficazes torna-se cada vez mais evidente diante do cenário climático em constante evolução, visto que o impacto se desencadeia desde a comunidade em que a mineração está incluída até sua performance financeira.

A indústria de mineração, historicamente associada a impactos ambientais significativos, encontra-se em uma encruzilhada onde a inovação, a transparência e a colaboração se tornam imperativas para garantir sua sustentabilidade a longo prazo. Frequentemente, tais questões são impositivas ao sucesso financeiro e estão intrínsecas à imagem das empresas perante a sociedade e stakeholders. A compreensão dos riscos climáticos, a implementação de medidas proativas e a promoção de uma cultura de responsabilidade ambiental são necessidades indiscutíveis para enfrentar os desafios impostos pelas mudanças climáticas. A partir dos estudos compilados neste trabalho, pode-se observar de maneira prática quais medidas podem ser implementadas e quais desafios para implementá-las: desde o impacto financeiro às pressões regulatórias.

A colaboração entre as partes interessadas, incluindo comunidades locais, organizações não governamentais e autoridades governamentais, emerge como um elemento-chave para o desenvolvimento de soluções sustentáveis e resilientes. A construção de parcerias estratégicas e a busca por um diálogo aberto e informado são fundamentais para promover uma mineração mais responsável e alinhada com as demandas globais por sustentabilidade.

Diante da crescente pressão por práticas mais sustentáveis e da necessidade de mitigar os impactos das mudanças climáticas, a indústria mineral tem a oportunidade de se reinventar e liderar a transição para um modelo de negócios mais ético, resiliente e ambientalmente consciente. A implementação de tecnologias inovadoras (e até mesmo o seu desenvolvimento), a gestão eficiente dos recursos naturais e o compromisso com a redução das emissões de gases de efeito estufa em acordo com as normas internacionais, devem

ser passos a serem tomados de maneira pragmática e assertiva por meio das empresas de mineração.

Por fim, este trabalho de conclusão de curso visa destacar a importância de uma abordagem integrada e colaborativa para enfrentar os desafios das mudanças climáticas na indústria mineral.

Que as reflexões e recomendações apresentadas nos artigos aqui destrinchados, a iniciativa de revisá-los e destacá-los possam inspirar ações concretas e transformadoras na indústria mineral. Nós somos parte interessada, não somente como profissionais que compõem a mineração, mas como comunidade, sociedade que depende do sucesso dessa indústria para a manutenção do modelo social em que estamos inseridos. Este é o momento de agir.

REFERÊNCIAS

- CLIMATE action and disaster risk reduction. <<https://www.undrr.org/climate-action-and-disaster-risk-reduction>>. Acesso em: 09 de Dezembro de 2023.
- EARTH Observatory. <<https://earthobservatory.nasa.gov/>>. Acesso em: 08 de Outubro de 2023.
- GONZALEZ, F. R. et al. Evaluation of impact of potential extreme rainfall events on mining in peru. **Natural Resources Research**, v. 28, p. 393–408, 2019.
- GUSTAFSSON, M.-T.; RODRIGUEZ-MORALES, J. E.; DELLMUTH, L. M. Private adaptation to climate risks: Evidence from the world's largest mining companies. **Climate Risk Management**, 2022.
- HENRY, D. et al. Climate change perception in scientific and public sphere. In: **2019 International Conference on Data Mining Workshops (ICDMW)**. [S.l.: s.n.], 2019. p. 252–261.
- HOLMBERG, K. et al. Global energy consumption due to friction and wear in the mining industry. **Tribology International**, v. 115, p. 116–139, 2017.
- IPCC. **Climate Change 2014: Synthesis Report**. [S.l.]: IPCC, Geneva, 2014.
- IRARRÁZABAL, R. Mining and climate change: Towards a strategy for the industry. **Journal of Energy & Natural Resources Law**, v. 24, n. 3, p. 403–422, 2006.
- KESLER, S. Mineral supply and demand into the 21st century. In: **Proceedings for A Workshop on Deposit Modeling, Mineral Resource Assessment, and Their Role in Sustainable Development**. [S.l.: s.n.], 2007.
- ODELL, S. D.; BEBBINGTON, A.; FREY, K. E. Mining and climate change: A review and framework for analysis. **The Extractive Industries and Society**, 2018.
- SUN, Y. et al. The impacts of climate change risks on financial performance of mining industry: Evidence from listed companies in china. **Resources Policy**, v. 69, p. 101828, 2020. ISSN 0301-4207.