

**UNIVERSIDADE DO EXTREMO SUL CATARINENSE - UNESC**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS**  
**MESTRADO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS**

**FABIANO CARDOSO DE SOUZA**

**ELABORAÇÃO DE CRITÉRIOS PARA INCLUSÃO DO FATOR DE INFLUÊNCIA  
DE CHUVAS NO CRONOGRAMA DE OBRAS DE PLANO DE RECUPERAÇÃO DE  
ÁREA DEGRADADA - PRAD**

**CRICIÚMA, SC**

**2025**

**FABIANO CARDOSO DE SOUZA**

**ELABORAÇÃO DE CRITÉRIOS PARA INCLUSÃO DO FATOR DE INFLUÊNCIA  
DE CHUVAS NO CRONOGRAMA DE OBRAS DE PLANO DE RECUPERAÇÃO DE  
ÁREA DEGRADADA - PRAD**

Exame de qualificação apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais da Universidade do Extremo Sul Catarinense - UNESC, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Ciências Ambientais.  
Orientador: Prof. Dr. Álvaro José Back

**CRICIÚMA, SC**

**2025**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação

S729e Souza, Fabiano Cardoso de.

Elaboração de critérios para inclusão do fator de influência de chuvas no cronograma de obras de Plano de Recuperação de Área Degradada - PRAD / Fabiano Cardoso de Souza. - 2025.

57 p. : il.

Dissertação (Mestrado) - Universidade do Extremo Sul Catarinense, Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, Criciúma, 2025.

Orientação: Álvaro José Back.

1. Chuvas - Frequência da intensidade. 2. Precipitação (Meteorologia). 3. Áreas degradadas pela mineração - Recuperação - Fatores climáticos. 4. Fator de intensidade de chuvas. 5. Passivo ambiental. I. Título.

CDD 23. ed. 551.577

Bibliotecária Eliziane de Lucca Alosilla - CRB 14/1101

Biblioteca Central Prof. Eurico Back - UNESC



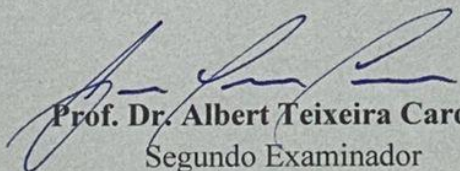
UNIVERSIDADE DO EXTREMO SUL CATARINENSE  
Pró-Reitoria de Pesquisa, Pós-Graduação, Inovação e Extensão  
Diretoria de Pesquisa e Pós-Graduação Stricto Sensu  
Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais

---

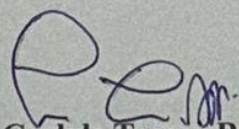
## PARECER

Os membros da Comissão Examinadora homologada pelo Colegiado de Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais reuniram-se para realizar a arguição da Dissertação de Mestrado apresentada pelo candidato **Fabiano Cardoso de Souza**, sob o título: “**Elaboração de critérios para inclusão do Fator de Influência de Chuvas no cronograma de obras de Plano de Recuperação de Área Degradada - PRAD**”, para obtenção do grau de **MESTRE EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS** no Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais da Universidade do Extremo Sul Catarinense – UNESC. Após haver analisado o referido trabalho e arguido o candidato, os membros são de parecer pela “**APROVAÇÃO**” da Dissertação.

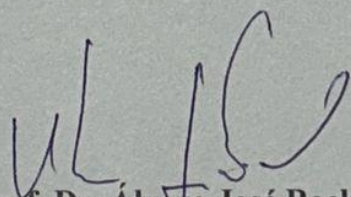
Criciúma/SC, 31 de março de 2025.



**Prof. Dr. Albert Teixeira Cardoso**  
Segundo Examinador



**Prof. Dr. Carlyle Torres Bezerra de Menezes**  
Primeiro Examinador



**Prof. Dr. Alvaro José Back**  
Presidente da Comissão e Orientador

Primeiramente a Deus pela oportunidade de concluir esse objetivo profissional e pela proteção durante toda a caminhada e a todos que de alguma maneira contribuíram para que esse trabalho fosse realizado.

## AGRADECIMENTOS

Quero aqui deixar os meus agradecimentos a todos que de alguma forma participaram direta ou indiretamente da realização deste objetivo e que sempre acreditaram que era possível.

Agradeço primeiramente a Deus por toda a sabedoria de sempre seguir em frente independente das dificuldades enfrentadas e por não me deixar abater quando pensava que não seria possível. Por me dar saúde e a benção da vida.

Agradeço a Universidade do Extremos Sul Catarinense, especialmente ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais (PPGCA) por me proporcionar essa experiência e por todo o suporte durante esse período com seu corpo docente e administrativo, meu muito obrigado.

Quero deixar um agradecimento especial ao professor Dr. Jóri Ramos Pereira por ser o responsável por me incentivar a entrar no PPG e acreditar que era possível realizar um bom trabalho com muita dedicação e compromisso, muito obrigado.

Ao meu orientador professor Dr. Álvaro José Back por embarcar nessa jornada, com muita paciência para orientar da melhor maneira, acreditando no meu potencial e por ajudar com toda sua experiência e conhecimento a desenvolver uma pesquisa de qualidade, meu muito obrigado.

Um agradecimento ao professor Dr. Sergio Luciano Galatto, que foi muito importante para o desenvolvimento desta pesquisa com o auxílio em momentos de dificuldade e por compartilhar seus conhecimentos sobre o tema.

A minha família por sempre me incentivar a continuar e por toda ajuda nos momentos de dificuldade. Um agradecimento especial ao meu irmão Fabricio e minha cunhada Talita, pelo incentivo a acreditar que era possível. A minha prima Joice que também foi muito importante para a conclusão deste trabalho. Obrigado.

Agradeço aos meus colegas de mestrado, que de alguma forma também contribuíram para que essa jornada fosse concluída. Aos meus amigos pelo incentivo de sempre continuar em frente nesse objetivo, em especial a Ana Carolina Rocha de Zorzi, Gabriel da Silva Souza, Rodrigo Germano e Helen Pagani que foram fundamentais no apoio e para o desenvolvimento da pesquisa. Meu muito obrigado.

Quero também agradecer ao engenheiro da SGB Geovani de Costa, pelo apoio em algumas informações e materiais para o desenvolvimento desta pesquisa.

Agradeço aos integrantes da banca examinadora, professor DR. Carlyle Torres Bezerra de Menezes e ao Dr. Albert Teixeira Cardoso, por aceitarem o convite para avaliar esta pesquisa e contribuírem para a sua melhora.

Um agradecimento especial a CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoa de Nível Superior) pela oportunidade de concessão da bolsa de mestrado que foi fundamental para a realização desse projeto.

“Por vezes sentimos que aquilo que fazemos não é senão uma gota de água no mar. Mas o mar seria menor se lhe faltasse uma gota”.

Madre Teresa de Calcutá

## RESUMO

Ao planejar a execução de obras, é essencial seguir um cronograma para garantir a execução dentro do orçamento previsto. As chuvas são um dos principais fatores que afetam a execução de obras de engenharia, especialmente aquelas que envolvem movimentação de terra, como argila. Para projetos de pavimentação, o Departamento Nacional de Infraestrutura e Transporte (DNIT) desenvolveu o cálculo do Fator de Influência de Chuvas (FIC), que ajuda a considerar a frequência das chuvas no planejamento. Em projetos de pavimentação, o FIC é aplicado em atividades mais suscetíveis à influência climática, como terraplenagem e manejo de materiais. Este trabalho propõe valores do *fa* (Fator da Natureza da Atividade), uma componente do FIC, para Plano de Recuperação de Área Degradada (PRAD), com o objetivo de aprimorar o cálculo do FIC em projetos de recuperação ambiental, seja em áreas de exploração de carvão ou outros materiais minerados. A análise foi baseada na execução do PRAD da Área III - Rio Pio, em Treviso - SC. Após análise dos diários de obra de execução do plano, foi possível quantificar os dias em que a obra ficou parada devido às chuvas, totalizando 141 dias, além dos dias em que não foi possível trabalhar com argila devido à alta umidade do material. A análise detalhada permitiu verificar se o projeto seguiu o cronograma inicialmente planejado e revisar a planilha orçamentária para avaliar os custos da execução e se foi possível executar com o valor licitado. A análise da ocorrência de chuvas na Bacia Carbonífera foi realizada com base em dados de sete estações pluviométricas próximas à área. Os resultados obtidos ressaltam a importância de um plano bem elaborado, com um cronograma bem estruturado e uma planilha orçamentária cuidadosamente planejada, garantindo a eficiência e qualidade do plano. Além disso, é crucial ter conhecimento do histórico climático da região para planejar adequadamente a execução dos trabalhos. Quanto a aplicação do FIC nos orçamentos, é fundamental utilizar composições que levem em conta a aplicação, para dar maior segurança financeira na planilha orçamentária e na hora da execução, evitando possíveis aditivos em relação as atividades propostas no cronograma. A planilha da Área III - Rio Pio com a aplicação do FIC e correção dos valores, teve um acréscimo de pouco mais de 1 milhão de reais. Já para a preposição de um fator *fa* foi possível apresentar valores adequados para cada atividade relacionada ao PRAD.

**Palavras-chave:** precipitação, orçamento, bacia carbonífera, cronograma, argila.

## ABSTRACT

When planning the execution of construction projects, it is essential to follow a schedule to ensure completion within the planned budget. Rainfall is one of the main factors affecting the execution of engineering works, especially those involving earthworks, such as clay handling. For paving projects, National Department of Infrastructure and Transport (DNIT) developed the Rainfall Influence Factor (FIC) calculation, which helps account for the frequency of rain during planning. In paving projects, the FIC is applied to activities more susceptible to climatic influence, such as earthmoving and material handling. This study proposes values for the Activity Nature Factor ( $f_a$ ), a component of the FIC, for a Degraded Area Reclaiming Plan (PRAD) to enhance the FIC calculation in environmental reclaiming projects, whether in areas of coal mining or other mined materials. The analysis was based on the implementation of the PRAD for Area III - Rio Pio, in Treviso, Santa Catarina. After reviewing the construction logs for the plan's implementation, it was possible to quantify the number of days the project was halted due to rain, totaling 141 days, as well as the days when working with clay was not feasible due to the material's high moisture content. The detailed analysis allowed verification of whether the project adhered to the initially planned schedule and enabled a review of the budget spreadsheet to evaluate execution costs and determine if the work was completed within the tendered amount. The analysis of rainfall occurrence in the Carboniferous Basin was conducted using data from seven rainfall stations near the area. The results highlight the importance of a well-structured plan, including a detailed schedule and carefully prepared budget spreadsheet, to ensure the plan's efficiency and quality. Additionally, having knowledge of the region's climatic history is crucial for adequately planning the execution of the work. Regarding the application of the FIC in budgets, it is essential to use compositions that take the application into account, to provide greater financial security in the budget spreadsheet and at the time of execution, avoiding possible additions in relation to the activities proposed in the schedule. The spreadsheet for Area III - Rio Pio with the application of the FIC and correction of the values, had an increase of just over 1 million reais. As for the preposition of a factor  $f_a$ , it was possible to present adequate values for each activity related to the PRAD.

**Keywords:** precipitation, budget, coal basin, schedule, clay.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1- Etapas para elaboração e execução de recuperação de áreas degradadas.....	10
Figura 2 - Cálculo do FIC.....	16
Figura 3 - Localização da Área III (Rio Pio).....	22
Figura 4 - Área III (Rio Pio) após a execução do PRAD. ....	23
Figura 5 - Identificação do lixão de responsabilidade da Prefeitura Municipal de Treviso. ....	24
Figura 6 - Bacia Carbonífera Catarinense. ....	25
Figura 7 - Chuva média anual na Bacia Carbonífera Catarinense.....	30
Figura 8 – Média anual de dias de chuva maior de 5,0 mm na Bacia Carbonífera Catarinense. .....	32
Figura 9 – Média anual mensal de dias parados por conta das chuvas na Bacia Carbonífera Catarinense. ....	33
Figura 10 - Fator nd médio anual para a Bacia Carbonífera Catarinense.....	35
Figura 11 - Cronograma executivo PRAD Rio Pio. ....	42

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Fator da natureza da atividade - fa. ....	17
Tabela 2 - Fatores de permeabilidade do solo - fp. ....	18
Tabela 3 - Fatores de escoamento superficial - fe. ....	19
Tabela 4 - Fator de intensidade de chuvas médios por unidade da federação. ....	20
Tabela 5 - Relação entre a intensidade de chuvas e dias parados. ....	21
Tabela 6 - Estações pluviométricas utilizadas. ....	26
Tabela 7 - Dados mensais de chuva média na Bacia Carbonífera Catarinense (1990 – 2023). ....	31
Tabela 8 - Dados mensais de chuva maior que 5,0 mm na Bacia Carbonífera Catarinense (1990 – 2023). ....	32
Tabela 9 - Dados mensais de dias parados por conta das chuvas na Bacia Carbonífera Catarinense (1990 – 2023). ....	34
Tabela 10 - Dados mensais do Fator nd para a Bacia Carbonífera Catarinense (1990 – 2023). ....	36
Tabela 11 - Resultado da análise dos diários de obra do Rio Pio. ....	39
Tabela 12 - Etapas da planilha orçamentária da obra Rio Pio. ....	43
Tabela 13 - Análise dos custos dos serviços sem e com aplicação do FIC. ....	44
Tabela 14 - Variação dos valores a partir da aplicação do FIC nos serviços. ....	45
Tabela 15 - Tabela fa das atividades de execução de PRAD. ....	47

## **LISTA DE ABREVIATURAS**

ACP - Ação Civil Pública

ANA - Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico

APP - Área de Preservação Permanente

BCC - Bacia Carbonífera Catarinense

BHRA - Bacia Hidrográfica do Rio Araranguá

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente

DAM - Drenagem Ácida de Mina

DNIT - Departamento Nacional de Infraestrutura e Transporte

EPAGRI - Empresa de Pesquisas Agropecuárias e Extensão Rural de Santa Catarina

FIC - Fator de Influência de Chuvas

IBAMA - Instituto Brasileiro do Meio Ambiente

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IMA - Instituto do Meio Ambiente

IPAT - Instituto de Pesquisas Ambientais e Tecnológicas

MPF - Ministério Público Federal

MME - Ministério de Minas e Energia

NBR - Norma Brasileira

PFM - Plano de Fechamento Mineiro

PIB - Produto Interno Bruto

PRAD - Plano de Recuperação de Área Degradada

RIMA - Relatório de Impacto Ambiental

SGB - Serviço Geológico do Brasil

SICRO - Sistema de Custos Referenciais de Obras

TAC - Termo de Ajuste de Conduta

UNESC - Universidade do Extremo Sul Catarinense

## SUMÁRIO

<b>INTRODUÇÃO</b> .....	1
<b>OBJETIVOS</b> .....	4
<b>Geral</b> .....	4
<b>Específicos</b> .....	4
<b>1 REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	5
<b>1.1 MINERAÇÃO E MEIO AMBIENTE NO BRASIL</b> .....	5
<b>1.1.1 Mineração no Sul Catarinense</b> .....	7
<b>1.1.2 Plano de recuperação de área degradada - PRAD</b> .....	8
<b>1.1.3 Revegetação</b> .....	11
<b>1.1.4 Legislação</b> .....	12
<b>1.2 PRECIPITAÇÕES PLUVIOMÉTRICAS</b> .....	14
<b>1.3 FATOR DE INFLUÊNCIA DE CHUVAS</b> .....	16
<b>1.3.1 Fator da natureza da atividade - fa</b> .....	17
<b>1.3.2 Fator de permeabilidade do solo - fp</b> .....	18
<b>1.3.3 Fator de escoamento superficial - fe</b> .....	18
<b>1.3.4 Fator de intensidade de chuvas - nd</b> .....	19
<b>2 MATERIAS E MÉTODOS</b> .....	22
<b>2.1 DESCRIÇÃO DA Área de estudo</b> .....	22
<b>2.2 METODOLOGIA</b> .....	25
<b>2.2.1 Estimativa de ocorrência de dias de chuva</b> .....	25
<b>2.2.2 Determinação de dias parados em função das chuvas durante a execução PRAD da Área III – Rio Pio</b> .....	26
<b>2.2.3 Proposição de método de FA para PRAD</b> .....	27
<b>2.2.4 Análise do impacto de dias parados versus cronograma e custos de execução do PRAD</b> .....	27
<b>3 APRESENTAÇÃO DE ANÁLISE DOS RESULTADOS</b> .....	29

3.1 OCORRÊNCIA DE CHUVAS NA BACIA CARBONÍFERA CATARINENSE .....	29
3.2 DIAS PARADOS EM FUNÇÃO DAS CHUVAS DURANTE A EXECUÇÃO DO PRAD DA ÁREA iii - RIO PIO .....	36
3.3 ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DOS DIAS PARADOS NO CRONOGRAMA E NO CUSTO DE EXECUÇÃO .....	39
3.4 PREPOSIÇÃO DE FATOR DA NATUREZA DA ATIVIDADE PARA PRAD .....	46
<b>CONCLUSÃO</b> .....	49
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	53

## INTRODUÇÃO

O planejamento e a elaboração de cronograma físico detalhado de obras de engenharia é fundamental para a sincronização das etapas de trabalho assim como evitar a subutilização das máquinas e equipamentos, reduzindo os custos operacionais. As atividades executadas em ambiente externo dependem diretamente das condições climáticas, sendo afetadas principalmente pela ocorrência das chuvas.

A ocorrência de chuvas pode acabar paralisando as obras por um curto ou longo período e afetando diretamente no prazo de execução de uma obra, e dessa forma, impactam no orçamento final.

As obras de engenharia realizadas ao ar livre são uma das mais afetadas pela ocasião das chuvas, principalmente aquelas que necessitam de movimentação de solos, ou mesmo aquelas que requerem o tráfego de máquinas ou veículos sobre áreas de solo. Em períodos de ocorrência de vários dias consecutivos de chuvas, ou chuvas muito volumosas em um dia, ocorre o umedecimento excessivo da camada superficial do solo alterando suas propriedades como coesão, adesão, resistência à compressão impedindo que serviços possam ser realizados.

As chuvas intensas também podem causar problemas de enxurradas, como erosão do solo, danificando os trabalhos de aterro ou terraplanagem que estão em execução. Por isso, é necessário prever em cronogramas dias de chuva para evitar ao máximo os prejuízos de refazer serviços, sejam estes causados por erosões ou outras causas, e também evitar maiores custos no processo (BACK *et al.*, 2023).

Nas obras de engenharia de projetos de pavimentação as chuvas afetam bastante o cronograma de obras, implicando nos trabalhos de drenagem e principalmente de terraplanagem. Com os solos muito úmidos não é possível fazer uma regularização adequada, principalmente em materiais argilosos, o mesmo ocorre na execução de canais e redes de drenagem.

Além do atraso no cronograma, as chuvas excessivas podem implicar na necessidade de refazer trabalhos já executados, uma vez que é comum ocorrer erosões que acabam retirando o solo já regularizado e acaba afetando taludes quando não se tem todo o projeto de drenagem executado. Os escorregamentos de taludes, vem se tornando com frequência um problema para a sociedade, devido aos impactos e destruições que podem causar, principalmente nas áreas de serra (Zambrana, 2014). Outro fator importante em prever os dias parados em um cronograma de obra é a planilha de custos. Tendo em vista a programação e os dias possíveis de chuva o

orçamento pode ser recalculado, principalmente em mão de obra e horas trabalhadas dos equipamentos.

Nesse sentido, o Departamento Nacional de Infraestrutura e Transporte DNIT (2017), trouxe em seu Manual de Custos de Infraestrutura e Transporte, volume 06, de 2017 uma fórmula para calcular os dias parados em uma obra em função das chuvas, e mostrar a influência no custo unitário de alguns serviços. Essa metodologia considera o Fator de Influência de Chuva (FIC) em diferentes atividades executadas nos projetos de rodovias.

Na aplicação do FIC leva-se em consideração algumas variáveis como natureza da atividade, permeabilidade do solo, escoamento superficial e os dias parados da obra em função das chuvas.

Este método proposto pelo DNIT (2017) já é recomendado e utilizado para cálculos de dias parados em funções das chuvas em projetos rodoviários.

Na Bacia Carbonífera Catarinense (BCC), localizada no sul do estado de Santa Catarina, a atividade de exploração de carvão se destacou pela produção de carvão mineral, especialmente a partir de 1940. A década de 1970 foi marcada pela crescente evolução dos impactos negativos gerados pela atividade mineira, especialmente no sul do país nos estados de Santa Catarina e Rio Grande do Sul. Os impactos ambientais negativos provocados pelas atividades de mineração de carvão são alarmantes, e remontam a décadas passadas (Barbosa *et al.*, 2002; Soares, Castilhos 2015).

Com o passar dos anos as áreas de extração de carvão foram abandonadas tornando-se em passivos ambientais, muitas vezes por falência das empresas ou por outros motivos que acarretaram o encerramento das atividades. Mesmo com o fechamento de lavra ou o encerramento da atividade, os poluentes da mineração persistem por muitos anos impactando o meio ambiente.

Visando conter estes problemas relacionados ao abandono das áreas de mineração que não tinham nenhum plano de fechamento mineiro (PFM) e Plano de Recuperação de Área Degradada (PRAD), em janeiro de 2000, o Juiz Federal Paulo Afonso Braum Vaz por meio da ação civil pública (ACP) n. 93.8000533-4 proferida pelo Ministério Público Federal (MPF), condenou as empresas carboníferas de Santa Catarina e a União a recuperarem as áreas degradadas e controlar a poluição referente à exploração do carvão mineral no sul do estado catarinense (Unesc 2010; Soares, Castilhos 2015).

Dessa forma, e buscando atender as exigências do MPF, a União por meio do Ministério de Minas e Energia (MME) assumiu as áreas de passivo ambiental pela mineração de carvão no sul de Santa Catarina, delegando ao Serviço Geológico do Brasil (SGB) a

executarem os PRAD das áreas da antiga Carbonífera Treviso S.A. (1.000,09 hectares) e da Companhia Brasileira Carbonífera Araranguá (CBCA) (cerca de 129,54 hectares de mineração em subsolo e 71 hectares de mineração em superfície) (SGB, 2024).

No PRAD normalmente é elaborado um cronograma de obras sem considerar as condições climáticas locais. No entanto, frequentemente ocorrem atrasos na execução dessas obras devido as chuvas que impedem a execução de atividades. Com isso, as empresas apresentam solicitações para prorrogação de prazos de execução justificado pelo excesso de chuvas.

Além de não considerar as chuvas para a elaboração do cronograma, também não se considera o custo que as empresas acabam tendo com os dias parados.

Considerando que a metodologia do FIC – Fator de Influência de chuvas já é implantada em projetos de rodovias, esta dissertação propõe adaptar este método para que possa ser aplicada em Planos de Recuperação de Área Degradada (PRAD) pela mineração do carvão na região da BCC, avaliando o cronograma de execução de um projeto e o impacto que as chuvas causaram no prazo final da obra.

A área de estudo dessa dissertação é o PRAD Executivo elaborado e executado na denominada “Área III - Rio Pio” localizada no município de Treviso-SC, sendo está uma das áreas de passivo ambiental da antiga Carbonífera Treviso S.A.

Este estudo tem uma relevância importante na área de PRAD, não só para áreas com passivos de mineração com carvão, mas também pode ser aprofundado em áreas com outros materiais extraídos do solo, isso porque a metodologia de recuperação dessas áreas degradadas são muito semelhantes e envolvem uma grande quantidade de movimentação de terra. A futura adaptação do FIC também pode servir para obras de grande porte que envolvam terraplanagem/movimentação de massa, é nessa movimentação de material que as chuvas impactam diretamente, levando a dificultar a realização dos trabalhos.

## OBJETIVOS

### **Geral**

Elaborar critérios para inclusão do Fator de Influência de Chuvas no cronograma de obras de Plano de Recuperação de Área Degradada (PRAD) em área de passivo ambiental de mineração de carvão no sul de Santa Catarina.

### **Específicos**

- Estimar a ocorrência de dias de chuva na região da bacia carbonífera catarinense.
- Analisar o cronograma de execução da obra do PRAD Executivo da Área III (Rio Pio) e verificar os dias parados por consequências dos dias de chuvas.
- Propor uma classificação do Fator de Atividade (fa) adequado para os Projetos de Recuperação de Área Degradada por passivos de mineração.
- Avaliar o impacto dos dias parados no cronograma de execução e nos custos de um PRAD.

## 1 REFERENCIAL TEÓRICO

### 1.1 MINERAÇÃO E MEIO AMBIENTE NO BRASIL

A remoção da camada superficial do solo e a escavação do subsolo durante a mineração expõem materiais inadequados para o estabelecimento e desenvolvimento de plantas. Nesses locais, a regeneração natural é limitada, tornando necessárias intervenções que visem à melhoria do substrato e no aprimoramento de seus atributos físicos, químicos, e biológicos para o restabelecimento da vegetação (Silva; Corrêa, 2010).

As ameaças diretas e indiretas da mineração à conservação biológica, inclui a supressão de vegetação, o impedimento de sua regeneração, a alteração dos ecossistemas, fragmentação dos habitats, a poluição sonora, hídrica e atmosférica e ainda a subsidência do terreno ( Mandai *et al.*, 2021; Franco; Marimon, 2008).

O Brasil tem grandes áreas degradadas devido a diversas atividades humanas, com graus variados de deterioração. Esses níveis de degradação podem variar desde a perda temporária da capacidade de regeneração dos ecossistemas florestais, causada por incêndios florestais ou outros fatores naturais, até a remoção total das camadas férteis do solo, gerando substratos que dificultam o crescimento ou o estabelecimento de organismos, como ocorre em áreas de mineração (Reis, 2006).

As atividades de extração mineral têm grande importância para o Produto Interno Bruto (PIB) do país, contudo, as principais consequências ambientais desse setor incluem a perda de biodiversidade, a redução da fertilidade natural do solo e a interferência nos recursos hídricos da região (Patrício, 2009).

A mineração é considerada uma atividade fundamental no desenvolvimento social e econômico em muitos países, especialmente pelos materiais que são obtidos pela transformação do minério e a utilização desses materiais, como por exemplo a brita, cimento, fertilizantes, cobre, vidro, aço, carvão, dentre outros. Também contribui para a melhoria na qualidade de vida da sociedade em alguns aspectos através desse beneficiamento, visto que muitos dos materiais que utilizamos no dia a dia vem da mineração. No entanto, também deve-se destacar os impactos ambientais significativos causados pela atividade de mineração, reduzindo a qualidade da água, ar e solo, e dessa forma afetando fortemente vários ecossistemas ou bacias hidrográficas. Esses impactos podem ser reduzidos com a implementação de controles ambientais adequados e técnicas de restauração ecológica (Costa, 2022b; Barros *et al.*, 2013; Carvalho, 2011).

A mineração provoca impactos ambientais significativos, como a poluição do ar, dos recursos hídricos, e do solo, além da subsidência dos terrenos, isso afeta direta e indiretamente a fauna, flora e a população humana que já estão no local, onde o meio ambiente sofre mais especificamente com a extração do minério de ferro (Costa, 2022b; Guimarães; Milanez, 2017). Em áreas severamente degradadas, como as de mineração, a perda da "memória ecológica" do local pode levar a custos muito grandes para a reabilitação dessas áreas (Baliero *et al.*, 2017).

Mesmo a mineração em grande escala não ser considerada o principal motivo da perda da biodiversidade, ela pode exercer ou aumentar as pressões já existentes sobre o meio ambiente (Mandai *et al.*, 2021). Reis (2006), considera que a atividade mineradora pode ser considerada a que causa mais impactos quando se fala em local afetado pela atividade, mas quando se leva em consideração grandes áreas degradadas, a principal atividade causadora dessa degradação é a agricultura e a pecuária.

Apesar de algumas áreas antigas apresentarem grande degradação pela atividade da mineração e estarem abandonadas, essas áreas acabam sendo ocupadas, e na grande maioria, de forma desordenada, irregular e clandestinamente, como pode ser visto em áreas de lixões, e invasões para habitações de baixa renda (Bitar, 1997).

Geralmente os materiais que sobram da mineração possuem um baixo ou quase nenhum teor de matéria orgânica, além de não apresentarem nenhuma atividade biológica (Soares; Castilhos, 2015).

Segundo Checoli *et al.*, (2016) o Relatório de Ação Governamental de 2009 do estado do Mato Grosso, destaca que um terço do estado apresenta solos degradados pelo avanço da agropecuária. No país não existem dados oficiais quando se pretende medir as áreas degradadas, mas estima-se que o desmatamento e as atividades agrícolas e da pecuária são os principais causadores de áreas desmatadas e da degradação dos solos brasileiros (Reis, 2006).

Minas Gerais - MG é um dos principais estados brasileiros quando se fala em mineração, e isso demonstra a importância que esta atividade representa para o estado. Há uma grande variedade de minerais no subsolo do estado de Minas Gerais - MG, tendo destaque para os minérios de ferro, ouro, fosfato, calcário, quartzito, bauxita e nióbio (Viana; Almeida, 2010). Já a nível mundial destacam-se a exploração de nióbio, cobre, manganês, ouro, bauxita, estanho, granito, caulim, chumbo, rochas ornamentais, silício entre outros (Carvalho, 2011).

A mineração de bauxita na Amazônia é marcada pela remoção da floresta, intensa movimentação das camadas superficiais e subsuperficiais do solo, além da produção de rejeitos e outros substratos que dificultam a colonização por plantas. Isso torna necessária a implementação de medidas para a reabilitação das áreas degradadas (Reis, 2006).

Conforme Silva; Corrêa (2010), no Distrito Federal - DF, o principal responsável pelas áreas drasticamente degradadas é a extração de materiais para a construção civil. Nesses locais a regeneração natural nos substratos expostos é lenta e pode levar vários anos para uma comunidade clímax se estabelecer, já que a remoção da camada superficial do solo expõe materiais inadequados ao crescimento e desenvolvimento das plantas.

### **1.1.1 Mineração no Sul Catarinense**

A mineração de carvão no sul de Santa Catarina teve início no século XIX sendo explorada de forma descontrolada, principalmente em minas a céu aberto, e muitas das atividades econômicas da região se voltaram a atividade de mineração. (Furmanski *et al.*, 2014; Danieski, 2013).

Silva; Ferreira (2015) destacam que a atividade de mineração trouxe muitos benefícios para a região carbonífera, como o desenvolvimento das cidades que concentravam a maior parte de atividade mineradora, como também no desenvolvimento da linha férrea Tereza Cristina, que até hoje é responsável pelo transporte de boa parte do carvão da região.

A mineração é feita em lavras a céu aberto como também em jazidas subterrâneas, mas as duas maneiras de extração causam efeitos severos ao meio ambiente, contaminando os recursos hídricos e o solo e ainda afetando a qualidade do ar (Silva; Ferreira, 2015; Furmanski *et al.*, 2014; Franco; Marimon, 2008).

Segundo Franco; Marimon (2008); Galatto *et al.* (2007); Soares; Castilhos (2015), na Bacia Carbonífera Catarinense, existem cerca de 5.000 a 5.500 hectares de áreas degradadas pela mineração de carvão. Dessas áreas em torno de 2.700 hectares são oriundos de mineração a céu aberto e 2.730 de depósitos de rejeito e mais 58 hectares de áreas formadas por lagoas ácidas. Destaca-se ainda que aproximadamente dois terços dos cursos d'água dessa região, estão comprometidos com a Drenagem Ácida de Mina.

GTA (2019) traz dados mais atualizados apontando que tem pouco mais de 6.503 hectares de área degradada na Bacia Carbonífera Catarinense, sendo aproximadamente 3.098 hectares de área degradada a céu aberto, 3.108 hectares de depósito de rejeito e 296 hectares de depósitos de rejeito em cava a céu aberto.

A deposição de rejeitos e pilhas de estéril oriundo da extração e beneficiamento do carvão é um dos principais problemas ambientais na BCC, especialmente na contaminação dos recursos hídricos, sendo responsável pela contaminação de parte dos rios que integram as bacias dos rios Araranguá, Urussanga e Tubarão. O tratamento inadequado dos resíduos de mineração

ocasiona a geração de DAM (Drenagem Ácida de Mina), contaminando as águas superficiais, lençóis freáticos e aquíferos (Furmanski *et al.*, 2014; Genaro *et al.*, 2012; Soares; Castilhos, 2015). A DAM é provocada pela oxidação de minerais do grupo dos sulfetos, como a pirita, pelo oxigênio atmosférico e elevados teores de metais. (Galatto *et al.*, 2007; Soares; Castilhos 2015).

### **1.1.2 Plano de recuperação de área degradada - PRAD**

A degradação de uma área está relacionada à modificação de sua estrutura e à perda de nutrientes do solo, resultantes de alagamentos, erosões hídricas e eólicas, salinização, escoamento superficial e compactação do solo. As principais causas dessa degradação são o desmatamento e o uso insustentável do solo. Ela acontece quando a fauna e a flora são destruídas, removidas ou expulsas, a camada fértil do solo é perdida e a qualidade do fluxo do sistema hídrico é afetada (Carvalho, 2011; Reis, 2006).

O PRAD é um mecanismo de reabilitação ambiental, que busca através de técnicas de engenharia e um plano de ação, a recuperação de áreas impactadas que tiveram alterações no meio físico, químico ou biológico, seja por alteração natural ou antrópica. (Costa, 2022a). Ainda segundo o mesmo autor, o PRAD é o principal meio de reabilitação ambiental de uma área degradada, onde necessita-se de técnicas de restauração ou reabilitação para alcançar a estabilidade da paisagem.

Para Danieski (2013), o PRAD consiste na manutenção, reconstrução do solo, remodelagem do terreno, introdução de espécies vegetais procurando estabelecer espécies nativas para restituir o equilíbrio ambiental, além de buscar a regeneração da fauna e flora, e conter os poluentes que prejudicam o solo e os recursos hídricos.

O processo de recuperação das áreas degradadas pela mineração, proporciona manutenção dos níveis de matéria orgânica, aumento da flocculação do solo e redução da argila dispersa em água e restabelecer a vegetação, visando corrigir os impactos ambientais negativos que a exploração mineral causou ao meio, com soluções estudadas junto as condições de adequação do ambiente degradado. Para isso, as pesquisas são fundamentadas em literaturas e relatórios técnicos, além de observações de campo que abordam diversos aspectos, incluindo a caracterização do meio físico, biótico e socioeconômico da região (Barros *et al.*, 2013; Carvalho 2011; Almeida; Sánchez, 2005).

Souza (2013); Salvador (2012) destacam que os PRAD têm como objetivo fixar medidas para a recuperação de áreas degradadas por ação do homem, seja por atividades que

envolvam desmatamentos, terraplanagem, exploração de materiais de empréstimo em jazidas, entre outras atividades que venham a prejudicar o meio natural.

Segundo Costa, (2022a); Carvalho, (2011) as atividades que envolvem a necessidade de execução de PRAD, eram utilizadas apenas em operações de mineração. A partir da década de 1990 foi implantado como exigência na adequação ambiental, sendo de fundamental importância para outras atividades que degradavam o meio ambiente. Além disso, passou a ser incorporado nos Estudos de Impacto Ambiental (EIA), nos Relatórios de Impacto Ambiental (RIMA), e nos Termos de Ajuste de Conduta (TAC).

No Brasil, foi imposto a obrigação de proprietários de concessão de lavras de mineração, que quando fossem fechadas, fosse promovido à reabilitação de áreas impactadas pela mineração através de Plano de Recuperação de Área Degradada (PRAD), preliminarmente elaborado e aprovado pelos órgãos competentes (Costa, 2022b; Carvalho, 2011; Lima *et al.*, 2006).

A exigência da apresentação de PRAD se fundamenta na questão de que áreas que fossem prejudicadas pelo processo de mineração, devem ser devolvidas a comunidade ou ao superficiário em condições de uso futuro adequado a sustentabilidade do solo, que mesmo sofrendo fortes alterações dos recursos naturais, o local minerado ainda pode suportar uma cobertura vegetal. O potencial de uso depende das características físicas, químicas e biológicas do local e a adaptação as condições de recuperação (Lima *et al.*, 2006; Brandi, 1994).

Uma das etapas mais importantes na realização do PRAD é o requisito de reconhecimento da área, identificação da vegetação, identificação da degradação, soluções de um plano de ação e cronograma físico de execução (Costa, 2022a).

Souza (2013) traz as seguintes etapas do PRAD:

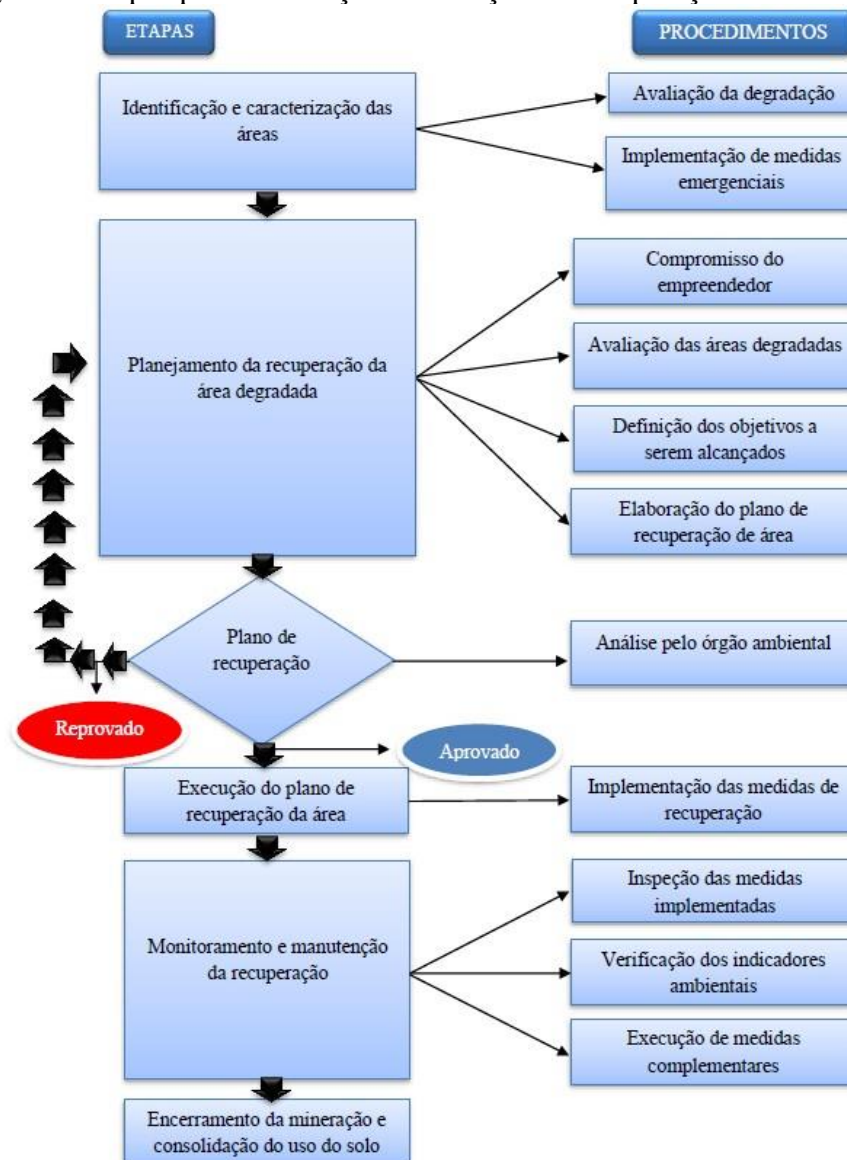
- Identificação: São identificadas áreas com suspeita de contaminação, através de uma avaliação preliminar.
- Diagnóstico: Incorpora uma análise detalhada e avaliação de riscos, com o propósito de embasar a fase de intervenção, posteriormente à investigação confirmatória que tenha identificado a presença de substâncias químicas em concentrações superiores ao valor investigativo.
- Intervenção: Implementação de medidas de controle visando a eliminação do perigo ou redução a níveis aceitáveis, dos riscos previamente identificados na fase de diagnóstico, levando em consideração tanto a utilização presente quanto futura da área em questão.

- Monitoramento: Acompanhamento e verificação da eficiência das ações executadas.

O autor destaca ainda da necessidade de realizar o monitoramento ambiental da área de execução do PRAD com objetivo de identificar e acompanhar os sucessos e insucessos que o projeto venha a sofrer, apontando correções para as falhas que possam surgir.

Costa (2022b) apresenta, uma sugestão de etapas e procedimentos para ser adotado na recuperação de áreas que foram degradadas por algum tipo de mineração, que está esquematizada na (Figura 1).

Figura 1- Etapas para elaboração e execução de recuperação de áreas degradadas.



Fonte: Costa (2022b).

O tempo que sucede a intervenção de reabilitação é um ponto crucial na restauração de propriedades essenciais tanto do solo degradado quanto da estrutura vegetal (Balieiro *et al.*, 2017).

As atividades de preparo do solo durante a recuperação ambiental nas áreas mineradas podem acabar expondo a superfície do solo a chuvas e inundações, o que acaba intensificando o processo erosivo. (Barros *et al.*, 2013).

### **1.1.3 Revegetação**

Essa técnica de revegetação abrange métodos que vão desde a fixação localizada de espécies vegetais até a implantação de reflorestamentos extensivos. As principais medidas para recuperar áreas degradadas e torná-las produtivas novamente incluem o desenvolvimento e implementação de sistemas de manejo do solo, seguidos pela revegetação do local, promovendo também o retorno da fauna, especialmente de polinizadores e dispersores, restabelecer a produção biológica, como também mitigar o processo erosivo, estabilizar o terreno, proteger os recursos hídricos e reintegrar a paisagem, visando criar condições favoráveis à regeneração dos ecossistemas originais (Costa, 2022b; Carvalho, 2011; Patricio, 2009; Almeida; Sánchez, 2005).

A revegetação permite restaurar a produção biológica do solo, aumentar a disponibilidade de recursos hídricos e reduzir e controlar a erosão do terreno. No país, desde 1970, técnicas de revegetação têm sido aplicadas em áreas de exploração nas minas de bauxita em Poços de Caldas – MG (Costa, 2022b). O autor também estabelece técnicas de revegetação e propõe uma sequência das atividades a serem realizadas em áreas que sofreram degradação por mineração, sendo elas:

- Planejamento,
- Controle da erosão,
- Realização de obras de drenagem na área a ser explorada,
- Decapeamento e abertura da cava,
- Remoção da cobertura vegetal,
- Lavra,
- Beneficiamento,
- Remodelamento topográfico,
- Tratamento da superfície final,
- Revegetação,

- Manutenção,
- Monitoramento e uso futuro do solo.

Espécies herbáceas introduzidas em áreas mineradas criam condições favoráveis para a germinação e o estabelecimento de sementes e propágulos que, porventura, chegam ao local de forma natural. (Silva; Corrêa, 2010).

Os benefícios de uma cobertura herbácea em áreas mineradas são ampliados com o uso de espécies forrageiras nativas, especialmente leguminosas (Silva; Corrêa, 2010). A revegetação com espécies nativas e a condução da regeneração natural, ajudam na diminuição de passivos ambientais, especialmente em áreas abandonadas pelas mineradoras (Soares; Castilhos, 2015). Essa cobertura vegetal e a biomassa final, devem ser adequadas ao proposto como função da área após o processo de recuperação. (Reis, 2006).

Em áreas de mineração na Amazônia, o uso de leguminosas arbóreas junto com bactérias fixadoras de nitrogênio e fungos micorrízicos tem se mostrado extremamente eficaz na recuperação ambiental. Por meio de uma colaboração entre uma empresa mineradora e um centro de pesquisa, essa técnica foi testada no depósito de rejeito de bauxita em Porto Trombetas - PA (Soares; Castilhos, 2015).

#### **1.1.4 Legislação**

No setor de mineração, embora as grandes e médias empresas geralmente cumpram as normas ambientais há bastante tempo, as pequenas mineradoras e os garimpos ainda operam com pouco ou nenhum controle ambiental. (Viana; Almeida, 2010).

Com a Constituição Federal de 1988, as questões ambientais foram abordadas com mais ênfase, principalmente no que diz respeito a exploração mineral e a recuperação das áreas degradadas de atividades de mineração. (Danieski, 2013).

As obrigações dispostas no artigo 225 da Constituição, parágrafo § 2º que diz: “Aquele que explorar recursos minerais fica obrigado a recuperar o meio ambiente degradado, de acordo com solução técnica exigida pelo órgão público competente, na forma da lei”.

Costa (2022b); Carvalho (2011), trazem que para a Política Nacional do Meio Ambiente (PNMA – Lei n. 6938/81) a degradação ambiental é toda a alteração adversa às características do meio ambiente que ocorre, principalmente, devido a ações antrópicas. Também diz que qualquer ação que cause impacto ambiental negativo é classificada como degradação ambiental. Outro ponto importante da lei, foi que para que se consiga o

licenciamento ambiental, deve ser feito o Estudo de Impacto Ambiental (EIA) e o Relatório de Impacto Ambiental (RIMA).

IBAMA (1986) traz a resolução do CONAMA n. 001 de 1986, que:

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

O Decreto Federal n. 97.632 de 10 de abril de 1989, foi o primeiro marco regulatório de áreas degradadas e estabelece que todo empreendimento de mineração deve constar em órgão ambiental competente junto com outros documentos e o Plano de Recuperação de Área Degradada (PRAD). Exige ainda maior controle ambiental referente as empresas nas áreas de influência dos empreendimentos de mineração (Costa, 2022b; Danieski, 2013; Almeida; Sánchez, 2005; Brandi, 1994). Soares; Castilhos (2015) cita que os empreendimentos que fazem a exploração mineral devem apresentar o PRAD aos órgãos competentes durante o processo de licenciamento.

Costa (2022b); Furmanski *et al.* (2014); Danieski (2013); Carvalho (2011); Lima *et al.* (2006) trazem as Normas Técnicas Brasileiras (NBR) que são importantes na elaboração de um projeto de reabilitação de áreas degradadas por atividade de mineração. A NBR 13030 de 1999 que dispõe sobre a “elaboração e apresentação de projeto de reabilitação de áreas degradadas pela mineração” e a NBR 13029 de 2006 que dispõe sobre “elaboração e apresentação de projeto de disposição de estéril, em pilha, em mineração”.

A Lei n. 9.985/2000 do Sistema Nacional de Unidade de Conservação (SNUC), traz que recuperação consiste na “restituição de um ecossistema ou de uma população silvestre degradada a uma condição não degradada, que pode ser diferente de sua condição original”. (Franco; Marimon, 2008).

Outras diretrizes que orientam sobre PRAD, no estado de Santa Catarina são as Instruções Normativas (IN) do IMA-SC IN n 7, IN n 16 e IN n 74, todas do Instituto de Meio Ambiente de Santa Catarina (IMASC), além da Resolução CONAMA n 420/2009.

Os princípios e fundamentos do PRAD também são mencionados na Lei Federal n 9.605/1998, conhecida como a Lei dos Crimes Ambientais. Essa legislação impõe ao infrator a obrigação de restaurar o ambiente degradado. Além disso, a Lei Federal n 12.651/2012, que corresponde ao novo Código Florestal, é fase inicial do procedimento para regularização de

passivos ambientais, e desempenha um papel fundamental na recuperação de áreas de reserva legal e áreas de preservação permanente (Costa, 2022a; SKORUPA *et al.*, 2021).

Costa (2022a) cita também a IN n 4 de 13 de abril de 2011 e a IN n 11/2014, ambas do IBAMA, como as mais recentes instruções normativas que estabelecem procedimentos para a elaboração de PRAD.

Na mineração de areia, é importante destacar a Resolução SMA 42/96, da Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo, que regulamenta a atividade extrativa de areia no vale do rio Paraíba do Sul. Essa resolução impõe aos mineradores a obrigação de seguir uma série de procedimentos operacionais para mitigar os impactos ambientais e estabelece medidas específicas para a recuperação das áreas degradadas. Além disso, a resolução define valores de referência para determinados parâmetros, como altura média das plantas, grau de cobertura e densidade de plantas, com o objetivo de avaliar o desempenho da revegetação (Almeida; Sánchez, 2005).

## 1.2 PRECIPITAÇÕES PLUVIOMÉTRICAS

As chuvas, ou precipitações pluviométricas é um fator climático que apresenta grande variação de região para região, seja em cidades, estados ou países. É comum em eventos de chuvas ocasionar estragos no meio urbano, como alagamento de ruas, entupimento de bueiros, grelhas, bocas de lobo, entre outros dispositivos de drenagem. No meio rural ocorre deslizamento de encostas e taludes, erosões nas estradas, inundação de lavouras e pastagens entre outros transtornos que um volume considerado de chuva pode causar (Back, 2013). Nos últimos anos vimos desastres naturais que são causados principalmente por fatores hidrológicos, que acabam causando transtornos às cidades (Zambrana, 2014).

As precipitações são formadas através do resfriamento da massa de ar úmida, que acaba se tornando em minúsculas gotículas de água. Estas gotículas ficam em suspensão e através do seu crescimento vão aumentando de peso até que acabam precipitando até a superfície da terra (Back, 2022). Uma chuva para ser considerada de intensidade fraca tem volume de 1,1 a 5 mm/h, já considerada moderada deve ser de 5,1 a 60 mm/h, e é considerada forte acima de 60 mm/h (Back *et al.*, 2023; Coelho; Back, 2015; Zambrana, 2014).

Uma chuva extrema, para ter essa determinação, deve ser levada em conta a quantidade de chuva em um intervalo de tempo e a área que essa chuva abrange (Zambrana, 2014). As chuvas intensas são caracterizadas por três fatores, a intensidade, duração e frequência (Souza *et al.*, 2012; Santos *et al.*, 2010).

Quando analisados os dados de uma precipitação, podemos observar que quanto maior for sua duração, a sua intensidade é menor, e se verifica que as maiores intensidades são menos frequentes (Back, 2022). Ainda segundo o autor, a chuva pode ser classificada de três tipos: Chuvas frontais ou ciclônicas - resulta da elevação do ar quente sobre o ar frio na zona de contato entre as massas de ar com características diferentes; Chuvas orográficas - é causada pelo resfriamento da massa de ar úmido, que quando se encontra com uma barreira de montanhas é forçada a uma elevação, o que acaba forçando a precipitação; Chuvas convectivas - são as chuvas causadas pelo forte aquecimento solar da superfície da terra e das camadas mais baixas da atmosfera, provocando um aumento significativo nas massas de ar em altitudes elevadas.

Para Zambrana (2014) a precipitação é influenciada também pela temperatura da superfície do oceano, que com a sua elevação há um aumento no número de eventos extremos de chuvas, e isso vem se repetindo com mais frequência a cada ano.

As chuvas causam estragos tanto em áreas urbanas quanto no meio rural, e as características das precipitações que mais interferem no processo erosivo é a intensidade, duração e a frequência, além do efeito da Erosividade (Santos *et al.*, 2010). A erosão do solo é um processo natural e gradual que ocorre ao longo do tempo, e causa mudanças no relevo devido a infiltração da água que ocorre nas camadas mais profundas do solo e também ao escoamento superficial, que faz com que leve fragmentos do solo para outros locais (Zambrana, 2014; Santos *et al.*, 2010;).

O uso e ocupação do solo é um fator que ajuda a acelerar esse processo erosivo, principalmente quando são feitos preparos do solo e a chuva acaba modificando a superfície criada, isso ocorre devido a desagregação das partículas que junto com a água da chuva acaba arrastando esse solo (Santos *et al.*, 2010; Castro *et al.* 2006). Uma forma de mitigar a erosão do solo é por meio da implantação de cobertura vegetal, que ajuda no combate a erosão laminar e consequentemente auxilia na fixação de nutrientes (Santos *et al.*, 2010).

Os PRAD após a regularização da superfície terrestre e posterior às obras de drenagem recebem uma camada de solo fértil e cobertura vegetal para ajudar no combate ao processo erosivo. Para Santos *et al.* (2010), a cobertura vegetal e a matéria orgânica ajudam a reduzir numa redução de até 62% da velocidade da água nas enxurradas e a reduzir 90% da perda de solos.

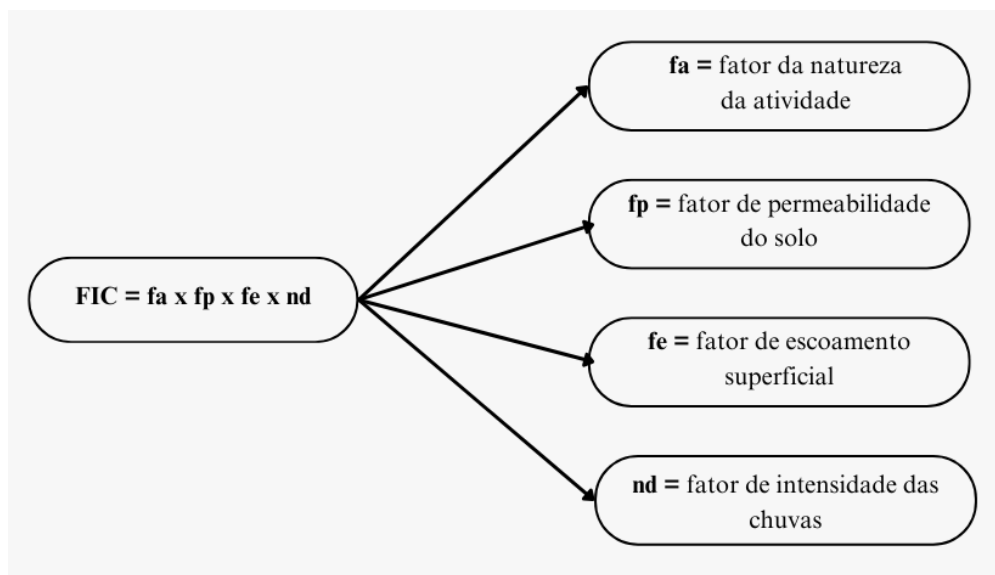
### 1.3 FATOR DE INFLUÊNCIA DE CHUVAS

Qualquer obra executada ao ar livre, especialmente obras de engenharia e infraestrutura, geralmente sofrem influência dos períodos chuvosos principalmente pela intensidade da chuva e suas consequências estão atreladas as características do solo e do terreno, como textura, granulometria, permeabilidade, cobertura vegetal, declividade, dentre outros fatores (DNIT, 2021; 2017).

Ainda conforme DNIT (2021; 2017) com a finalidade de antecipar o impacto da pluviometria e outras condições climáticas que impliquem na eficácia dos equipamentos e na produtividade das equipes mecânicas e de mão de obra, o sistema de custos referenciais de obras (SICRO) sugere que seja utilizado um Fator de Influência de Chuvas (FIC) para ser aplicado diretamente sobre o custo unitário de execução (considerando a mão de obra e equipamentos) de determinados serviços.

O FIC é determinado em função do ônus de diversos fatores que interferem quando executado uma obra, seja mitigando ou agravando a situação, que será aplicado na composição de custos de alguns serviços (DNIT, 2017). O FIC é determinado pela expressão conforme a Figura 2.

Figura 2 - Cálculo do FIC.



Fonte: Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte (2021).

### 1.3.1 Fator da natureza da atividade - fa

O fator da natureza de atividade (fa), define o quanto algumas atividades sofrem influência da chuva na execução de seu serviço, não desobrigando a observância quanto as especificações do serviço (DNIT, 2021; 2017). A Tabela 1 traz os valores de fa.

Tabela 1 - Fator da natureza da atividade - fa.

Descrição dos serviços	Fator da natureza da atividade			
	fa = 0,25	fa = 0,50	fa = 1,0	fa = 1,5
Desmatamento e destocamento	x			
Escavação, carga e transporte de material de 1ª categoria				x
Escavação, carga e transporte de material de 2ª categoria		x		
Escavação, carga e transporte de material de 3ª categoria	x			
Escavação, carga e transporte de solos moles ou saturados				x
Transporte em caminhos de terra				x
Compactação de aterros em solo				x
Compactação de material de bota-fora				x
Manutenção de caminhos de serviço				x
Reaterros				x
Regularização de erosão				x
Reforço de subleito				x
Sub-base de solo estabilizado				x
Regularização de solo estabilizado				x
Base de solo estabilizado				x
Base de brita graduada		x		
Base de macadame hidráulico		x		
Base de solo cimento				x
Base de solo molhado com cimento				x
Base de solo-brita				x
Sub-base de solo melhorado com cimento				x
Sub-base de concreto rolado	x			
Sub-base de concreto de cimento Portland	x			
Pavimento de concreto		x		
Mistura asfáltica	x			
Micro revestimento	x			
Tratamento superficial	x			
Macadame betuminoso	x			
Reciclagem de pavimentos			x	
Escavação de valas				x
Tapa-buraco, remendos			x	
Regularização de taludes				x

Fonte: Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte (2017).

Segundo a classificação do fa no SICRO (Tabela 1), os valores de 0,50, 1,00 e 1,50, tem maior influência das chuvas regulares em relação às condições normais, já aqueles classificados como 0,25 tem menor influência das chuvas (DNIT, 2017).

### 1.3.2 Fator de permeabilidade do solo - fp

A permeabilidade refere-se à característica que expressa a maior ou menor resistência à percolação da água pelos poros do solo. Em materiais granulares não coesivos, como a areia, a alta porosidade facilita o fluxo da água no solo, já nos materiais finos e coesivos, como a argila, ocorre precisamente o oposto (DNIT, 2021; 2017).

Segundo o DNIT (2017) e considerando este conceito, a permeabilidade será considerada máxima em solos arenosos e mínima em solos argilosos. Assim, a influência higroscópica do solo será máxima em solos argilosos e mínima em solos arenosos.

Quando não se tem informação quanto a composição granulométrica do subleito ou dos materiais constituintes dos aterros e das camadas de pavimentação, o fp que deverá ser adotado é de 0,75, que indica presença de solos argilo-arenoso ou areno-argiloso, que são amplamente distribuídos em todo o país (DNIT, 2021). A Tabela 2 traz os valores de fp.

Tabela 2 - Fatores de permeabilidade do solo - fp.

Classificação dos solos	Fator de permeabilidade
Areia	0,50
Areia Siltosa	0,65
Areia Argilosa	0,75
Argila Arenosa	0,75
Argila Siltosa	0,85
Argila	1,00

Fonte: Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte (2021).

### 1.3.3 Fator de escoamento superficial - fe

O escoamento superficial pode ser classificado como o deslocamento da água na superfície da terra, em função da intensidade e do período das precipitações terem excedido a capacidade de infiltração do solo (DNIT, 2017).

O que infiltra no solo é inversamente proporcional a declividade, o que acaba acontecendo de regiões mais baixas acabarem sentindo mais a influência das precipitações pluviométricas (ibidem). Já a inclinação, no sentido longitudinal, exerce uma influência neutra sobre o fator de escoamento superficial, facilitando o movimento da água nas áreas mais

elevadas e dificultando nas partes inferiores do terreno (DNIT 2021; 2017). A Tabela 3 traz os valores de fe.

Tabela 3 - Fatores de escoamento superficial - fe.

Declividade transversal (%)	Fator de escoamento superficial
$D \leq 1$	1,00
$1 < D < 5$	0,90
$D \geq 5$	0,80

Fonte: Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte (2017).

Na ausência de informações detalhadas no projeto sobre a declividade, deve-se usar um fator de escoamento superficial de 0,95 (DNIT 2017).

### 1.3.4 Fator de intensidade de chuvas - nd

A precipitação que atinge o solo, parte dessa água infiltra e outra acaba retida em depressões que com o passar do tempo vai acabar evaporando (DNIT, 2017).

No momento que há ocorrência de chuvas, os serviços tendem a ser paralisados em função da intensidade, mas conforme diminui ou se encerra a precipitação, os serviços podem ser retomados. No entanto, as chuvas com maior intensidade acabam influenciando no andamento das atividades devido a água que acaba infiltrando no solo (ibidem).

Com base na intensidade diária das chuvas registradas nos postos da Agência Nacional de Águas e Saneamento (ANA), é possível calcular o fator de intensidade relativa ao percentual médio de dias paralisados pelas chuvas em todas as unidades da federação (DNIT, 2021; 2017). As equações 1 a 3 apresentam a expressão para cálculo do nd DNIT (2021).

$$\text{Se } x_i \leq 5 \quad \text{nd} = 0 \quad (1)$$

$$\text{Se } 5 < x_i < 20 \quad \text{nd} = \frac{x_i}{15} - 0,333 \quad (2)$$

$$\text{Se } x_i \geq 20 \quad \text{nd} = 1 \quad (3)$$

Onde:

nd é a média da soma das parcelas dos dias efetivamente paralisados no mês.

$x_i$  representa a intensidade da chuva em 8 horas do dia (chuva diária/3) mm.

n é o número de dias do período considerado.

A Tabela 4 apresenta os fatores médios de intensidade de chuvas que é calculado para as diferentes unidades da federação, em função dos valores médios coletados nos postos pluviométricos.

Tabela 4 - Fator de intensidade de chuvas médios por unidade da federação.

Região	Unidade da federação	FIC
Norte	Acre	0,03145
	Amapá	0,06041
	Amazonas	0,05334
	Pará	0,04583
	Rondônia	0,04562
	Roraima	0,03690
	Tocantins	0,03124
Centro-Oeste	Distrito Federal	0,02255
	Goiás	0,02576
	Mato Grosso	0,03317
	Mato Grosso do Sul	0,02682
Sul	Paraná	0,03459
	Rio Grande do Sul	0,02961
	Santa Catarina	0,03482
Sudeste	Espírito Santo	0,02475
	Minas Gerais	0,02140
	Rio de Janeiro	0,02580
	São Paulo	0,02656
Nordeste	Alagoas	0,01306
	Bahia	0,01434
	Ceará	0,01382
	Maranhão	0,02748
	Paraíba	0,01639
	Pernambuco	0,01647
	Piauí	0,01796
	Rio Grande do Norte	0,01143
Sergipe	0,02122	

Fonte: Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte (2017).

Os autores Back *et al.* (2023) e Coelho; Back (2015), trazem como proposta o critério de que as chuvas diárias com altura pluviométrica entre 5 e 10 mm resultam no equivalente a um quarto (0,25) de um dia parado, chuvas diárias entre 10 e 15 mm implica em metade de um dia parado (0,50), chuvas diárias com altura pluviométrica entre 15 e 20 mm acarreta em três quartos de dias parado (0,75), e por fim chuvas superiores a 20 mm por dia equivale a um dia (1) parado. A Tabela 5 traz especificado a relação entre a chuva e os dias parados propostos por Coelho; Back (2015).

Tabela 5 - Relação entre a intensidade de chuvas e dias parados.

Intensidade da chuva (mm/dia)	Interferência (dia parado)
$\leq 5$	0,00
$>5 \text{ e } \leq 10$	0,25
$>10 \text{ e } \leq 15$	0,50
$>15 \text{ e } \leq 20$	0,75
$>20$	1,00

Fonte: Coelho; Back (2015).

Também foi apresentado por Back *et al.* (2023) e Coelho; Back (2015) o fator número de dias parados por mês (nd) conforme a equação 4:

$$nd = \frac{ndp}{ndm} \quad (4)$$

Onde:

nd: fator número de dias parados.

ndp: número de dias parados no mês.

ndm: número de dias no mês.

O principal foco desse estudo é o Fator da Natureza da Atividade (fa), para que por meio deste seja determinado valores para os serviços realizados durante a execução de plano de recuperação de área degradada.

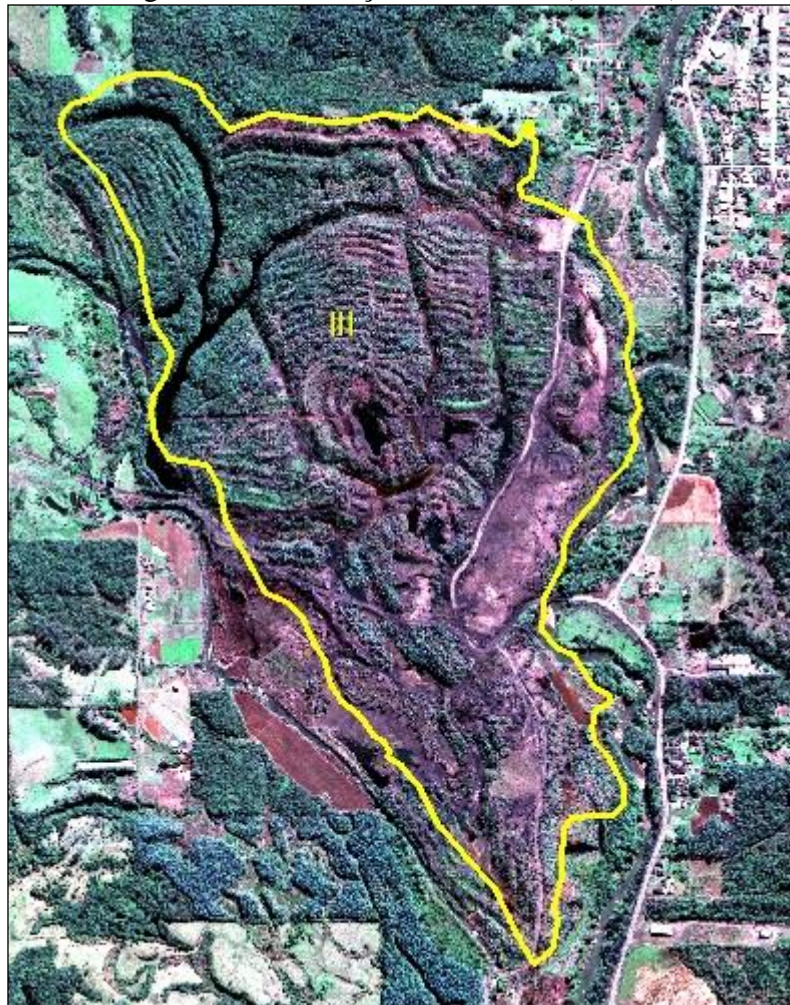
## 2 MATERIAS E MÉTODOS

### 2.1 DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo está localizada no município de Treviso. O município tem cerca de 3.782 habitantes e uma área de 156,610 km<sup>2</sup> (IBGE, 2022), estando localizado na região Sul de Santa Catarina.

A Área III (Rio Pio) está entre a confluência dos rios Pio e Mãe Luzia, na Bacia Hidrográfica do Rio Araranguá (BHRA). Após explorada pela mineração a céu aberto, a área degradada gerou em um passivo de 117,79 ha que tem afetado a qualidade da água desses rios e o ambiente em seu entorno.

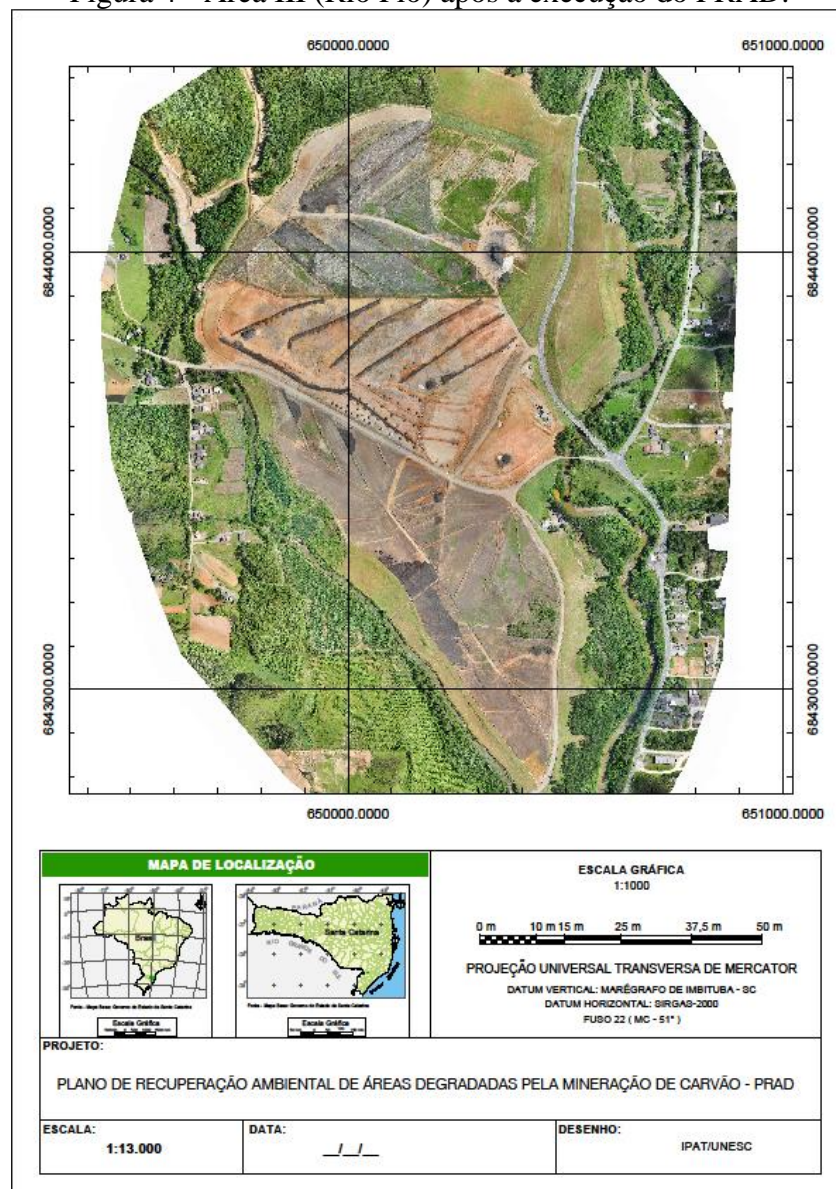
Figura 3 - Localização da Área III (Rio Pio).



Fonte: PRAD Áreas Ex-Treviso – Diagnóstico Ambiental, UNESC, 2010.

A área que envolve esta pesquisa, foi recuperada por empreiteira contratada via processo de licitação de responsabilidade do Serviço Geológico do Brasil (SGB), órgão este vinculado ao Ministério de Minas e Energia, da União. Estes assumiram as áreas de passivo ambiental oriundo da antiga Carbonífera Treviso S.A. e da Companhia Brasileira Carbonífera Araranguá (CBCA) para recuperação dos passivos causados pela extração do carvão. A Figura 4 ilustra a Área III Rio Pio após conclusão das obras do PRAD Executivo.

Figura 4 - Área III (Rio Pio) após a execução do PRAD.



Fonte: Adaptado de CEGEO 2022.

Em 2010, durante a realização do Diagnóstico Ambiental das áreas degradadas da Ex-Treviso, onde está localizada a Área III – Rio Pio, foi identificada a presença de um lixão sob responsabilidade da Prefeitura Municipal de Treviso (Figura 5). Nesse local, ao longo de seis

anos, foram depositadas cerca de 2.500 toneladas de resíduos sólidos urbanos e pequenos resíduos industriais, configurando mais um passivo ambiental na região (UNESC, 2010).

Na época em que o Diagnóstico Ambiental estava sendo realizado, a rodovia estadual SC-446 encontrava-se em construção e utilizou o próprio estéril da área como base. Essa decisão poderia gerar problemas futuros, uma vez que o estéril foi classificado como altamente agressivo.

Figura 5 - Identificação do lixão de responsabilidade da Prefeitura Municipal de Treviso.



Fonte: PRAD Áreas Ex-Treviso – Diagnóstico Ambiental, UNESC, 2010.

Na área estudada afloram rochas pertencentes às formações Rio Bonito e Palermo, que junto com os cursos d'água que drenam a área tem a ocorrência de depósitos aluviais (UNESC, 2010).

Durante a execução do diagnóstico ambiental realizado pela UNESC/IPAT em 2010, constatou-se que na área era possível visualizar pilhas de estéril de até 15 metros de altura e deposição irregular de outros tipos de resíduos.

Para o uso futuro da área foi sugerido áreas de APP nas margens dos rios Pio e Mãe Luzia, bem como respeitar uma área de reserva legal, mas que também há locais que poderiam ser utilizados como áreas de utilidade pública. Já a área do lixão, de responsabilidade da Prefeitura, deveria permanecer isolada.

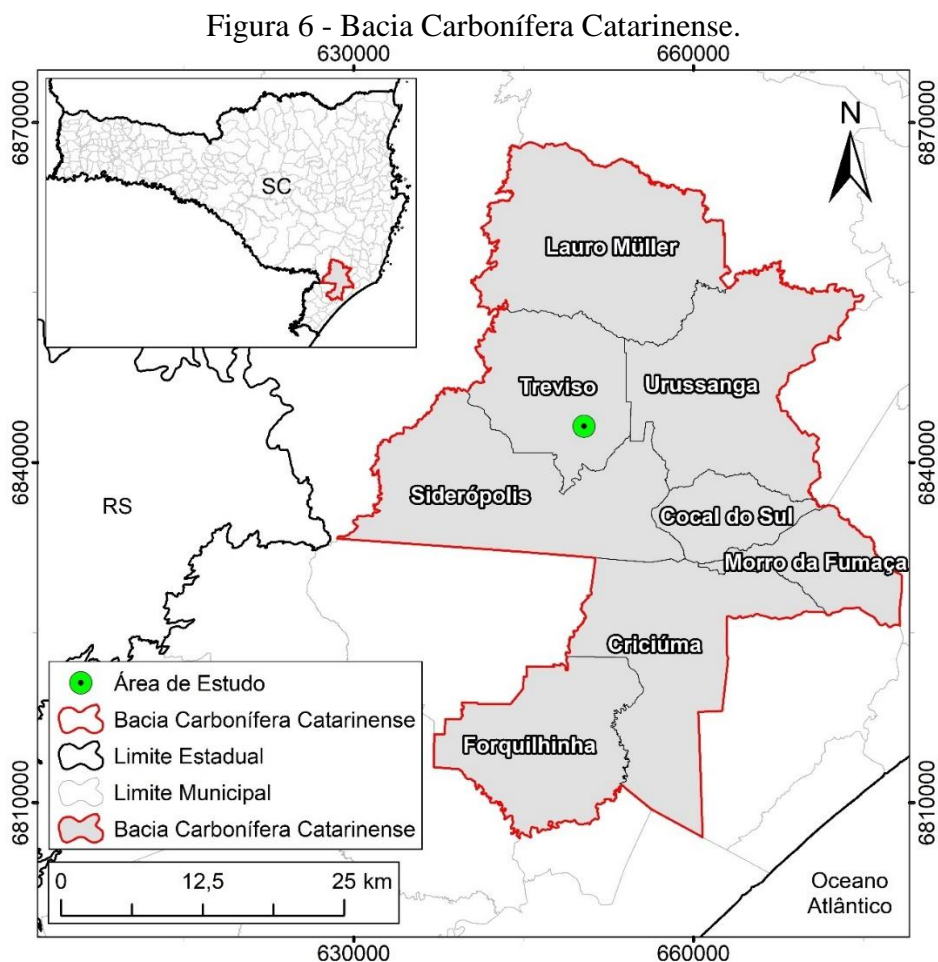
## 2.2 METODOLOGIA

Para alcançar os objetivos propostos para a pesquisa, foram adotados métodos de trabalho que pudessem ampliar os conhecimentos, facilitar o desenvolvimento de trabalho e por fim chegar no resultado proposto no início da pesquisa.

### 2.2.1 Estimativa de ocorrência de dias de chuva

Para poder estimar os dias de chuvas na Bacia Carbonífera Catarinense (BCC) (Figura 6) foram utilizados os dados diários de precipitação das estações pluviométricas da Rede hidrológica da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) e do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), localizadas próximas da área de estudo.

A partir da estimativa da média anual de chuvas na Bacia Carbonífera Catarinense, será possível obter outras análises como média anual de dias parados, média anual de chuva maiores de 5,0 mm e mapa da demonstração do fator *nd* na região da Bacia Carbonífera Catarinense através de estimativa dos dados colhidos das estações analisadas.



Para análise das chuvas na BCC, foram usadas as séries das estações pluviométricas conforme Tabela 6 e determinado um período para a análise dos dados de chuva de cada uma delas.

Os dados de cada estação foram obtidos através do Hidroweb (ANA, 2024).

Tabela 6 - Estações pluviométricas utilizadas.

Nome da Estação	Código	Município	Latitude (S)	Longitude (W)	Ano Inicial	Ano Final	Órgão resp. pela estação	Distância da área (km)
Bom Jardim da Serra	2.849.009	Bom Jardim da Serra	28°20'22''	49°37'17''	1990	2023	ANA	25,4
Urussanga	2.849.011	Urussanga	28°32'02''	49°18'58''	1990	2023	INMET	14,6
Timbé do Sul	2.849.019	Timbé do Sul	28°50'06''	49°50'14''	1990	2023	ANA	49,9
Içara	2.849.022	Içara	28°44'31''	49°18'39''	1990	2023	ANA	27,7
Despraiado	2.849.023	Bom Jardim da Serra	28°22'08''	49°48'28''	1990	2023	ANA	38,08
Foz do Manuel Alves	2.849.024	Meleiro	28°51'13''	49°35'22''	1990	2023	ANA	38,00
Pedras Grandes	2.849.028	Pedras Grandes	28°26'03''	49°10'57''	1990	2023	ANA	29,5

Fonte: Autor (2024).

### 2.2.2 Determinação de dias parados em função das chuvas durante a execução PRAD da Área III – Rio Pio

Seguindo na linha dos objetivos, foi necessário analisar o cronograma da obra do PRAD Executivo da Área III (Rio Pio), para verificar o período em que o projeto foi executado e analisar os dias de interferência das chuvas no período das obras e as consequências que essas precipitações podem ter causado ao longo da execução das obras.

Para esta análise foi necessário verificar o período da execução das obras através de diários de obras de fiscalização e relatórios dos trabalhos realizados e em seguida buscar a ocorrência de chuvas nesse mesmo período, através de estações pluviométricas que existiam mais próximo da área de estudo.

Tendo os dados das chuvas no período, foi necessário observar os valores diários de precipitação para ver se foi capaz de prejudicar o andamento das obras a ponto de terem que ser paralisadas. A informação se houve necessidade de paralização na obra devido as chuvas, foram obtidas nos diários de obra da fiscalização.

No cronograma inicial da obra foi possível analisar se as chuvas acarretaram atraso no prazo final da execução do PRAD ou se já estava prevendo um possível atraso por esse motivo. Há também casos em que é possível concluir a obra antes do prazo estimado em cronograma, mesmo com períodos chuvosos, isso vai depender de um acerto entre contratante e contratado e em relação a produtividade dos trabalhos

### **2.2.3 Proposição de método de FA para PRAD**

Para a proposição de uma planilha de classificação do Fator da Natureza da Atividade - fa para obras de PRAD foi necessário analisar alguns projetos já executados de PRAD, pois dependendo da área, topografia do terreno e outros fatores, as atividades podem mudar de um projeto para outro. Com base nestas análises das atividades que contém em cada projeto, foi possível elaborar uma tabela relacionando todas as atividades e em seguida propor um Fator de Atividade para cada uma, conforme o proposto pelo DNIT na Tabela 1. Além do projeto executivo também foram analisadas as planilhas orçamentárias onde é discriminado cada atividade e serviço que foi realizado durante a execução do projeto.

Quando se fala no FIC, outros fatores são levados em conta para o cálculo como fp, fe e nd. No caso da análise para os projetos executivos de PRAD, a pesquisa tem por objetivo propôs apenas a adaptação do fator fa, os outros fatores que envolvem o cálculo do FIC foram utilizados conforme os parâmetros adotados pelo DNIT.

### **2.2.4 Análise do impacto de dias parados versus cronograma e custos de execução do PRAD**

Por fim foi analisado os impactos dos dias parados nos custos e execução do projeto e no prazo final de entrega do projeto.

Inicialmente foi analisado se os dias de chuva causaram alguma interferência no cronograma inicial do projeto, o que poderemos observar através do proposto no item 2.2.2.

O segundo ponto analisado foi se na época de estudo e elaboração do PRAD, na planilha orçamentária foi considerado um FIC nos custos do Sicro dos serviços inseridos no projeto. Caso não tenha sido considerado, foi feito uma análise de quanto impactaria o valor do FIC nos dias atuais para cada serviço realizado.

Caso a chuva tenha acarretado atrasos no cronograma e prazo final de entrega, foi analisado se esse atraso acarretou custos adicionais para a empreiteira responsável pela execução do projeto ou se foi possível concluí-lo com o valor licitado.

Geralmente em planilhas orçamentárias não é levado em consideração possíveis atrasos nas obras de engenharia devido as chuvas. Quando ocorre um atraso por esse motivo, geralmente as empresas precisam pedir um aditivo no contrato e deve ocorrer um acerto entre contratante e contratada.

### 3 APRESENTAÇÃO DE ANÁLISE DOS RESULTADOS

Neste capítulo serão apresentados resultados dos dados obtidos e avaliados referentes as chuvas na região da BCC, o período de chuvas e possíveis efeitos que causaram na execução do PRAD da Área III - Rio Pio. Complementarmente, foi feito a análise da consideração ou não de um Fator de Influência de Chuvas nos custos dos serviços executivos do PRAD e pôr fim a tabela de classificação do Fator da Natureza da Atividade (fa) proposto para as atividades de PRAD. Também foi realizada a discussão dos dados tendo em vista responder aos objetivos específicos da dissertação.

#### 3.1 OCORRÊNCIA DE CHUVAS NA BACIA CARBONÍFERA CATARINENSE

O conhecimento sobre a ocorrência de chuvas em uma região é essencial para o planejamento adequado de uma obra, pois permite antecipar e minimizar os impactos no cronograma e no orçamento. Chuvas frequentes ou intensas podem afetar atividades críticas, como escavações, entrega de terra, concretagem e transporte de materiais, resultando em atrasos e aumento de custos. Ao incorporar informações climáticas no planejamento, é possível programar as etapas da obra de forma mais eficiente, evitando paralisações inesperadas e garantindo a continuidade dos serviços. Dessa maneira, a análise das condições climáticas contribui diretamente para a otimização dos recursos e a entrega da obra dentro dos prazos e custos previstos.

Back *et al.* (2021) afirmam que a concentração de chuvas em determinados períodos pode representar um maior risco de ocorrência de eventos como erosão, inundação e penetração, enquanto a ausência de chuvas em outros períodos pode indicar a possibilidade de secas. Estudos realizados por Sant Ana; Back (2019) apontam que há alguns meses em que se observa uma tendência de aumento da precipitação pluviométrica no sul catarinense, com destaque para o quarto trimestre do ano e para o volume total das chuvas anuais.

Para esta análise da ocorrência de chuvas na BCC foram analisados os dados de chuva de seis estações pluviométricas distribuídas em municípios no entorno desta região e analisados os dados entre os anos de 1990 e 2023 (Figura 7). As análises apontam as ocorrências anuais e mensais.

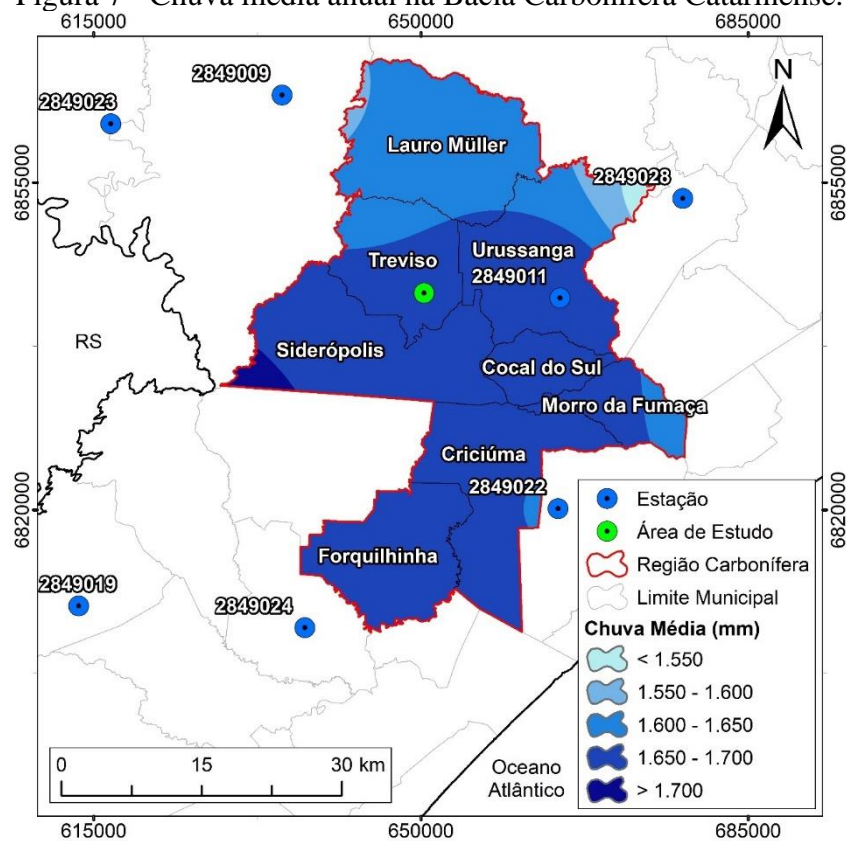
Para a aplicação da ferramenta de geoprocessamento no estudo, foi utilizado o software ArcGis 10.8 (ESRI, 2019), este que atendeu amplamente através de suas ferramentas o processamento dos dados em ambiente computacional. O software ArcGis 10.8 baseia-se nas

técnicas de SIG (Sistema de Informação Geográfica) que compreende a ciências do geoprocessamento.

Só assim foi possível aplicar o método geostatístico IDW (Interpolação Ponderada de Distância Inversa) elevada a 2ª potência, possibilitando estimar os dados de precipitação, dias parados e fator nd. Foram selecionados para a área de estudo 7 estações pluviométricas (Tabela 6). Já para a definição da área de estudo na etapa de processamento dos dados, foi elaborado o arquivo shapefile representando a bacia carbonífera catarinense, onde foram separados os municípios de interesse no estudo de acordo com IBGE (2023).

Este método geostatístico resultou em mapas que representam a estimativa de dados para toda a bacia carbonífera.

Figura 7 - Chuva média anual na Bacia Carbonífera Catarinense.



Fonte: Autor (2024).

Ao analisar o mapa, percebe-se que as áreas com os menores volumes anuais de chuva estão localizadas nas regiões mais distantes da Serra Catarinense. Um exemplo disso é o nordeste do município de Urussanga, que apresenta volumes de chuva inferiores em comparação à região oeste de Siderópolis, próximo à divisa com o estado do Rio Grande do

Sul. De forma geral, a Bacia Carbonífera Catarinense registra uma média anual de chuva acima de 1650 mm na maior parte dos municípios.

A área de estudo segue essa característica, provavelmente devido à proximidade com a região das encostas da serra, onde as precipitações são mais frequentes. Essa proximidade contribui para o aumento do número de dias chuvosos ao longo do ano, especialmente durante o verão, quando se tem os maiores volumes de chuvas registrados.

A Tabela 7 apresenta os volumes da média mensal de chuva de cada estação analisada e a média anual de cada estação.

Tabela 7 - Dados mensais de chuva média na Bacia Carbonífera Catarinense (1990 – 2023).

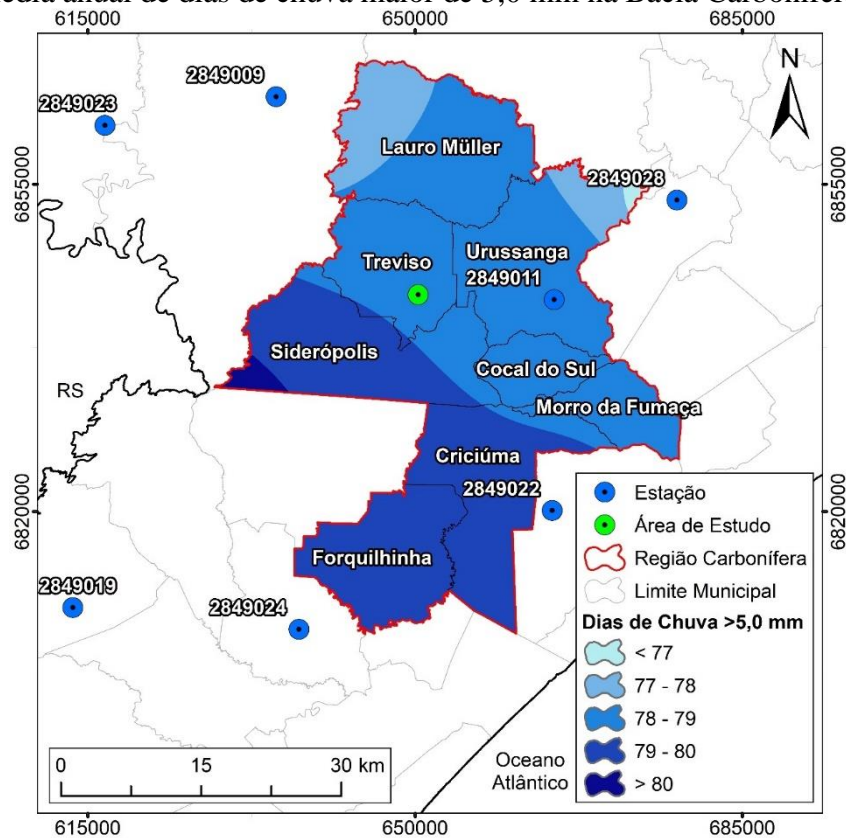
Estação	2849009	2849011	2849019	2849022	2849023	2849024	2849028
J	167,8	235,1	269,2	196,0	192,9	211,1	203,1
F	159,0	212,9	269,2	172,3	163,4	183,2	189,9
M	137,5	156,3	209,1	148,6	132,1	140,4	139,0
A	83,0	97,1	123,6	102,2	91,4	104,9	79,8
M	121,1	124,6	141,2	130,9	127,0	121,2	116,7
J	107,2	87,2	116,2	104,3	128,5	87,4	79,9
J	122,6	106,5	131,2	116,5	138,5	116,1	97,0
A	102,8	104,3	127,5	114,2	113,7	108,8	90,0
S	144,4	144,6	183,1	143,8	157,6	143,5	140,2
O	159,4	148,7	191,0	143,6	182,3	140,3	130,8
N	121,7	133,1	180,2	132,7	135,0	133,0	116,8
D	139,2	166,7	193,0	133,6	151,6	143,6	139,8
Ano	1568,6	1694,7	2059,8	1648,1	1738,2	1645,8	1502,8

Fonte: Autor (2024).

Analisando os dados, é possível observar que os meses de janeiro e fevereiro, em todas as estações, registram o maior volume médio de chuva no ano. Em alguns casos, o mês de março também apresenta valores elevados. Isso ocorre porque esses meses correspondem ao verão, uma estação marcada por maior incidência de chuvas. Por outro lado, o mês de abril se destaca por apresentar os menores volumes de chuva ao longo do ano. Os meses mais frios notamos uma ligeira estabilidade nos volumes em algumas das estações.

A Figura 8 ilustra a média anual de dias de chuva acima de 5,0 mm.

Figura 8 – Média anual de dias de chuva maior de 5,0 mm na Bacia Carbonífera Catarinense.



Fonte: Autor (2024).

Podemos observar que os dias com maior ocorrência acabam sendo mais ao sul e ao oeste da Bacia Carbonífera Catarinense.

Em comparação com a média anual da Figura 7, grande parte de onde ocorre os maiores volumes anuais acaba também sendo maior incidência de dias com precipitação superior a 5,0 mm, principalmente na região oeste de Siderópolis onde tem as maiores médias anuais. A distribuição deste mapa segue a semelhança da média anual de chuvas, principalmente nos municípios mais ao sul, essa similaridade indica que geralmente onde tem as maiores médias de precipitação, elas acabam sendo superiores a 5,0 mm.

A Tabela 8 apresenta os dados mensais da média de dias com precipitações superior a 5,0mm.

Tabela 8 - Dados mensais de chuva maior que 5,0 mm na Bacia Carbonífera Catarinense (1990 – 2023).

Estação	2849009	2849011	2849019	2849022	2849023	2849024	2849028
J	9,2	9,7	11,6	9,1	9,6	9,0	9,5
F	8,8	9,0	11,2	8,4	8,4	8,5	8,7
M	7,2	7,2	9,9	7,2	6,9	7,4	7,0
A	4,7	5,1	5,9	5,1	4,8	5,3	4,5
M	5,2	5,2	5,4	5,4	5,2	4,6	5,0

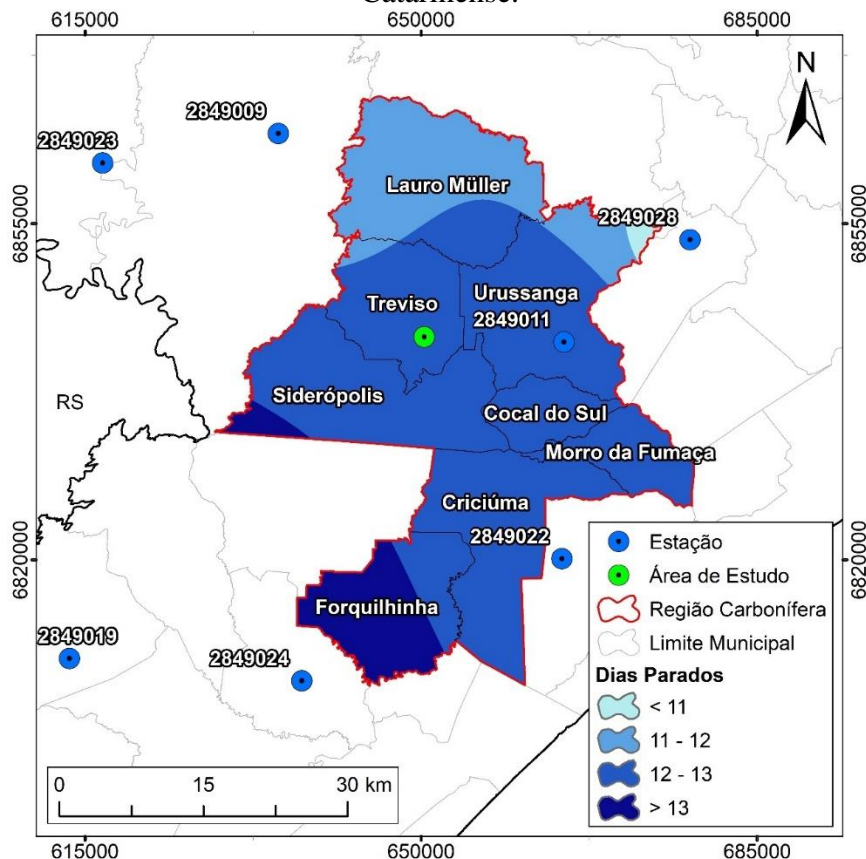
Estação	2849009	2849011	2849019	2849022	2849023	2849024	2849028
J	5,0	4,5	5,0	5,2	5,6	4,3	4,5
J	6,0	5,6	6,0	5,7	6,1	5,3	5,2
A	4,3	4,4	5,5	4,8	5,0	4,4	3,9
S	6,9	6,8	7,7	6,6	7,0	7,1	6,3
O	6,6	7,2	8,6	7,6	7,4	6,8	6,7
N	6,2	6,8	8,2	7,0	6,9	6,7	6,5
D	7,2	7,8	8,6	6,3	7,6	6,8	7,0
Ano	76,7	78,8	88,8	79,1	80,6	79,0	76,5

Fonte: Autor (2024).

Nesta distribuição podemos ver que não há uma grande diferença entre nos valores mensais. Novamente os valores maiores se apresentam nos meses mais quentes que é quando há maior incidência de chuvas, mas esse valor não chega a ser muito superior aos. O mês de agosto é o que apresentou o menor número de dias de chuva maior que 5,0 mm em todas as estações e apenas uma estação apresentou mais que 10 dias de precipitações superiores a 5,0 mm. Se não levarmos em conta os meses de janeiro, fevereiro e agosto, os dados se apresentam de maneira uniforme entre eles em cada mês.

A Figura 9 apresenta uma média dos dias parados por ano por causa das chuvas.

Figura 9 – Média anual mensal de dias parados por conta das chuvas na Bacia Carbonífera Catarinense.



Fonte: Autor (2024).

A distribuição dos dias parados segue um padrão muito semelhante com a distribuição da precipitação média anual. As regiões com o maior número de dias parados coincidem com aquelas que apresentam os maiores índices de chuva anual. Isso sugere que, nos dias de chuva, os volumes de precipitação são suficientemente altos para impactar negativamente as atividades relacionadas à movimentação de massa, como indicado pela correspondência entre os dois mapas. O município de Forquilha é que apresentou nas regiões sul até o oeste uma média de dias parado superior ao restante do município e da região, mesmo não tendo a média anual de chuvas tão alta.

Comparando a espacialização com a Figura 8, temos a mesma semelhança na distribuição dos dados, isso indica que a chuva maior que 5,0 mm é capaz de afetar um dia de trabalho.

Para fazer a espacialização dos dados e chegar na média de dias parados por conta das chuvas, foi aplicado a metodologia de Coelho e Back 2015 apresentado na Tabela 5 que leva em conta o volume precipitado por dia para indicar quanto afeta na produção diária.

A Tabela 9 mostra a média mensal dos dias parados por consequência das chuvas durante o ano.

Tabela 9 - Dados mensais de dias parados por conta das chuvas na Bacia Carbonífera Catarinense (1990 – 2023).

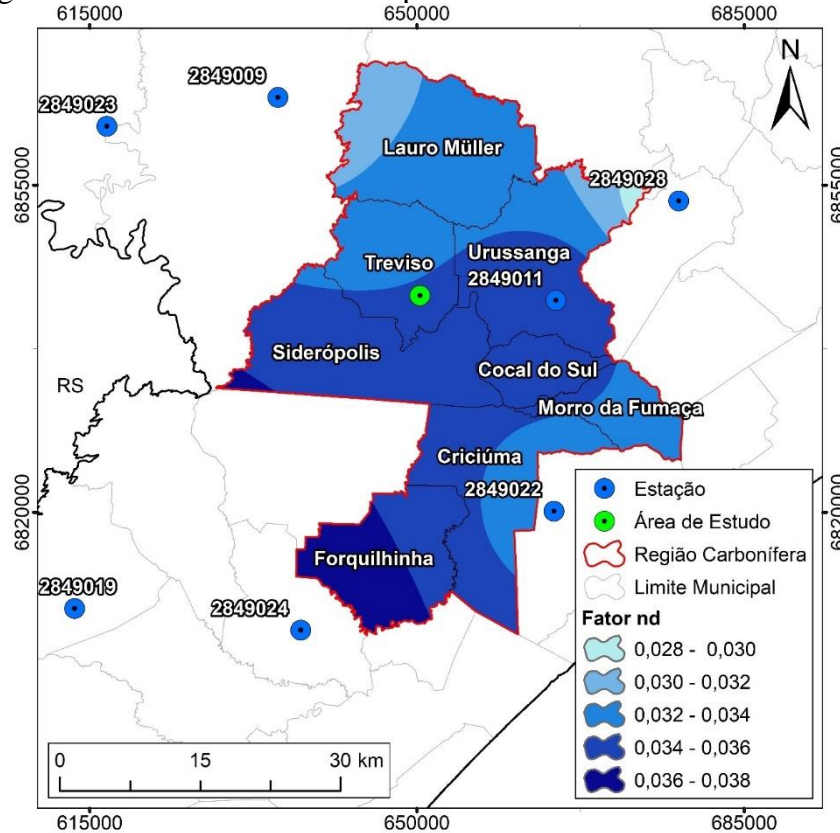
Estação	2849009	2849011	2849019	2849022	2849023	2849024	2849028
J	1,0	2,0	2,2	1,6	1,2	1,8	1,6
F	1,0	1,8	2,3	1,2	1,0	1,6	1,5
M	0,9	1,3	1,7	1,1	0,9	1,1	1,0
A	0,5	0,6	0,9	0,6	0,7	0,8	0,4
M	1,0	1,0	1,2	1,0	1,1	1,1	0,9
J	0,8	0,5	0,9	0,7	1,1	0,7	0,5
J	0,9	0,7	1,1	0,8	1,1	1,0	0,7
A	0,8	0,8	0,9	0,9	0,9	1,0	0,6
S	1,1	1,1	1,4	1,1	1,3	1,2	1,1
O	1,2	1,1	1,6	0,9	1,5	1,1	0,8
N	0,8	0,9	1,4	0,9	1,0	1,0	0,7
D	0,8	1,3	1,6	1,0	1,0	1,0	1,0
Ano	10,9	12,9	17,1	12,2	13,1	13,6	10,4

Fonte: Autor (2024).

Observando os dados podemos ver que o mesmo ocorre com a Tabela 7, onde os maiores valores se encontram nos meses que tem o maior volume médio de chuvas que são janeiro e fevereiro, e o mês de abril sendo o que representa a menor incidência de dias parados. Além disso, é possível notar que, em duas estações, o mês de dezembro já começa a registrar valores mais altos em comparação com os outros meses.

A Figura 10 apresenta o fator médio anual do nd.

Figura 10 - Fator nd médio anual para a Bacia Carbonífera Catarinense.



Fonte: Autor (2024).

A distribuição do nd acompanha a distribuição das chuvas anuais, isso porque ele se refere a intensidade das chuvas, ou seja, quanto maior a frequência de chuvas maior será o valor de nd. Tendo isso em vista podemos observar que nos mesmos locais onde as médias anuais de precipitação são maior, é o mesmo local onde a espacialização do nd apresenta seus maiores valores, e concentrando um valor entre 0,034 e 0,036 em grande parte da Bacia Carbonífera. Mas segue a mesma característica observada no mapa da média de dias parados (Figura 9), no município de Forquilha que foge um pouco da semelhança com a média anual de chuvas.

Mais uma vez os seus extremos se apresentam na região oeste e na região nordeste com uma condição maior também na região sul da Bacia Carbonífera.

Se for analisar a espacialização do nd com os dias parados (Figura 9), há grande semelhança na distribuição dos dados, visto que o nd é um fator fundamental para os dias parados em obras.

A Tabela 10 apresenta o nd mensal de cada estação.

Tabela 10 - Dados mensais do Fator nd para a Bacia Carbonífera Catarinense (1990 – 2023).

Estação	2849009	2849011	2849019	2849022	2849023	2849024	2849028
J	0,031	0,066	0,071	0,051	0,040	0,058	0,051
F	0,036	0,063	0,082	0,043	0,037	0,056	0,053
M	0,029	0,040	0,055	0,037	0,028	0,036	0,031
A	0,016	0,020	0,029	0,022	0,022	0,028	0,015
M	0,032	0,031	0,040	0,032	0,036	0,034	0,029
J	0,026	0,017	0,029	0,025	0,036	0,022	0,016
J	0,029	0,023	0,036	0,026	0,037	0,032	0,021
A	0,027	0,027	0,030	0,030	0,029	0,033	0,021
S	0,038	0,036	0,048	0,036	0,044	0,040	0,035
O	0,040	0,035	0,052	0,030	0,049	0,034	0,026
N	0,026	0,031	0,048	0,030	0,032	0,034	0,024
D	0,027	0,042	0,052	0,032	0,033	0,032	0,031
Ano	0,030	0,035	0,047	0,033	0,036	0,037	0,028

Fonte: Autor (2024).

Ao analisar os dados, percebe-se que, em apenas uma estação, o maior valor de nd não ocorre em janeiro ou fevereiro. Diferente do padrão observado nas outras tabelas, onde os maiores valores geralmente estão concentrados nos meses mais quentes e chuvosos, mas observamos que em alguns casos, o mês de agosto também apresenta valores elevados de nd. Por outro lado, o menor valor segue o padrão das outras tabelas, sendo registrado nos meses mais frios, como junho neste caso.

### 3.2 DIAS PARADOS EM FUNÇÃO DAS CHUVAS DURANTE A EXECUÇÃO DO PRAD DA ÁREA III - RIO PIO

As condições climáticas desempenham um papel fundamental na execução de projetos ambientais e de recuperação de áreas degradadas (PRAD). Entre os desafios enfrentados, os dias parados em função das chuvas se destacam como um dos principais fatores que podem impactar diretamente o cronograma e os custos dessas atividades. As chuvas intensas ou contínuas não apenas dificultam o acesso ao local das obras, como também comprometem a qualidade das intervenções realizadas, aumentando o risco de erosões e compactação do solo. Assim, compreender os impactos dos dias improdutivos por conta das chuvas e planejar estratégias para minimizar esses efeitos são aspectos cruciais para garantir o sucesso e o bom desenvolvimento de um PRAD, respeitando prazos, orçamentos e ter uma obra de qualidade.

Pensando nos dias em que as chuvas podem afetar uma obra, é importante compatibilizar as condições climáticas com a execução dos serviços é um aspecto crucial no planejamento de obras. Ignorar os períodos chuvosos durante a elaboração do cronograma pode levar à frequente necessidade de redefinição de prazos para a conclusão das atividades. Além

disso, as chuvas podem ocasionar uma série de dificuldades, como a redução no ritmo de trabalho, atrasos, interrupções temporárias e danos estruturais, como a erosão de taludes. Esses fatores não apenas comprometem a eficiência da obra, mas também podem gerar custos adicionais e riscos ao andamento do projeto (Farias et al., 2024).

Para verificar os dias parados e trabalhados na execução do PRAD da Área III Rio Pio, foi feita uma análise dos diários de obra da fiscalização e da executora da obra, onde se tem a condição climática de cada dia, as atividades realizadas e o apontamento de quando não houve condições de trabalhos devido as chuvas e solos muito úmidos em decorrência das precipitações.

A análise do diário de obra em planos de recuperação de áreas degradadas (PRAD) é uma ferramenta essencial para o acompanhamento e a gestão eficiente das atividades. Verificar e registrar os dias efetivamente trabalhados e os parados devido às chuvas permite identificar os impactos das condições climáticas no andamento da obra. A análise detalhada desses dados fornece informações valiosas para o planejamento de futuros projetos, permitindo maior precisão na previsão de prazos e na gestão de riscos climáticos.

A obra levou ao todo três anos, seis meses e quatorze dias para ser concluída, desde o primeiro dia de interferência pela executora até a fiscalização final para encerramento dos trabalhos. O período de execução se deu de 11/03/2016 a 25/09/2019, totalizando 1294 dias para a conclusão.

Inicialmente foi contabilizado o período de execução da obra e em seguida foi feito uma análise dos dias em que houve chuva e não foi possível trabalhar e os dias em que o tempo não estava chuvoso, mas devido as chuvas de dias anteriores o solo ficou muito úmido, sendo impraticável atividades na área ou em alguns dias dificultando apenas serviços que envolvessem a movimentação de material argiloso. Esses casos de conseguir trabalhar em dias de pouca chuva se deu mais no fim da obra, quando eram poucos os serviços de movimentação de massa e mais obras civis como execução de drenagens e cercas.

Após análise, chegou-se em um total de 141 dias parados por consequência das precipitações pluviométricas, isso tudo envolvendo dias com altos volumes de chuva até dias impraticáveis por decorrência da umidade do solo. Estes dias parados foram levados em conta apenas os dias úteis de trabalho, descontando recessos de fim de anos, sábados, domingos e feriados ou algum dia parado por outros motivos da empresa executora.

Se for levar em conta os dias úteis com condições de trabalho, teremos mais 09, dias parados que foram ocasionados pela greve dos caminhoneiros que acabou afetando o transporte de material, tem um período que a executora ficou aguardando um aditivo de volume de argila

e mais um período que a empresa não realizou atividades, mas esses 15 dias optou-se por não entrar no total de dias parados por não ter sido por consequência de chuvas.

Quando se observa os diários de obras, verifica-se que em alguns dias mesmo com alguma incidência de chuva foi possível trabalhar em alguns períodos porque o volume de chuva foi muito pequeno (geralmente inferior a 1,00 mm) e não chegava a prejudicar o andamento dos serviços.

Em alguns períodos do ano, principalmente no verão, houve muitos dias em que as chuvas ocorreram no final do dia. Quando foi possível trabalhar mais que meio período (por exemplo, trabalhado no período da manhã e houve chuva no meio da tarde), foi contabilizado como dia trabalhado por ter sido superior a 4 horas de trabalho no dia. Os diários de obra apontaram que durante a execução do PRAD houve 211 dias que choveu durante o dia (levando em conta apenas dias úteis de trabalho), mas isso não significa que não foi possível trabalhar em todos esses dias. Como citado anteriormente, quando o volume de chuva era muito pequeno, foi possível realizar algumas atividades.

Houve ocasiões de conseguir trabalhar durante todo o dia e ter volumes muito consideráveis durante a noite e madrugada, no outro dia ter tempo nublado e algumas vezes até com sol, mas não sendo possível realizar atividades porque o volume de chuva foi muito grande durante a noite (acima de 10,0 mm). O mesmo aconteceu para os finais de semana de acabar prejudicando o trabalho na segunda-feira.

O total de dias trabalhados durante o período de execução da obra foi de 711 dias, contando os dias úteis. Durante esse período houve trabalhos realizados mesmo em dias com poucos volumes de chuva, o que para alguns serviços não chegou ser prejudicial mesmo se tratando de uma obra com muita movimentação de massa.

Algumas atividades de terraplanagem no PRAD, como a movimentação de estéril (possuir uma granulometria variável) e a movimentação de materiais que apresentem menor teor de argila, permitiu a empresa executora trabalhar em dias com pouca chuva, e segundo informações foi o que ocorreu na obra do Rio Pio.

Na contagem dos dias foi observado que houve 107 dias que foram trabalhados, com execução de drenagens, movimentação de estéril e outros materiais, mas não foi possível trabalhar com movimentação de material argiloso devido a umidade do material. E houve 18 dias sem programação de atividade com argila por parte da executora.

Dentre todo o período de execução da obra 442 dias foram sem trabalho por questão de recessos, feriados, finais de semana ou dia sem trabalho por parte da executora da obra.

Dessa forma, observou-se que do total de dias referente ao período de execução da obra (1294 dias), 711 dias foram trabalhados, 141 dias foram considerados parados em função das chuvas e 442 dias foram considerados dias parados por finais de semana e afins.

Após a análise dos diários de obras e extração dos dados necessários para observar o quanto as chuvas interferiram na execução do PRAD foi possível propor melhorias futuras no planejamento dos cronogramas e inclusão de margem de segurança para o cronograma ou técnicas que reduzam a vulnerabilidade da execução das atividades. A Tabela 11 mostra o resultado de toda a análise dos diários de obra na observação da interferência dos dias de chuvas.

**Tabela 11 - Resultado da análise dos diários de obra do Rio Pio**

Dias	Ocorrência
1294	Tempo de execução da obra
141	Paralisação em função das chuvas
711	Dias trabalhados
211	Houve alguma ocorrência de chuva no período de execução da obra
107	Sem atividade com material argiloso/solo devido a umidade
18	Nenhuma atividade com material argiloso programada pela executora

Fonte: Autor (2024).

As chuvas efetivamente prejudicam qualquer obra realizada ao ar livre e que necessita de movimentação de solo e outros materiais, principalmente nas obras de PRAD sendo em áreas de mineração de carvão ou outros materiais que se faça necessário a execução da recuperação de área. A obra do Rio Pio foi realmente afetada por consequência das chuvas, tendo 141 dias totalmente paralisados por questões climáticas. O cronograma quando planejado, pode ter considerado algum atraso na execução, sendo que é comum atrasos em obras de grande porte, inclusive por condições climáticas que afetam o ambiente.

Em questão do planejamento no cronograma prevendo os eventuais atrasos na execução será abordado essa análise no decorrer das discussões.

### 3.3 ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DOS DIAS PARADOS NO CRONOGRAMA E NO CUSTO DE EXECUÇÃO

O PRAD é um documento técnico fundamental para orientar ações de restauração ambiental em áreas impactadas pelas atividades de mineração. Dentro desse plano, o cronograma físico desempenha um papel crucial, pois organiza e detalha as etapas para a

execução das ações de recuperação ao longo do tempo. Esse cronograma estabelece prazos, metas e sequências lógicas das atividades a serem realizadas, como preparação do terreno, planejamento de espécies adequada para recuperação do local, monitoramento e manutenção da área recuperada. Além disso, ele facilita a alocação de recursos financeiros, humanos e materiais, garantindo que as atividades sejam concluídas conforme os prazos propostos. Farias *et al.* (2024) trazem que no cronograma é apresentado uma sequência da execução dos serviços de uma recuperação ambiental, como também as datas de início e final de cada etapa e consequentemente do tempo total da obra.

O cronograma é o resultado do planejamento de uma obra e desempenha um papel fundamental na gestão, pois apresenta de forma clara e acessível o andamento de cada atividade ao longo do tempo. O cronograma financeiro apresenta a previsão de fluxo financeiro a ser gerado nos períodos definidos, assegurando a conclusão da obra ou serviço dentro do prazo estipulado. (Zaror; Miura, 2020).

Um ponto importante na elaboração do cronograma de uma obra, principalmente de PRAD, é incluir os dias parados que possam ocorrer por imprevistos como chuva, falta de material ou problemas técnicos. Ao reservar um tempo extra no planejamento, a obra consegue lidar melhor com essas situações sem atrasar o prazo final. Além disso, isso ajuda a organizar melhor os trabalhadores e os recursos, evitando pressa ou falhas na qualidade do trabalho.

As chuvas podem ser o principal ponto a ser observado na hora de elaborar o cronograma de qualquer obra. Para Farias *et al.* (2024) quando elaborado o cronograma, é fundamental correlacionar o período de chuvas da sub-região com cada etapa da obra, a fim de evitar a paralisação parcial ou total das atividades durante a execução dos serviços.

Viegas (2011) traz alguns fatores que devem ser considerados antes do início do planejamento, pois têm o potencial de impactar diretamente os resultados e os custos da obra, dentre eles estão:

- Dias corridos sem considerar finais de semana e feriados;
- O clima e períodos de chuva afetam o número de dias trabalháveis;
- A topografia e geologia afetam a produtividade de mão de obra e equipamentos.

Esses são alguns exemplos de fatores que podem contribuir para o atraso de execução e por isso devem ser levados em consideração no momento de planejamento de um cronograma.

Fazendo uma análise do cronograma instituído antes do início da obra e o tempo de execução foi possível observar que a obra foi concluída antes do previsto em cronograma, o que se leva a interpretar que o mesmo foi elaborado pensando em possíveis problemas no

decorrer dos trabalhos e possíveis paralisações, principalmente em uma obra de grandes proporções e de um tempo maior de execução.

Além do tempo de execução da obra, o cronograma também apresenta as etapas de execução do PRAD. A planilha orçamentaria também apresenta o custo das etapas, mas alguns trabalhos podem estar descritos no orçamento agrupados com outras composições, o que pode “esconder” o detalhamento de algumas etapas, então para essa análise o melhor é observar o cronograma.

Cada etapa tem seu tempo de execução, podendo algumas serem executadas simultaneamente quando o desenvolvimento já está mais avançado. A etapa inicial geralmente não proporciona ser executada com as demais porque compreende a limpeza de toda a área de interferência e instalação das estruturas de escritórios, sanitários e demais estruturas operacionais.

No item 1.1.2 desta dissertação, foram apresentadas as etapas de elaboração do PRAD conforme descritas por alguns autores. Já neste capítulo, são abordadas as etapas de execução do PRAD, conforme previsões no cronograma. As etapas de execução podem variar de acordo com as especificidades de cada obra, mas, em geral, mantem-se uma base de serviços comuns, especialmente em obras de mineração, com destaque para a de mineração de carvão a céu aberto.

Analisando nove cronogramas executivos de PRAD das áreas da antiga Ex-Treviso, as atividades a seguir se repetem em todos eles, sendo as principais a serem realizadas na recuperação de uma área.

- Retirada de entulhos e outros materiais.
- Remoção da vegetação.
- Instalação temporária de estruturas.
- Remodelamento topográfico.
- Construção da cobertura do solo.
- Construção do sistema de drenagem.
- Reintrodução da vegetação.
- Isolamento da área.

Algumas outras atividades também são citadas, mas com menor frequência nas obras da execução de PRAD, como fechamento de bocas de mina, galerias, poços, plano inclinado e subsidências. Essas atividades vão depender da forma de mineração de cada área, e encontramos a adição de calcário nas áreas.

A Figura 11 apresenta o cronograma elaborado para execução da obra da Área III Rio Pio com todas as etapas de execução e o tempo previsto para a finalização de cada uma e o tempo total previsto para realização da obra.

Figura 11 - Cronograma executivo PRAD Rio Pio.

ATIVIDADES	SEMESTRE							
	1º	2º	3º	4º	5º	6º	7º	8º
Reavaliação do PRAD executivo em função de possíveis interferências na área	■							
Retirada de entulhos e demais materiais (pneus, latas, embalagens, etc.) que possam impedir a execução da obra, dispondo-os em local adequado.	■							
Remoção de espécies de <i>Eucalyptus</i> spp. (eucalipto) e <i>Pinus elliottii</i> (pinus) ocorrentes na área	■							
Instalação temporária de estruturas de apoio para execução da obra (oficina, escritório, etc.)	■							
Remodelagem das pilhas de estéril em parte das Áreas 1, 2 e 3, e nas Áreas 4 e 5		■	■	■	■	■		
Adição de calcário (CaCO <sub>3</sub> ) na lagoa P							■	
Adição de calcário (CaCO <sub>3</sub> ) na lagoa Y						■	■	
Construção de cobertura do solo em parte das Áreas 1 e 2, e nas Áreas 4 e 5			■	■	■	■	■	
Construção dos sistemas de drenagem superficial, obras de arte, bueiros e escadarias			■	■	■	■	■	
Readequação de estradas e acessos na Área 6			■	■	■	■	■	
Reintrodução da vegetação herbácea e arbórea			■	■	■	■	■	
Implantação de poleiros artificiais (secos e verdes) e cercas vivas							■	■
Isolamento da área (Implantação de cercas)								■

Fonte: Adaptado do PRAD Áreas Ex-Treviso – Diagnóstico Ambiental, UNESC, 2010.

Em contato com profissionais da área, como engenheiros e executores desse tipo de obra, foi possível identificar que os PRAD costumam ser elaborados com uma margem de tempo superior ao necessário, já evitando possíveis problemas durante a execução. No entanto, o tempo de paralisação devido às chuvas nem sempre é considerado, uma vez que, no momento da elaboração do cronograma, não há conhecimento preciso sobre a época exata de execução. Caso a obra inicie no verão, por exemplo, há uma maior probabilidade de interferências causadas por chuvas intensas. Em obras de menor escala, um empresário especializado na execução de PRADs afirmou que, na ausência de intercorrências significativas, é possível concluir os serviços em um curto período. Outro aspecto relevante observado durante a execução é a prática de algumas empresas de reduzir a produtividade quando a obra atinge um certo estágio de avanço, a fim de acompanhar-se ao cronograma executivo. Esse ajuste geralmente ocorre por meio de um diálogo contínuo entre contratante e contratado.

Quando analisado a planilha orçamentária para verificar se as chuvas causaram alguma alteração no valor da obra, em primeiro momento não foi observado nenhuma questão

relacionada a esta observação. Geralmente as questões relacionadas a alterações dos valores se dá a pedidos de aditivos relacionados a materiais ou aumento do prazo final de entrega, o que não foi o caso na obra do Rio Pio.

Quando analisados os diários de obra, foi observado uma paralisação nos serviços devido a um pedido de aditivo relacionados a volumes de material argiloso, nada que tenha ligação as interferências com os dias parados em função das chuvas.

A integração dos cronogramas físico e financeiro permite que o executor da obra tenha uma programação precisa dos gastos com materiais, mão de obra e equipamentos, no momento adequado, evitando a estocagem excessiva de materiais ou o pagamento de mão de obra e equipamentos em momentos desnecessário (Zaror; Miura, 2020).

Com base nas informações fornecidas por um engenheiro da empresa contratante, foi possível apurar o valor do aditivo de argila em relação ao custo total da obra. O acréscimo no valor global da obra, em função do volume de argila aditivado, foi de R\$ 1.284.966,23. Ressalta-se que essa alteração na planilha orçamentária não está relacionada aos dias de paralisação causados pelas chuvas.

Obras como essa que tem um período longo de execução é possível ter alterações no valor do orçamento por questões de atualização de preço de insumos que envolvem a recuperação da área e a aquisição de mudas para plantio, visto que entre as cotações de preços e o início das obras já tem um tempo considerável, onde os preços podem ter sofrido alterações.

A planilha orçamentária já aborda as etapas de execução do PRAD de outra forma em relação ao cronograma físico, mas mantém a estrutura para a realização dos serviços. Como falado anteriormente, no orçamento alguns serviços ficam agregados em outros ou são separados, em algumas etapas. A Tabela 12 vai apresentar as etapas da composição orçamentaria para melhor exemplificar a comparação com o cronograma físico. Vale ressaltar que dentro de cada etapa fica distribuídos as composições e insumos que compõem a planilha orçamentária.

Tabela 12 - Etapas da planilha orçamentária da obra Rio Pio

Item	Descrição
1	PROJETOS – TERRAPLANAGEM, ESTRADAS E COBERTURA SECA
1.1	Terraplanagem
1.2	Obras de arte
1.3	Cobertura seca
2	PROJETO CONSTRUÇÃO DO SOLO
2.1	Insumos solo construído
2.2	Aplicação de insumos
3	PROJETO COBERTURA VEGETAL

Item	Descrição
3.1	Sementes espécies herbáceas
3.2	Mudas de espécies arbóreas
3.3	Espécies herbáceas (trepadeiras) para poleiros e cercas
4	OBRAS DE ENGENHARIA
4.1	Sistemas de drenagem superficial

Fonte: Autor (2024).

Outro aspecto a ser analisado é a aplicação do Fator de Intensidade de Chuvas (FIC) nas composições da planilha orçamentária. Ao verificar a planilha, observa-se que o FIC não foi aplicado, uma vez que o orçamento foi feito em 2014, enquanto o Fator de Intensidade de Chuvas foi introduzido pelo DNIT nas planilhas do Sicro apenas em 2017.

Como nas composições do Sicro utilizadas no orçamento não tem a aplicação do Fator de Intensidade de Chuvas, foi separado cada composição dessa onde hoje é aplicado o valor do FIC. O orçamento foi feito com composições e insumos de tabelas oficiais com Sicro e Sinapi e composições e insumos próprios obtidos através de cotações.

Foi extraído do orçamento as composições do Sicro e analisado se dentro de quais delas é aplicado do Fator de Intensidade de Chuvas. Posterior a isso, foi calculado o valor unitário do serviço com e sem o valor do FIC para verificar o quanto o valor afeta o custo total de cada serviço. Todos os cálculos são apresentados na Tabela 13 e na Tabela 14 com a variação dos valores quando é aplicado o FIC para cada serviço.

Tabela 13 - Análise dos custos dos serviços sem e com aplicação do FIC.

Serviço	Und	Quant.	Valor s/ FIC (R\$)	Total s/ FIC (R\$)	Valor c/ FIC (R\$)	Total c/ FIC (RS)
Esc. Carga transp. Mat 2ª cat DMT 400 a 600 m	m³	1.941.928,00	15,46	30.022.789,46	15,66	30.410.592,48
Base de brita graduada	m³	1.005,00	220,81	221.914,45	220,91	222.014,55
Base de brita graduada	m³	47.719,00	220,81	10.536.851,48	220,91	10.541.604,29
Base de brita graduada	m³	5.742,76	220,81	1.268.061,13	220,91	1.268.633,11
Esc. Carga transp. Mat 1ª cat DMT 400 a 600 m	m³	683.700,00	5,91	4.041.145,59	6,14	4.197.918,00
Transp. Local c/ base. 10m³ rodov. Não pav. – DMT 10 km	tkm	1.230.660,00	9,72	11.959.553,88	10,10	12.429.666,00
Regularização do subleito	m²	1.0606.100,00	1,12	1.126.127,73	1,16	1.167.076,00

Fonte: Autor (2024).

Tabela 14 - Variação dos valores a partir da aplicação do FIC nos serviços.

Serviço	Acréscimo (R\$)	Variação (%)
Esc. Carga transp. Mat 2ª cat DMT 400 a 600 m	387.803,02	1,29
Base de brita graduada	100,10	0,05
Base de brita graduada	4.752,81	0,05
Base de brita graduada	571,98	0,05
Esc. Carga transp. Mat 1ª cat DMT 400 a 600 m	156.772,41	3,88
Transp. Local c/ base. 10m³ rodov. Não pav. – DMT 10 km	470.112,12	3,93
Regularização do subleito	40.948,27	3,64
<b>Total acrescido</b>	<b>R\$ 1.061.060,54</b>	

Fonte: Autor (2024).

Vale ressaltar que dentro do orçamento há outros serviços que são da base Sicro, mas não possuem valor de FIC, então não entraram nesta análise. Já as composições do Sinapi não possuem um valor englobado nos cálculos de preço que seja referente as interferências das chuvas.

Esta análise foi feita em cima do banco de dados atualizado no mês de julho de 2024. Então os serviços que foram atribuídos ao PRAD na planilha orçamentária de data base do Sicro de maio de 2014, foram atualizados para essa data base com os valores corrigidos e aplicados o FIC. Desta forma tem-se a variação que o Fator de Intensidade de Chuvas tem em cada composição.

Com os resultados desta análise, é possível verificar que, em obras que envolvem grandes volumes de materiais e serviços, é fundamental considerar o valor atribuído ao Fator de Intensidade de Chuvas (FIC). Isso ocorre porque, no valor final da obra, a soma desses serviços pode se tornar bastante significativa, influenciando diretamente tanto a execução quanto a previsão orçamentária. Outro ponto relevante é a importância de utilizar, na elaboração do orçamento, uma base de dados que contemple esse fator. Dessa forma, evitam-se problemas futuros durante a execução da obra, como atrasos justificados pela influência do FIC e a necessidade de solicitação de aditivos relacionados ao valor inicialmente licitado.

Considerando o valor do Fator de Intensidade de Chuvas (FIC) aplicado a esta obra atualmente, observa-se que o acréscimo no custo total dos serviços ultrapassaria um milhão de reais. Em obras de PRAD, os quantitativos relacionados à movimentação de massa costumam ser bastante elevados, sendo estes os principais serviços impactados pelas chuvas, o que pode comprometer significativamente o andamento da obra e justifica a aplicação do FIC.

### 3.4 PREPOSIÇÃO DE FATOR DA NATUREZA DA ATIVIDADE PARA PRAD

A aplicação do Fator da Natureza da Atividade (fa) no cálculo do Fator de Intensidade de Chuvas (FIC), presente no Sistema de Custos Referenciais de Obras (Sicro), desempenha um papel fundamental na elaboração de PRAD. Esse fator considera as características específicas das atividades realizadas em uma obra, ajustando o impacto das chuvas sobre os serviços realizados, especialmente em intervenções que envolvem transporte de terra e operações a céu aberto. Em projetos de PRAD, onde a estabilidade do solo e a gestão ambiental são essenciais, a correta aplicação do FIC, associada ao fator *fa*, permite um planejamento mais preciso do cronograma e do orçamento, mitigando os riscos de atrasos e custos adicionais. Assim, o uso adequado desta ferramenta proporciona maior eficiência na execução das obras e garante melhores resultados na recuperação ambiental de áreas degradadas.

Para o desenvolvimento da tabela do Fator da Natureza da Atividade, relacionada às atividades nos projetos de PRAD, foi realizada uma análise das planilhas orçamentárias de nove PRAD, as quais detalham as atividades previstas em cada projeto executivo de acordo com um cronograma físico de execução. Observe-se que, na maioria das planilhas, as atividades se repetem, especialmente as de terraplanagem (movimentação de massa, limpeza da área e estradas), execução de drenagem e distribuição de material. No entanto, em alguns casos, surgem atividades específicas, conforme a finalidade do PRAD e a natureza da atividade minerada em cada área explorada.

A tabela do Fator da Natureza da Atividade (fa) é fundamentada pelo DNIT. Em certos casos, as atividades realizadas em PRAD podem ser bastante semelhantes às realizadas na construção de rodovias, o que possibilita a adoção de um valor semelhante para o Fator da Natureza da Atividade em ambos os contextos. Isso se deve ao fato de que as atividades, embora pertençam a projetos diferentes, têm finalidades semelhantes e modos de execução também, o que justifica a aplicação de valores equivalentes em alguns casos.

Alguns exemplos de atividades que são realizadas em PRAD e Projetos de Rodovias são, escavação e compactação de material, execução de drenagem (assentamento de tubos, descidas d'água, caixas de passagem), transporte de material e limpeza da área.

A classificação da Natureza da Atividade não visa permitir a extrapolação das restrições de execução previstas nas especificações técnicas dos serviços. Em outras palavras, o fato de um serviço ser classificado com um Fator de Natureza da Atividade diferente de zero não autoriza o executor a realizar uma atividade em condições de chuva, caso as especificações do serviço não permitam tal execução (DNIT, 2017).

Na Tabela 15 são apresentadas as principais atividades realizadas em projetos executivos de PRAD voltados à passivo de mineração de carvão na Bacia Carbonífera Catarinense, bem como a proposição dos valores a serem adotados para o fa no cálculo do FIC para obras de PRAD.

Tabela 15 - Tabela fa das atividades de execução de PRAD.

Serviços	Fator da natureza da atividade			
	fa = 0,25	fa = 0,50	fa = 1,0	fa = 1,5
Limpeza e supressão de vegetação		x		
Implantação de marco de concreto	x			
Escavação, carga e transporte de material de 1ª categoria				x
Escavação, carga e transporte de material de 2ª categoria				x
Base de brita graduada		x		
Areão (macadame)		x		
Areão (saibro)		x		
Regularização de subleito				x
Compactação de aterro				x
Brita (lastro de fundo)		x		
Espalhamento de argila				x
Escavação de vala em material de 1ª categoria				x
Escavação de vala em material de 2ª categoria				x
Transporte e aplicação de calcário				x
Transporte e aplicação de turfa				x
Transporte de cama de aviário				x
Transporte e aplicação de ureia		x		
Transporte e aplicação de NPK		x		
Rachão ou seixo rolado		x		
Aterro com material argiloso (subsistência)				x
Plantio de cobertura vegetal		x		
Concreto, confecção e lançamento (drenagem)			x	
Assentamento de tubos de concreto		x		
Bloco de concreto estrutural (assentamento com acabamento)		x		
Espalhamento e compactação de material de "bota-fora"				x
Cobertura seca - Escavação, carga e transporte de material de 1ª categoria			x	
Transporte local de material (solo)			x	
Plantio de grama em leiva	x			
Cerca de arame farpado com mourão de concreto	x			

Fonte: Autor (2024).

Os valores propostos para o Fator da Natureza da Atividade levam em conta a influência das chuvas em relação a cada atividade a ser desempenhada durante a execução do PRAD. Como a distribuição desses valores tem como referência a tabela Sicro para projetos de pavimentação, alguns serviços apresentam valores idênticos aos da planilha do DNIT. No entanto, outras atividades semelhantes às da tabela Sicro possuem valores distintos devido à influência das chuvas. Isso ocorre porque, no contexto de um PRAD, considera-se que essas atividades, ao serem executadas em um solo mais úmido ou sob ocorrência de chuvas durante a execução, podem sofrer impactos maiores no andamento em comparação a uma obra de pavimentação.

Algumas das atividades desenvolvidas em um PRAD não tem valores atribuídos de FIC nas tabelas oficiais do Sicro, mas podemos aplicar um valor de fa e posteriormente calcular o valor de FIC desde que tenhamos os valores das outras variáveis para a realização dos cálculos. Estudos realizados por outros profissionais e dados do projeto permitem buscar esses valores e obtermos um novo valor de FIC para os serviços.

Já nos serviços que é possível encontrar o valor de FIC nas tabelas do Sicro, apenas teremos que substituir no cálculo o valor de fa pelos novos valores atribuídos para os serviços em obras de PRAD e em seguida realizar um novo cálculo e obter o FIC para o serviço específico em obras de Recuperação de áreas degradadas.

É importante que novos estudos realizarem esse novo cálculo do FIC, pois, como discutido no capítulo anterior, obras de recuperação de áreas degradadas envolvem grandes volumes de movimentação de terra. Embora o valor do FIC seja considerado pequeno no custo unitário de alguns serviços, quando aplicado a grandes volumes e somado ao custo total de todos os serviços realizados durante a obra, ele pode representar um montante significativamente maior do que o previsto. Dessa forma, ao elaborar o cronograma e o orçamento, o profissional terá maior segurança para planejar e executar o projeto.

Foram analisados os diários de obras para identificar os dias com condições favoráveis ao trabalho, aqueles em que as atividades foram impossibilitadas devido às chuvas, e os dias com tempo estável, mas em que não foi possível realizar a movimentação de terra/argila devido à umidade excessiva do material, causada pelas chuvas dos dias anteriores. Nessas situações, apenas atividades que não exigiam a movimentação de argila foram realizadas. Todas essas informações foram consideradas na definição do valor de fa para cada atividade.

## CONCLUSÃO

A elaboração de critérios para a inclusão do Fator de Influência de Chuvas no cronograma de obras de PRAD demonstra-se fundamental para o planejamento eficiente e sustentável dessas intervenções. Ao longo deste trabalho, evidenciou-se que a variabilidade climática, em especial a ocorrência de chuvas, afeta diretamente o andamento e a eficácia das atividades previstas no PRAD, tornando indispensável a incorporação de parâmetros climáticos no planejamento estratégico.

A análise da ocorrência de chuvas na região da Bacia Carbonífera Catarinense evidencia que a média anual de precipitações exerce influência significativa na execução de obras ao ar livre, especialmente aquelas que demandam grande movimentação de massa. Em obras cuja duração ultrapassa um ciclo anual, observa-se que os meses mais chuvosos tendem a impactar negativamente o andamento das atividades, enquanto os períodos com menores índices de precipitação apresentam menor interferência. Esses padrões foram confirmados a partir dos dados de médias mensais anuais de chuvas da região.

Diante disso, reforça-se a importância de um planejamento criterioso que considere as variáveis climáticas, de forma a mitigar os transtornos causados pelas chuvas, sobretudo em obras de curta duração ou com cronogramas mais extensos. A inclusão de parâmetros relacionados à precipitação nos planejamentos de obras do PRAD pode ser uma estratégia eficaz para prever e minimizar os impactos climáticos, contribuindo para a eficiência operacional e a sustentabilidade das intervenções realizadas.

Os dados apresentados na Tabela 7 podem ser considerados em análises que visam identificar a época mais adequada para a realização de obras na região carbonífera, especialmente para aquelas com cronogramas mais curtos, em que é possível selecionar o período de execução de modo a minimizar os impactos das precipitações pluviométricas.

As chuvas exercem um impacto direto nos dias trabalhados em obras, especialmente naquelas que demandam o uso de máquinas pesadas e envolvem a movimentação de materiais como material argiloso. A obra da Área III - do Rio Pio, com duração superior a três anos, ilustra esse cenário, tendo enfrentado dificuldades operacionais devido à precipitação. Esses problemas foram mais evidentes durante as atividades que exigiam a movimentação de argila, material cuja manipulação se torna desafiadora em condições de alta umidade.

Durante a execução do PRAD, foi observado que quase dois terços do período total foram aproveitados para trabalho. No entanto, dos 711 dias trabalhados, em 107 deles foi necessário realizar outras atividades que não envolvessem movimentação de material argiloso,

devido à alta umidade, que impossibilitava o manuseio desse material. Por outro lado, os serviços de terraplanagem foram menos impactados, pois o estéril da área, com uma granulometria maior, permitiu a realização de trabalhos mesmo com certa umidade. Caso contrário, o número de dias parados teria sido significativamente maior. Ao analisar esse aspecto, foi possível identificar situações em que a ocorrência de chuvas não comprometeu o andamento das obras. Isso é evidenciado ao contabilizar os dias com registro de precipitação — um total de 211 dias durante a execução —, embora esse número não tenha correspondido à quantidade real de dias em que as atividades precisaram ser interrompidas.

A importância de prever os impactos das chuvas nas obras está em garantir um cronograma eficiente, que permita o desenvolvimento adequado dos trabalhos, e o cumprimento de prazos contratuais. Assim, as chuvas não comprometem o prazo final da obra e não causam prejuízos às executoras. Além disso, ao considerar as condições climáticas, é possível manter os custos dentro dos valores previstos no orçamento inicial.

Para a obra da Área III - Rio Pio, ao analisar o cronograma, foi possível perceber que, mesmo com as dificuldades impostas pelas chuvas durante a execução, os prazos previstos foram mantidos. Isso se deve ao fato de que o cronograma foi elaborado considerando possíveis interferências que poderiam causar atrasos. Além das chuvas, o planejamento levou em conta imprevistos técnicos, operacionais e outras dificuldades comuns em obras de grande porte. Por isso, a importância de um cronograma bem estruturado e cuidadosamente planejado.

Um cronograma bem elaborado é fundamental para o sucesso de uma obra, pois organiza a sequência das atividades, define prazos realistas e possibilita o controle eficiente do progresso. Com um planejamento adequado, é possível otimizar o uso de recursos, antecipar riscos, minimizar atrasos e garantir que todas as etapas sejam concluídas dentro dos prazos e do orçamento estabelecidos.

No que se refere aos custos, as chuvas não impactaram o valor proposto inicialmente, porém houve ajustes no valor final da obra devido a outros fatores. Em relação aos serviços propostos pelos bancos oficiais, é essencial considerar composições que incluam os valores da influência das chuvas na execução dos serviços (FIC). Na obra da Área III - Rio Pio, esses valores não foram levados em conta, pois o FIC foi instituído apenas em 2017, após a elaboração da planilha orçamentária. No entanto, ao analisar os valores empregados nas composições de execução de trabalhos, é evidente que, atualmente, não seria possível realizar a obra sem considerar os custos do FIC.

Obviamente no momento de calcular as planilhas orçamentárias, tinha outra maneira para prever a possível defasagem em custos operacionais. Isso pode ser tema de estudos futuros

para apresentar como podiam ser calculados impactos das chuvas em cima de atividades específicas.

Na planilha orçamentária da Área III - Rio Pio, a aplicação do FIC resultou, para os dias atuais, em um acréscimo superior a 1 milhão de reais, evidenciando a importância de sua utilização, especialmente em obras que envolvem grandes volumes.

Em seu cálculo o FIC apresenta o valor de *fa* (Fator da Natureza da Atividade), mas a ideia foi adaptar esse valor para uso em projetos de PRAD. Esse *fa* leva em consideração as atividades desenvolvidas na execução de recuperações ambientais, não só em áreas de mineração de carvão, mas para PRAD de qualquer tipo de exploração mineral.

É importante que obras de PRAD desenvolvam um valor próprio de *fa*, adequado à atividade específica, devido à movimentação intensa de massa, especialmente de material argiloso. Essa atividade é significativamente prejudicada em solos muito úmidos, o que impacta diretamente na execução eficiente dos serviços. Os valores de *fa* apresentado na planilha do DNIT são para atividades de obras em rodovias, e em alguns casos os volumes de material nesse tipo de obra é bem menos dos volumes necessários para recuperações ambientais, por isso esses valores necessitam ser adaptados para o PRAD.

Como o FIC abrange não apenas o valor do *fa*, é fundamental que outros estudos desenvolvam valores para as demais variáveis do cálculo. Isso permite uma maior precisão ao elaborar projetos de PRAD e calcular os impactos que as chuvas podem ter no planejamento de custos e no cronograma de execução. Também é fundamental a realização de estudos futuros que apliquem um novo cálculo do FIC, considerando os valores específicos para as variáveis levando em conta obras de PRAD. Dessa forma, será possível definir um FIC próprio para obras de recuperação ambiental, permitindo sua aplicação nas composições de custos e eliminando a necessidade de utilizar o valor estabelecido para obras rodoviárias.

Por fim pode-se concluir que a elaboração de um cronograma bem estruturado e uma planilha orçamentária bem detalhada são essenciais para a execução bem-sucedida de uma obra, especialmente considerando os impactos que as chuvas podem causar. Chuvas intensas podem atrasar o progresso das atividades, aumentar os custos e comprometer a qualidade do trabalho. Um cronograma bem elaborado e uma planilha orçamentária precisa ajudam a ajustar os custos e o tempo necessário para superar os desafios climáticos, promovendo maior previsibilidade e qualidade na execução da obra. É importante também conhecer a área de interesse para que possam ser realizadas análises de precipitações.

Também é importante conhecer ou estudar a área de interesse antes da execução de uma obra, é fundamental para prever e antecipar as dificuldades que possam surgir durante o

processo. O conhecimento detalhado da região permite identificar características específicas do solo, como tipo, granulometria e umidade, bem como as influências das precipitações pluviométricas. Essas informações são cruciais para ajustar o cronograma e a planilha orçamentária, considerando os períodos mais propensos a chuvas intensas que possam afetar a movimentação de materiais e o andamento das atividades. A análise detalhada das precipitações ajuda a prever impactos no planejamento, minimizando transtornos e otimizando os recursos disponíveis para garantir a eficiência e a qualidade do projeto.

## REFERÊNCIAS

**AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO – ANA.** Hidroweb: séries históricas. Disponível em: <https://www.snirh.gov.br/hidroweb/serieshistoricas>. Acesso em: 19 dez. 2024.

ALMEIDA, R. O. P. O.; SÁNCHEZ, L. E. Revegetação de áreas de mineração: critérios de monitoramento e avaliação do desempenho. *Revista Árvore*, v. 29, n. 1, p. 47–54, 2005. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rarv/a/G345NPKjFZtvQPdJVtCj3Nm/>. Acesso em: 16 out. 2024.

ARCGIS. Desktop Software. Versão 10.8: ESRI Inc., 2019. Disponível em: <https://www.esri.com/en-us/arcgis/products/index>>. Acesso em: 08 de abr. de 2025.

BACK, A. J. **Chuvas intensas e chuva para dimensionamento de estruturas de drenagem para o Estado de Santa Catarina.** Florianópolis: Epagri, 2013.

BACK, A. J. **Chuvas intensas e estimativas da chuva de projeto para o estado de Santa Catarina.** Florianópolis, SC: Epagri, 2022.

BACK, Álvaro José; BACK, Beatriz; BACK, Luísa. Probabilidade de dias parados em obras de engenharia em função das chuvas da região de Capinzal, Santa Catarina. **XV Simpósio Brasileiro de Climatologia Geográfica**, p. 1–12, 2023.

BACK, A. J.; SÔNEGO, M.; PEREIRA, J. R. **Índices de concentração de chuvas da região Sul do Brasil.** *Revista Brasileira de Climatologia*, v. 27, p. 57–72, 2021. DOI: [10.5380/abclima.v27i0.65466](https://doi.org/10.5380/abclima.v27i0.65466). Disponível em: <https://ojs.ufgd.edu.br/rbclima/article/view/14257>. Acesso em: 15 dez. 2024.

BALIEIRO, F. DE C.; COSTA, C. A.; DE OLIVEIRA, R. B.; et al. **Carbon stocks in mined area reclaimed by leguminous trees and sludge.** *Revista Arvore*, v. 41, n. 6, 2017. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rarv/a/3rZPfcZL6z9Q9HjjkqV3mZb/?lang=en>. Acesso em: 15 out. 2024.

BARBOSA, L. A. D.; ALCOVER NETO, A.; SOBRAL, L. G. S. **Caracterização tecnológica de rejeitos da indústria carbonífera visando seu aproveitamento sustentado.** CT 2002-046-00. Contribuição técnica ao XIX ENTMMME - Encontro Nacional de Tratamento de Minérios e Metalurgia Extrativa. In: **XX ENTMMME - Encontro Nacional de Tratamento de Minérios e Metalurgia Extrativa**, 2002, Recife. Anais [XX ENTMMME]. Recife: ENTMMME, 2002. p. 9.

BARROS, D. A.; PEREIRA, J. A. A.; FERREIRA, M. M.; et al. Soil physical properties of high mountain fields under bauxite mining. *Ciencia e Agrotecnologia*, v. 37, n. 5, p. 419–426, 2013. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cagro/a/ZHRvJHfjWrh7PHtftpwV8VYn/?lang=en>. Acesso em: 15 out. 2024.

BRANDI, I. V. **Estudo da efetividade dos Planos de Recuperação de Áreas Degradadas**

(PRADs) de atividades de exploração de minério de ferro na região do Quadrilátero Ferrífero - MG. 1994. Dissertação (Mestrado em Ciências da Engenharia Ambiental) - Escola de Engenharia de São Carlos, University of São Paulo, São Carlos, 1994. doi:10.11606/D.18.1994.tde-29042021-172003. Disponível em: <https://teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18139/tde-29042021-172003/en.php>. Acesso em: 23 dez. 2023.

**BITAR, O. Y. Avaliação da recuperação de áreas degradadas por mineração na região metropolitana de São Paulo.** Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo, 1997.

CARVALHO, R. P. B. Contribuições da análise de geossistemas na recuperação de áreas degradadas por mineração. **Caderno de Geografia**, v. 21, n. 36, p. 13–28, 2011.

CASTRO, Luciana Gomes; COGO, Neroli Pedro; VOLK, Leandro Bocchi da Silva. Alterações na rugosidade superficial do solo pelo preparo e pela chuva e sua relação com a erosão hídrica. **Revista Brasileira de Ciencia do Solo**, v. 30, p. 339–352, 2006. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbcs/a/DLjW36RrfBVTkQQwQt879RR/?lang=pt>. Acesso em: 18 dez. 2023.

CHECOLI, C. H. B.; SHIRAIWA, S.; SILVA, M. CORREA DA; SILVA, N. M. DA. Gestão participativa na recuperação de área degradada pela agricultura. **Sociedade e Natureza**, p. 117–130, 2016. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/sn/a/yh5rDCB766J3bnDfqtzHcyM/>. Acesso em: 15 out. 2024.

**COELHO, Dilson Machado; BACK, Álvaro José.** Estimativa dos dias parados em obras de engenharia em função da chuva. 2015.

**COSTA, Krislamara Miranda.** O plano de recuperação de áreas degradadas (PRAD) como um instrumento de conservação ambiental: uma revisão bibliográfica. 2022. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Ciências Biológicas) – Escola de Ciências Médicas e da Vida, Pontifícia Universidade Católica de Goiás, Goiânia, 2022a. Disponível em: <https://repositorio.pucgoias.edu.br/jspui/handle/123456789/4515>. Acesso em: 23 dez. 2023.

**COSTA, M. V. da.** Análise da viabilidade econômica da implantação de usina solar fotovoltaica como alternativa de reabilitação de áreas degradadas pela mineração: estudo de caso aplicado a uma pedreira. 2022. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado) – Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2022b. Disponível em: <https://monografias.ufop.br/handle/35400000/3951>. Acesso em: 16 out. 2024.

**DANIESKI, Gislaine.** Avaliação dos estudos e critérios técnicos de hidrologia e hidráulica utilizados nos Projetos de Recuperação de Áreas Degradadas pela mineração de carvão na Região Carbonífera de Santa Catarina. 2013. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Ambiental) – Universidade do Extremo Sul Catarinense, Criciúma, 2013. Disponível em: <http://repositorio.unesc.net/handle/1/2418>. Acesso em: 05 dez. 2023.

**BRASIL. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes.** *Manual de custos de infraestrutura de transportes: fator de influência de chuvas.* v. 06, 1. ed., versão 3.0. Brasília, DF: DNIT, 2017.

**BRASIL. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes.** *Introdução à orçamentação de obras rodoviárias: custo unitário de insumos*. Módulo 4. Brasília, DF: DNIT, 2021.

**FARIAS, B. de B.; BARBOSA, P. A.; GUIMARÃES FILHO, W. L.; SILVA, T. L. T.; SILVA, M. D. Q.; SILVA, A. M. da; SILVA, M. T. da.** Impacto das chuvas no cronograma físico-financeiro de obras: estudo de caso de construtoras em Pernambuco. *Revista Caribeña de Ciencias Sociales*, [s. l.], v. 9, p. e4287, 2024. DOI: 10.55905/rcssv13n9-011. Disponível em: <https://www.revistacaribena.com/ojs/index.php/rccs/article/view/4287>. Acesso em: 14 dez. 2024.

**FRANCO, Ana Carolina Vicenzi; MARIMON, Maria Paula Casagrande.** Tecnologias de recuperação de áreas degradadas pela mineração de carvão e usos futuros do solo. Trabalho de Conclusão de Curso, CCE/FAED, Universidade do Estado de Santa Catarina, Florianópolis, Brasil, 2008.

**FURMANSKI, L. M. et al.** Recuperação de áreas degradadas por mineração e beneficiamento de carvão mineral no Sul Catarinense: a atuação da Assessoria Técnica do Ministério Público Federal. In: **SIMPÓSIO NACIONAL DE RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS, 10.**, 2014. Anais [...]. p. 12. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/279274614>. Acesso em: 23 dez. 2023.

**GALATTO, S. L.; LOPES, R. P.; BACK, Á. J.; BIF, D. Z.; SANTO, E. L.** Emprego de coberturas secas no controle da drenagem ácida de mina: estudos em campo. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 12, n. 2, p. 229–236, 2007. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/esa/a/CskWpFwnQMSHffmKmjkt48P/?lang=pt&stop=next&format=html>. Acesso em: 15 dez. 2024.

**GENARO, D. T.; FILLHO, J. L. A.; NASCIMENTO, F. M. DE F.; et al.** Levantamento de informações hidrogeológicas para a elaboração do PRAD conceitual, visando à recuperação das áreas da CBCA em Criciúma, SC. **XVII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas e XVIII Encontro Nacional de Perfuradores de Poços**, p. 1–4, 2012.

**GUIMARÃES, C. L.; MILANEZ, B.** Mineração, impactos locais e os desafios da diversificação: revisitando Itabira. *Desenvolvimento e Meio Ambiente*, v. 41, p. 215–236, 2017. IBAMA. Resolução CONAMA N° 001/1986. 1986.

**GRUPO TÉCNICO DE ASSESSORAMENTO (GTA).** *12º Relatório de Monitoramento dos Indicadores Ambientais*. Criciúma: Fórum ACP Carvão, 2019. Disponível em: <https://acpcarvao.com.br/forum/showthread.php?tid=25>. Acesso em: 25 abr. 2025.

**INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA.** Censo 2022. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/sc/treviso.html>. Acesso em: 27 dez. 2023.

**INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA** Disponível em <https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/malhas-territoriais/15774-malhas.html?=&t=downloads>. Acesso em: 08 de abr de 2025.

**LIMA, H. M. de; FLORES, J. C. do C.; COSTA, F. L.** Plano de recuperação de áreas degradadas versus plano de fechamento de mina: um estudo comparativo. *Revista Escola de*

*Minas*, v. 59, n. 4, p. 397–402, 2006. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rem/a/gBK7r9hzzDDpnP8R5SBPBrH/>. Acesso em: 23 dez. 2023.

**MANDAI, S. S.; CARVALHO, R. M. de; SOUZA, M. M. P. de.** Biodiversity and the mining Environmental Impact Statements of the state of São Paulo - Brazil. *Revista Ambiente e Sociedade*, v. 24, p. 1–23, 2021. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/asoc/a/4jS5CGBgN3kwCBkhGmjQCmH/?lang=en>. Acesso em: 11 out. 2024.

**PATRICIO, R. L.** Avaliação de métodos de revegetação de áreas degradadas utilizados na mineração de níquel em Niquelândia, Goiás. 2009. Dissertação (Mestrado em Gestão Ambiental) – Universidade Católica de Brasília, Brasília, 2009. Disponível em: <https://bdtd.ucb.br:8443/jspui/handle/123456789/1751>. Acesso em: 11 out. 2024.

**REIS, Luciano Lopes.** Monitoramento da recuperação ambiental de áreas de mineração de bauxita na Floresta Nacional de Saracá-Taquera, Porto Trombetas (PA). 2006. 175 f. Tese (Doutorado em Agronomia, Ciência do Solo) – Instituto de Agronomia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2006. Disponível em: <https://tede.ufrj.br/handle/tede/305>. Acesso em: 11 out. 2024.

SALVADOR, F. L. R. Análise das etapas de um Plano de Recuperação de Área Degradada (PRAD) aplicada para um antigo lixão no município de Garopaba. **Repositório Institucional UFSC**, p. 82, 2012. Trabalho de conclusão de curso (Engenharia Sanitária e Ambiental). Universidade Federal de Santa Catarina. 2012.

**SANT'ANA, William de Oliveira; BACK, Álvaro José.** Tendência do aumento de chuvas e suas implicações na estabilidade de encostas no sul de Santa Catarina. *Tecnologia e Ambiente*, [s. l.], v. 25, p. 95–109, 2019. DOI: 10.18616/ta.v25i0.5408. Disponível em: <https://periodicos.unesc.net/ojs/index.php/tecnoambiente/article/view/5408>. Acesso em: 15 dez. 2024.

**SANTOS, G. G.; GRIEBELER, N. P.; OLIVEIRA, L. F. C. de.** Chuvas intensas relacionadas à erosão hídrica. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 14, n. 2, p. 115–123, 2010. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/HLxGt8xsqhhh5YnZrTbCgmh/>. Acesso em: 09 dez. 2023.

Serviço Geológico do Brasil - SGB. **Recuperação de Áreas Degradadas por Carvão na Bacia Carbonífera de Santa Catarina.** Disponível em: <https://www.sgb.gov.br/recuperaçao>. Acesso em: 03 jan. 2024.

**SILVA, L. C. R.; CORRÊA, R. S.** Evolução da qualidade do substrato de uma área minerada no cerrado revegetada com *Stylosanthes spp.* *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 14, n. 8, p. 835–841, 2010. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/BrJCLqxFxLRZSWp5RSQxCvv/?lang=pt>. Acesso em: 15 out. 2024.

**SILVA, L. M.; FERREIRA, R. L.** Impacto ambiental pela mineração de carvão no Sul de Santa Catarina. *Meio Ambiente e Sustentabilidade*, v. 6, n. 4, p. 54–71, 2015. Disponível em: <https://www.cadernosuninter.com/index.php/meioAmbiente/article/view/461>. Acesso em: 07 dez. 2023.

**SKORUPA, L. A.; VIEIRA, D. L. M.; KUHLMANN, M.; et al.** Roteiro para elaboração de um projeto de recomposição de áreas degradadas ou alteradas. 1. ed. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2021. 60 p. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1135028>. Acesso em: 24 dez. 2023.

**SOARES, P. G.; CASTILHOS, Z. C.** Recuperação de áreas degradadas pela mineração no Brasil. In: **JORNADA DO PROGRAMA DE CAPACITAÇÃO INTERNA DO CETEM**, 4., 2015, Rio de Janeiro. *Anais...* Rio de Janeiro: CETEM/MCTI, 2015. Disponível em: <http://mineralis.cetem.gov.br/handle/cetem/1802>. Acesso em: 16 out. 2024.

**SOUZA, Augusto Ehlers.** Elaboração de um plano de recuperação de área degradada (PRAD) para o antigo lixão do Itacorubi, Florianópolis (SC). 2013. 128 f. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Sanitária e Ambiental) – Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2013.

**SOUZA, R. O. R. D. M.; SCARAMUSSA, P. H. M.; AMARAL, M. A. C. M.; et al.** Equações de chuvas intensas para o Estado do Pará. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 16, n. 19, p. 999–1005, 2012. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/S5YrxRjKF6T6n9Bh3bmXKcr/?lang=pt&format=html>. Acesso em: 14 dez. 2023.

**UNIVERSIDADE DO EXTREMO SUL CATARINENSE (UNESC).** Planos de Recuperação de Áreas Degradadas pela mineração de carvão no Estado de Santa Catarina, correspondentes às áreas da ex-Treviso S.A., de responsabilidade da União. Criciúma: UNESC, 2010. (PRAD do Rio Pio).

**VIANA, M. B.; ALMEIDA, M. A.** Regularização ambiental de minerações em Minas Gerais. *Revista Escola de Minas*, v. 63, n. 2, p. 363–369, 2010. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rem/a/5TvK6RdBp94PFtCWs5HSJhc/?lang=pt>. Acesso em: 15 out. 2024.

**VIEGAS, E. S.** Gestão de prazo e produtividade: estudo de caso. 2011. Disponível em: <https://repositorio.ufmg.br/handle/1843/BUOS-9A4GY9>. Acesso em: 14 dez. 2024.

**ZAMBRANA, V. D.** Análise numérica da influência de chuvas extremas na estabilidade de taludes. 2014. Dissertação (Mestrado em Engenharia Geotécnica) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014. DOI: <https://doi.org/10.11606/D.3.2014.tde-13082015-111647>. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3145/tde-13082015-111647/en.php>. Acesso em: 09 dez. 2023.

**ZAROR, U. A.; MIURA, M. N.** Avaliação financeira das interferências no cronograma durante a execução da obra do viaduto na BR 277, km 585, na cidade de Cascavel - PR. *Revista Competitividade e Sustentabilidade*, v. 7, n. 2, p. 567–581, 2020. DOI: <https://doi.org/10.48075/comsus.v7i2.21091>. Disponível em: <https://e-revista.unioeste.br/index.php/comsus/article/view/21091>. Acesso em: 14 dez. 2024.