

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA

MORGANA NASCIMENTO DA SILVA

**AVALIAÇÃO DA RECOMPOSIÇÃO TOPOGRÁFICA E REVEGETAÇÃO DE
ÁREAS MINERADAS EM CANDIOTA - RS**

**Bagé
2023**

MORGANA NASCIMENTO DA SILVA

**AVALIAÇÃO DA RECOMPOSIÇÃO TOPOGRÁFICA E REVEGETAÇÃO DE
ÁREAS MINERADAS EM CANDIOTA - RS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia de Produção da Universidade Federal do Pampa, como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia de Produção.

Orientadora: Prof^a. Me. Tatiana Nardon Noal

Coorientador: Prof. Dr. Vicente Guilherme Lopes

**Bagé
2023**

Ficha catalográfica elaborada automaticamente com os dados fornecidos
pelo(a) autor(a) através do Módulo de Biblioteca do
Sistema GURI (Gestão Unificada de Recursos Institucionais) .

S586a Silva, Morgana Nascimento da
Avaliação da recomposição topográfica e revegetação de
áreas mineradas em Candiota - RS / Morgana Nascimento da Silva.
72 p.

Trabalho de Conclusão de Curso(Graduação)-- Universidade
Federal do Pampa, ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 2023.
"Orientação: Tatiana Nardon Noal".

1. recuperação ambiental. 2. recomposição topográfica. 3.
revegetação. 4. topografia. 5. mineração. I. Título.



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
Universidade Federal do Pampa

MORGANA NASCIMENTO DA SILVA

**AVALIAÇÃO DA RECOMPOSIÇÃO TOPOGRÁFICA E REVEGETAÇÃO DE ÁREAS
MINERADAS EM CANDIOTA - RS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia de Produção da Universidade Federal do Pampa, como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia de Produção.

Trabalho de Conclusão de Curso defendido e aprovado em: 13 de julho de 2023.

Banca examinadora:

Profª. Me. Tatiana Nardon Noal
Orientadora
UNIPAMPA

Prof. Dr. Vicente Guilherme Lopes
Coorientador

Prof. Dr. Caio Marcello Recart da Silveira

UNIPAMPA

Prof. Dr. Maurício Nunes Macedo de Carvalho

UNIPAMPA



Assinado eletronicamente por **TATIANA NARDON NOAL, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 20/07/2023, às 15:59, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.



Assinado eletronicamente por **VICENTE GUILHERME LOPES, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 20/07/2023, às 20:14, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.



Assinado eletronicamente por **MAURICIO NUNES MACEDO DE CARVALHO, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 21/07/2023, às 16:20, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.



Assinado eletronicamente por **CAIO MARCELLO RECARTE DA SILVEIRA, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 22/07/2023, às 07:48, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.unipampa.edu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **1174464** e o código CRC **A9346B75**.

Referência: Processo nº 23100.013024/2023-09 SEI nº 1174464

Dedico este trabalho ao meu filho Ravi,
luz da minha vida, e à minha mãe Ivonete,
por todo amor, carinho e incentivo.

AGRADECIMENTO

Aos meus pais, Ivonete e Márcio, por todo o incentivo e suporte para que pudesse chegar aqui.

Ao meu marido, Odimar, por seu companheirismo, dedicação e por ter me dado o melhor presente de minha vida, nosso filho Ravi.

À Universidade Federal do Pampa e a todo corpo docente do curso de Engenharia de Produção, por proporcionarem um ensino de qualidade.

À minha orientadora Tatiana Noal e ao coorientador Vicente Lopes pela orientação e contribuições para a realização deste trabalho.

Às equipes do Departamento de Meio Ambiente e do Departamento de Geologia e Medições da Companhia Riograndense de Mineração por disponibilizarem os recursos necessários para a elaboração desse estudo, em especial ao Engenheiro Agrônomo Marcel Froes pelo auxílio e informações disponibilizadas.

Aos colegas Willian Cunha, Alaute Sampaio, Alvacir Borges e Wome Mendes da equipe de Topografia da CRM.

Ao topógrafo Leonel Prates, que já não está mais na empresa, mas foi o responsável por me ensinar tudo que sei sobre topografia.

RESUMO

A mineração é uma atividade essencial que fornece as matérias-primas de diversos setores industriais, mas que causa impactos diretos ao meio ambiente. A recuperação das áreas mineradas através da recomposição topográfica e revegetação é o meio pelo qual esses impactos podem ser mitigados. A Companhia Riograndense de Mineração recupera suas áreas impactadas paralelamente às atividades de lavra, utilizando o material estéril da mineração para recompor topograficamente áreas anteriormente mineradas, recobrando-as com solo fértil e realizando sua revegetação. Este estudo estimou o tempo decorrido entre o início da mineração e o término da revegetação e avaliou as modificações ocorridas no relevo após a mineração e recuperação dessas áreas. Como características, esta pesquisa é classificada como descritiva, de natureza aplicada, com abordagens qualitativa e quantitativa e utiliza pesquisa documental e pesquisa de campo para atingir seus objetivos. Para o cálculo da média de tempo até a revegetação foram estabelecidos pontos cujas coordenadas serviram de base para a pesquisa documental das datas da retirada do solo superficial e do plantio de gramíneas. Para a avaliação das modificações do relevo foram realizados levantamentos topográficos de campo em duas áreas selecionadas (Área-1 e Área-2) e comparados com levantamentos topográficos realizados anteriormente nos mesmos locais. A média de tempo encontrada foi de 6 anos e 11 meses entre a retirada do solo superficial e a revegetação pós mineração e recuperação. Quanto à avaliação das modificações do relevo, na Área-1 o relevo recomposto topograficamente apresenta altitudes maiores que as do relevo original, mantendo uma inclinação similar e apresentando terraços de desnível para a drenagem das águas das chuvas. Na Área-2 o relevo recomposto apresenta altitudes expressivamente inferiores e significativa variação de formato em comparação ao original.

Palavras-chave: recuperação ambiental; recomposição topográfica; revegetação; topografia; mineração.

ABSTRACT

Mining is an essential activity that provides raw materials for several industrial sectors, but which has direct impacts on the environment. The recovery of mined areas through topographic recomposition and revegetation is the path by which these impacts can be mitigated. Companhia Riograndense de Mineração recovers its impacted areas in parallel with mining activities, using sterile material from mining to topographically recompose previously mined areas, covering them with fertile soil and carrying out revegetation. This study estimated the time elapsed between the start of mining and the end of revegetation and evaluated the changes that occurred in the relief after mining and recovery of these areas. As characteristics, this research is classified as descriptive, applied in nature, with qualitative and quantitative approaches and uses documentary research and field research to achieve its objectives. To calculate the average time until revegetation, points were established whose coordinates served as the basis for documentary research on the dates of removal of topsoil and grasses planting. In order to assess changes in relief, field topographic surveys were conducted in two selected areas (Area-1 and Area-2) and compared with topographic surveys previously conducted in the same locations. The average time found was 6 years and 11 months between the topsoil removal and post-mining and recovery revegetation. Regarding the evaluation of relief changes, in Area-1 the topographically recomposed relief presents higher altitudes than the original relief, maintaining a similar slope and presenting terraces for the drainage of rainwater. In Area-2, the recomposed relief presents significantly lower altitudes and significant shape variation compared to the original relief.

Keywords: environmental recovery; topographic recomposition; revegetation; topography; mining.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Poligonais topográficas	25
Figura 2 – Levantamento por irradiação com receptor GNSS.....	26
Figura 3 – Classificação da pesquisa.....	30
Figura 4 – Estação total	30
Figura 5 – Receptores GNSS e coletora de dados	31
Figura 6 – Representação de curvas de nível geradas pela interseção de planos horizontais paralelos com o terreno	32
Figura 7 – Representação de um perfil topográfico traçado a partir de uma planta com curvas de nível	33
Figura 8 – Mapa da área de pesquisa com os pontos utilizados no cálculo.....	35
Figura 9 – Localização das áreas levantadas para a pesquisa.....	36
Figura 10 – Processo de lavra e recuperação ambiental	38
Figura 11 – Representação do perfil geológico antes e após a mineração.....	39
Figura 12 – Remoção e transporte do solo superficial	40
Figura 13 – Decapeamento do carvão pela Dragline	41
Figura 14 – Extração do carvão por escavadeira	42
Figura 15 – Depósito de cinzas	43
Figura 16 – Recomposição topográfica por trator de esteira.....	44
Figura 17 – Área com solo superficial depositado.....	45
Figura 18 – Adição de calcário agrícola	46
Figura 19 – Área recuperada com plantação de gramíneas	47
Figura 20 – Registro fotográfico da Área-1	51
Figura 21 – Planta com as curvas de nível do relevo original na Área-1.....	52
Figura 22 – Planta com as curvas de nível do relevo recomposto topograficamente na Área-1.....	53
Figura 23 – Localização do alinhamento na Área-1	54
Figura 24 – Perfil longitudinal do relevo original da Área-1	55
Figura 25 – Perfil longitudinal do relevo recomposto topograficamente da Área-1 .	55
Figura 26 – Perfil longitudinal reunindo o relevo original e o relevo recomposto topograficamente da Área-1	56
Figura 27 – Visão esquemática de uma rampa subdividida com terraços	57
Figura 28 – Registro fotográfico da Área-2	58

Figura 29 – Planta com as curvas de nível do relevo original na Área-2.....	59
Figura 30 – Planta com as curvas de nível do relevo recomposto topograficamente na Área-2.....	60
Figura 31 – Localização do alinhamento na Área-2	61
Figura 32 – Perfil longitudinal do relevo original da Área-2.....	62
Figura 33 – Perfil longitudinal do relevo recomposto topograficamente da Área-2 .	62
Figura 34 – Perfil longitudinal reunindo o relevo original e o relevo recomposto topograficamente da Área-2.....	63

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Intervalo de tempo entre a retirada do solo superficial e a plantação de gramíneas	48
---	----

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

CGT Eletrosul – Companhia de Geração e Transmissão de Energia Elétrica do Sul do Brasil

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente

CRM – Companhia Riograndense de Mineração

DACM – Departamento Autônomo de Carvão Mineral

EIA – Estudo de Impacto Ambiental

FEPAM – Fundação Estadual de Proteção Ambiental

GLONASS – *Globalnaya Navigatsionnaya Sputnikovaya System*

GNSS – *Global Navigation Satellite Systems*

GPS – *Global Positioning System*

MME – Ministério de Minas e Energia

NBR – Norma Brasileira

PCA – Plano de Controle Ambiental

PRAD – Plano de Recuperação de Áreas Degradadas

RIMA – Relatório de Impacto Ambiental

RTK – *Real Time Kinematic*

UTM – *Universal Transversa de Mercator*

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
1.1	Objetivos	15
1.2	Delimitação da pesquisa.....	16
1.3	Justificativa.....	16
1.4	Estrutura do trabalho	17
2	CONCEITOS GERAIS E REVISÃO DE LITERATURA	18
2.1	Importância da mineração e do carvão mineral.....	18
2.2	Impactos ambientais associados à mineração à céu aberto	19
2.3	Gestão ambiental e a mineração.....	20
2.4	A Topografia e suas aplicações na mineração	22
2.4.1	Levantamentos topográficos.....	24
2.5	Histórico e atuação da Companhia Riograndense de Mineração	26
3	METODOLOGIA.....	28
3.1	Classificação da pesquisa	28
3.2	Equipamentos de medição topográfica.....	30
3.3	Processamento dos dados	31
3.4	Análise dos dados	32
3.4.1	Representação do relevo por curvas de nível	32
3.4.2	Representação do relevo por perfil longitudinal	33
3.5	Localização das áreas e delimitação temporal da pesquisa	34
4	RESULTADOS	37
4.1	Processo de lavra e recuperação ambiental das áreas mineradas na CRM	37
4.1.1	Retirada do solo superficial.....	39
4.1.2	Decapeamento do carvão	40

4.1.3	Extração e transporte do carvão.....	41
4.1.4	Recomposição topográfica.....	43
4.1.5	Deposição do solo superficial.....	44
4.1.6	Correção e adubação do solo.....	45
4.1.7	Revegetação	46
4.2	Cálculo da média de tempo entre o decapeamento e a revegetação.....	47
4.3	Avaliação das modificações no relevo antes e após mineração e recomposição topográfica.....	50
4.3.1	Avaliação das modificações do relevo na Área-1.....	51
4.3.2	Avaliação das modificações no relevo da Área-2.....	57
4.3.3	Análise dos resultados obtidos nas avaliações da Área-1 e Área-2.....	64
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	66
	REFERÊNCIAS.....	68
	APÊNDICE A	72

1 INTRODUÇÃO

A mineração faz parte da cadeia produtiva composta pelas indústrias de base e seus produtos são matéria-prima para estes e diversos setores. Isso faz com que a mineração seja considerada por muitos a indústria das indústrias (IBRAM, 2020). As commodities minerais desempenham um papel importante no equilíbrio das contas externas do país. Quando em abundância, geram superávits, quando em escassez, geram déficits, demandando monitoramento a fim de maximizar os benefícios das demandas externas e minimizar os efeitos adversos de aumentos repentinos dos preços das importações (MME, 2010).

O carvão mineral é conhecido desde o início da civilização humana. Registros romanos mostram que os gauleses já utilizavam o carvão como combustível antes de 80 a.C. e os saxões, em territórios britânicos, usavam-no para aquecer e iluminar suas habitações. Na China, o carvão já era minerado muitos séculos antes de Cristo (FERREIRA; GOMES; ORLANDI FILHO, 2010).

O Brasil possui grandes reservas de carvão mineral que historicamente tem sido utilizadas para diversos fins, principalmente para a geração termelétrica na Região Sul, onde estão localizados 99,97% dos recursos identificados no país, sendo 89,27% destes no Rio Grande do Sul, 10,38% em Santa Catarina e 0,32% no Paraná. Dentro do cenário de diversidade e abundância de recursos nacionais, o carvão mineral se mostra importante para o país e para os estados do Sul, devido a sua contribuição econômico-regional, ambiental e energética (MME, 2021).

É inegável que as atividades industriais causam distúrbios no meio ambiente. A mineração carrega o estigma de ser uma atividade econômica geradora de altos níveis de poluição e degradação ambiental. No entanto, com o planejamento racional das etapas de produção, orientado para a minimização dos impactos ambientais, é possível a operação de uma mina dentro de uma faixa bastante aceitável de perturbações ambientais. Há casos em que a recomposição ambiental pós-mineração recupera os terrenos de tal forma que se torna difícil distingui-los de áreas não mineradas. (SILVA *et al.*, 2008).

A Companhia Riograndense de Mineração (CRM) é uma empresa gaúcha, controlada pelo Governo do Estado do Rio Grande do Sul e atua na exploração do carvão desde o final da década de 1960. Sua unidade mineira em atividade está localizada no município de Candiota, com lavra a céu aberto.

O setor de topografia da Mina de Candiota é o responsável por realizar o acompanhamento de atividades tais como, medição de área e quantificação das reservas de carvão descoberto, locação e levantamento planialtimétrico de cortes para decapeamento¹, medição dos volumes de carvão minerado e de estéril² removido, entre outras.

No que se refere aos serviços de recuperação ambiental, o setor de topografia acompanha a retirada do solo orgânico, antes das demais operações de lavra, a recomposição topográfica das áreas já mineradas, a deposição e espalhamento do solo orgânico nessas áreas e, ao fim, a revegetação com o plantio de gramíneas e arbóreas.

Este trabalho está estruturado na forma de um estudo de caso, elaborado a partir de dados primários, como observação direta dos processos, acesso a documentos internos e realização de levantamentos topográficos de campo.

Dentro deste contexto, buscou-se responder a seguinte questão: *“Quais são os impactos relevantes decorrentes do decapeamento do solo na mineração a céu aberto?”*.

1.1 Objetivos

O objetivo geral da pesquisa consistiu em avaliar o tempo que a CRM leva, em média, entre o decapeamento e a reconstituição topográfica de uma área minerada e as modificações que este processo causa em seu relevo.

Para alcançar o objetivo geral, foram implementados os seguintes objetivos específicos:

- a) Explicitar o processo de lavra e recuperação ambiental das áreas mineradas.
- b) Estimar, a partir dos dados topográficos, o tempo decorrido entre o início da retirada do solo superficial até o término da etapa de revegetação com gramíneas.
- c) Realizar um comparativo entre as altitudes do relevo em período anterior e posterior à mineração e à recomposição topográfica de áreas mineradas.

¹ Operação pela qual a cobertura superficial da jazida é removida, visando a exposição do minério para extração.

² Material sem valor econômico retirado durante a lava de um minério.

1.2 Delimitação da pesquisa

Segundo Barreto (2001), os principais impactos ambientais decorrentes da mineração do carvão são: drenagem ácida das minas; degradação do solo; contaminação de áreas urbanas e rurais; poluição do ar; perda de solos e de reservas de água em razão do acúmulo dos resíduos do carvão; e impacto visual. A degradação do solo e da paisagem geram um impacto visual que atinge principalmente regiões carboníferas onde a extração do carvão é feita a céu aberto.

A recuperação ambiental pode ser entendida como o conjunto de intervenções necessárias para o retorno do equilíbrio ambiental na área impactada, retornando suas condições mais próximas o possível de seu estado inicial, ou preparando-a para algum uso produtivo futuro. Sua estabilidade física é atingida tanto por obras geotécnicas (terraplanagem, sistemas de drenagem e retenção de sedimentos, contenção de taludes, entre outros), como pela revegetação, que restaura a biologia do solo, controla a erosão, estabiliza o terreno, protege os recursos hídricos e reconstitui a paisagem (ZUQUETTE; RODRIGUES; PEJON 2019).

Esta pesquisa terá seu foco no aspecto topográfico da recuperação ambiental, com a utilização de dados de levantamentos já realizados para a estimativa de tempo do processo, e a realização de novos levantamentos para verificação das modificações do relevo nas áreas selecionadas.

1.3 Justificativa

A Mina de Candiota, atualmente única mina da Companhia Riograndense de Mineração em atividade, está devidamente licenciada pelo órgão ambiental do Estado, a Fundação Estadual de Proteção Ambiental (FEPAM).

A CRM possui 20 malhas de concessão registradas no Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM). Conforme a Companhia Riograndense de Mineração (2022), as Malhas IV e VII, onde hoje estão concentradas as atividades de lavra, possuem Planos de Controle Ambiental (PCA), fundamentados nos diagnósticos ambientais definidos nos Estudos de Impactos Ambientais e Relatórios

de Impactos Ambientais (EIA/RIMA), e Planos de Recuperação de Áreas Degradadas (PRAD).

A empresa realiza a recuperação ambiental paralelamente às atividades de lavra. O material estéril retirado de um corte é utilizado para preencher o corte minerado anteriormente. Esta área é então terraplanada e o solo superficial, retirado de áreas em início de decapeamento, é espalhado sobre ela. Este material orgânico terá sua acidez corrigida com calcário e adubo, sendo preparado para dar início à revegetação. O plantio de gramíneas será realizado em todas as áreas, mesmo aquelas que venham a receber plantio de arbóreas futuramente.

Atualmente a empresa não tem uma estimativa do tempo que transcorre entre o momento que uma área começa a ser impactada, a partir da retirada de seu solo superficial, até sua revegetação com a semeadura de gramíneas em sua nova conformação topográfica. Também não existem estudos sobre as modificações do relevo antes e após a mineração e revegetação, que pode ser considerada o processo inicial da recuperação ambiental.

1.4 Estrutura do trabalho

O presente trabalho está estruturado em cinco capítulos: introdução, conceitos gerais e revisão de literatura, metodologia, resultados e considerações finais. No primeiro capítulo é apresentada a introdução do tema da pesquisa, seu objetivo, sua delimitação e justificativa para sua realização. No segundo, são apresentados conceitos importantes para a temática abordada e o referencial teórico que a embasa. O terceiro capítulo aborda a metodologia, onde serão apresentados os métodos e instrumentos utilizados para responder às questões da pesquisa. No capítulo quatro são apresentados e discutidos os resultados obtidos. O capítulo cinco é composto pelas considerações finais do trabalho.

2 CONCEITOS GERAIS E REVISÃO DE LITERATURA

Neste capítulo é apresentada a base teórica do trabalho, desenvolvendo assuntos como: a importância da mineração e do carvão mineral e os impactos ambientais a eles associados, gestão ambiental, topografia e etapas dos processos de lavra e recuperação ambiental em áreas de mineração de carvão.

2.1 Importância da mineração e do carvão mineral

A mineração é a extração de recursos minerais da natureza. Apesar de gerar impactos ambientais, a mineração é o pilar de sustentação da maior parte das indústrias, desempenhando papel crucial na economia, gerando empregos e auxiliando no desenvolvimento da região onde está implantada (PEJON; RODRIGUES; ZUQUETTE, 2019).

Os minerais são imprescindíveis para muitas economias cujas matérias-primas básicas são fornecidas a partir da mineração desses bens. Enríquez e Drummond (2007, p. 245), afirmam que “nenhuma sociedade moderna pode prescindir dos bens minerais” e que “os minerais são necessários a uma vasta gama de atividades humanas, que abrangem desde insumos para agricultura até componente de computadores”.

O carvão é um combustível fóssil que tem sido utilizado ao longo do tempo para geração de calor, energia elétrica, aquecimento industrial e doméstico, produção de coque, gás combustível, etc. Sua grande disponibilidade, relativa estabilidade dos preços e a facilidade da disposição das cinzas resultantes de sua combustão em comparação aos resíduos das usinas nucleares contam a favor de sua utilização. Assim, o carvão tem sido utilizado por várias indústrias como as de ferro, aço, química, produtos cerâmicos, cimento, tijolos, entre outras (TEIXEIRA; SANTANA, 2008).

Segundo Chaves (2008), devido à falta de invernos frios na maior parte do país, o Brasil não tem a cultura do uso do carvão que outros países têm. Sem o aquecimento à carvão em suas casas, os habitantes de países frios não teriam sobrevivido aos invernos rigorosos. Isso se reflete no balanço energético brasileiro, onde o carvão mineral tem participação minoritária na geração de energia elétrica.

O estado do Rio Grande do Sul possui quase 90% das reservas de carvão mineral do Brasil que, por suas características é utilizado como combustível nas usinas termelétricas. Dos 32 bilhões de toneladas, 12 bilhões encontram-se em Candiota, representando 38% das reservas brasileiras (FERREIRA; GOMES; ORLANDI FILHO, 2010).

2.2 Impactos ambientais associados à mineração à céu aberto

Independentemente do tamanho e do tipo, a mineração impacta o ambiente onde está inserida, sobretudo no que diz respeito à remoção do solo fértil e da vegetação, alteração da superfície topográfica, rebaixamento do lençol freático, geração de rejeitos, entre outros (PEJON; RODRIGUES; ZUQUETTE, 2019).

De acordo com a Resolução nº 001/86 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) 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 e o bem-estar da população;

II – as atividades sociais e econômicas;

III – a biota;

IV – as condições estéticas e sanitárias do meio ambiente;

V – a qualidade dos recursos ambientais. (CONAMA, 1986, p. 1).

A exploração de carvão mineral no Rio Grande do Sul e em Santa Catarina, nos séculos XIX e XX, causou enormes impactos e deixou passivos ambientais, principalmente onde a mineração ocorreu a céu aberto. Atualmente, projetos de recuperação dessas áreas degradadas estão em andamento, recuperando gradativamente esse passivo ambiental. Com a evolução da legislação ambiental e da fiscalização nas últimas décadas, a mineração atual é conduzida utilizando técnicas adequadas, que recuperam as áreas impactadas paralelamente à lavra, diminuindo o impacto sobre o meio ambiente (FERREIRA; GOMES; ORLANDI FILHO, 2010).

Segundo Silva *et. al.* (2008), o carvão mineral ocorre em camadas de formato tabular e, por esse motivo, demanda uma área de mineração maior quando

comparada a outros minérios. Quando minerado à céu aberto, é extraído em cavas e o material escavado é depositado em corte já explorado. Os cuidados nessas operações de decapeamento e preenchimento da cava minerada são o principal determinante do grau de impacto provocado por uma mina de carvão.

Quando há perda das camadas superficiais de solo fértil e argila, por enterro destas ou inversão das camadas, os trabalhos de recuperação são dificultados e os prejuízos são incalculáveis. Por outro lado, o devido planejamento das operações de lavra, com definição dos locais de bota-fora³ e depósitos de solo fértil para uso posterior, permitem uma recuperação adequada e com baixos custos (SILVA *et. al.* 2008).

2.3 Gestão ambiental e a mineração

A história nos fornece exemplos de como a degradação ambiental influenciou na perda de importância de diversas civilizações. Os mesopotâmicos utilizavam um complexo de irrigação que, devido ao manejo intenso e impróprio levou à salinização dos solos e sua inutilização para a agricultura. Já os maias, na América Central, entraram em decadência pela má utilização do solo, que provocou erosões e escassez de água (CORDANI; TAOLI, 2009).

A sociedade, buscando atender às suas necessidades básicas, interfere no ambiente provocando alterações nas suas condições, disponibilidade e quantidade, resultando em diferentes possibilidades de impactos ambientais. Com o passar do tempo, à medida que a sociedade demanda tanto a disponibilidade de recursos naturais para uso social e econômico, quanto a preservação de suas condições de uso, surge a necessidade de um intermediador que garanta a combinação desses propósitos potencialmente conflitantes, ou seja, a gestão ambiental (AGRA FILHO, 2019).

Segundo Barbieri (2011), gestão ambiental compreende as diretrizes e as atividades administrativas e operacionais realizadas buscando obter efeitos positivos sobre o meio ambiente, tanto reduzindo, eliminando ou compensando os danos causados pelo homem, quanto atuando para evitar seu surgimento. Já para Agra Filho (2019, p. 557), gestão ambiental compreende a “[...] harmonização de conflitos de interesses sociais quanto às destinações dos recursos naturais e quanto aos

³ Local onde é feita a deposição do material estéril.

requisitos para assegurar a manutenção das condições ambientais para a qualidade de vida da sociedade e outras formas de vida”.

Na mineração, a gestão ambiental busca obter respostas eficientes que visem a preservação do meio ambiente, o controle dos resíduos e a amenização ou reparação dos prováveis danos. A recuperação realizada paralelamente à lavra evita o acúmulo de passivos ambientais (MORAES; SANTOS, 2008).

De acordo com Barreto (2001), diversos instrumentos são utilizados para minimizar impactos ambientais causados por atividades econômicas consideradas potencialmente poluidoras, tais como os legais (licenciamento ambiental, PCA, EIA/RIMA, PRAD), os econômicos (incentivos, caução ambiental) e os técnicos (novas tecnologias e parâmetros ambientais).

As mineradoras titulares de concessões de lavra no Brasil são as responsáveis pela recuperação das áreas impactadas, de acordo com o Plano de Recuperação de Áreas Degradadas (PRAD), que é requerido quando da apresentação do Estudo de Impacto Ambiental (EIA) e do Relatório de Impacto Ambiental (RIMA) na fase de licenciamento ambiental. O PRAD é o conjunto de ações que objetivam garantir a segurança e a saúde pública, através da recuperação do equilíbrio dinâmico de áreas degradadas, de modo a devolvê-las às condições desejáveis para seu uso futuro, também previamente decidido (SANTOS, 2017).

De acordo com Barbieri (2011), é necessário conhecer os impactos ambientais para poder atuar sobre eles, daí a necessidade de estudá-los. O estudo dos impactos ambientais constitui um instrumento de gestão ambiental sem o qual não seria possível promover os avanços dos sistemas produtivos na questão ambiental.

Segundo Santos (2017, p. 22), “as áreas ou recursos afetados pela mineração devem ser devolvidos a uma condição segura e produtiva por meio da reabilitação, o que pode ou não envolver o retorno às condições pré-mineração”. A recuperação das áreas impactadas deve ser concomitante à atividade de lavra, e deve continuar após o fechamento da mina.

2.4 A Topografia e suas aplicações na mineração

Topografia é a ciência que estuda a representação das dimensões e contornos (ou características tridimensionais) de uma porção da superfície terrestre através de medições de distâncias, direções e altitudes. Além de levantamentos em campo, compreende também a preparação de mapas e diagramas necessários às diversas atividades (McCORMAC, 2011).

A origem da topografia está intimamente ligada ao início da civilização humana. Desde que o homem concebeu o direito à propriedade, também buscou métodos para determinar seus limites. Fontes históricas e evidências arqueológicas revelam que na Babilônia, China e Índia, por volta de 2500 a.C. já se praticava algum tipo de topografia. Há ainda, evidências de trabalhos topográficos no Egito desde, aproximadamente 1400 a. C., utilizados para demarcações de terras, restabelecimento de fronteiras após as cheias do Nilo e cobrança de impostos. Durante o Império Romano foram realizados grandes avanços na Topografia, principalmente na construção de cidades, monumentos, estradas, acampamentos e rotas militares (SILVA; SEGANTINE, 2015).

A porção terrestre representada pela Topografia é definida pelo plano horizontal, não podendo ultrapassar 30km de extensão, devido à esfericidade da Terra. Trabalhos que ultrapassam essa extensão são abrangidos pela Geodésia. Com o avanço da tecnologia e o uso cada vez maior de recursos como o GPS, a Topografia passa a compor também a grande área da Geomática, que trabalha com dados baseados na emissão de sinais de satélites artificiais (DAIBERT, 2014).

Segundo Tuler, Saraiva e Floriano (2016), é indiscutível a importância da topografia para a engenharia. Para o planejamento e implantação de qualquer obra de engenharia, o conhecimento dos elementos naturais e artificiais que a cercam é essencial. A planta topográfica é “ferramenta” imprescindível para a implantação de projetos de engenharia.

Entre as inúmeras atividades da engenharia que necessitam da topografia estão obras urbanas, saneamento básico, infraestrutura de transportes, píeres, canais, desembarcadouros, redes de drenagem e irrigação, barragens, entre outros. Além disso, a topografia é necessária para o correto posicionamento de equipamentos industriais, instalações de máquinas, controle de tolerância na

fabricação de navios e aeronaves, entre outras aplicações. (McCORMAC, 2011; TULER; SARAIVA; TEIXEIRA, 2017).

Nas áreas de geologia, geotecnia e mineração a topografia é atividade de extrema importância para definição de aspectos geológicos (em campo ou por meio de plantas topográficas), definição e demarcação de jazidas, cálculos de volumes, locação de furos de sondagem, locação de frentes de lavra, demarcação de áreas de risco, controle do assoreamento de barragens, locação de piezômetros, etc. (TULER; SARAIVA, FLORIANO, 2016).

Na área de gestão ambiental, a topografia também se faz presente como instrumento imprescindível. Segundo Ibrahim (2014), o processo de licenciamento ambiental depende de informações presentes em mapas, cartogramas e de coordenadas de localização que são obtidos com o geoprocessamento ambiental. Geoprocessamento é o tratamento de dados georreferenciados através de programas de computador que possibilitam o uso de mapas, cartas topográficas e plantas, com as respectivas coordenadas em um dado sistema de referência. O empreendedor em licenciamento deverá fornecer as plantas topográficas exigidas para o processo, e os analistas e licenciadores entram com tais informações no sistema para análise e deferimento. Esses dados permitirão conhecer o contexto geológico em que se insere o empreendimento e serão utilizados em vistorias.

O acompanhamento da recuperação ambiental em áreas mineradas também se utiliza da topografia. A CRM realiza mensalmente medições dos avanços nas etapas de recuperação das áreas impactadas que são incluídas em relatórios internos, também enviados ao governo estadual. Semestralmente essas informações são reunidas e enviadas para a FEPAM.

Dentre os equipamentos topográficos que a empresa utiliza para realizar esses levantamentos topográficos, os mais utilizados são a estação total e os receptores GNSS.

Estação total é um instrumento ótico que une as funções do teodolito eletrônico digital com o distanciômetro eletrônico. Possibilita a organização das medidas angulares e de distância em cadernetas eletrônicas armazenadas em sua memória para posterior descarregamento em *software* específico. Possui algumas funções diferenciadas, como calcular coordenadas da estação a partir de pontos com coordenadas conhecidas, calcular diferenças de nível e inclinação, alterar o tipo

de ângulo vertical, realizar a locação de pontos, entre outros (TULER; SARAIVA; TEIXEIRA, 2017).

Os receptores GNSS tem a função de determinar coordenadas (cartesianas, geodésicas ou UTM) de um ou mais pontos, a qualquer momento, em qualquer lugar da superfície terrestre, a partir de informações de, no mínimo, três satélites. Esses receptores recebem sinais variados, considerando os sistemas GPS (norte-americano) e GLONASS (russo), podendo ter diferentes frequências (L1 ou L1/L2). Alguns modelos possuem a tecnologia RTK (*Real Time Kinematic*), que permite a correção das coordenadas em tempo real via rádio, estando sua base em um ponto com coordenada conhecida (TULER; SARAIVA; TEIXEIRA, 2017).

2.4.1 Levantamentos topográficos

Os levantamentos topográficos são utilizados na medição do relevo, rugosidade ou alterações tridimensionais da superfície da Terra. A partir deles obtemos dados detalhados sobre alturas, elementos naturais e artificiais (montanhas, rios, prédios, estradas, etc.), e toda a informação é representada em mapas topográficos. Todos os tipos de engenheiros, assim como arquitetos e geólogos utilizam esses mapas como um recurso de planejamento de seus projetos (McCORMAC, 2011).

A NBR 13.133, Norma Brasileira para Execução de Levantamento Topográfico, foi criada em maio de 1994 pela Associação Brasileira de Normas Técnicas, e seu objetivo é fixar “as condições exigíveis para execução de levantamento topográfico” (ABNT, 1994, p.1).

A NBR 13.133 define levantamento topográfico como:

Conjunto de métodos e processos que, através de medições de ângulos horizontais e verticais, de distâncias horizontais, verticais de inclinadas, com instrumental adequado à exatidão pretendida, primordialmente, implanta e materializa pontos de apoio no terreno, determinando suas coordenadas topográficas. A estes pontos se relacionam os pontos de detalhes visando à sua exata representação planimétrica numa escala predeterminada e à sua representação altimétrica por intermédio de curvas de nível, com equidistância também predeterminada e/ou pontos cotados (ABNT, 1994, p. 3).

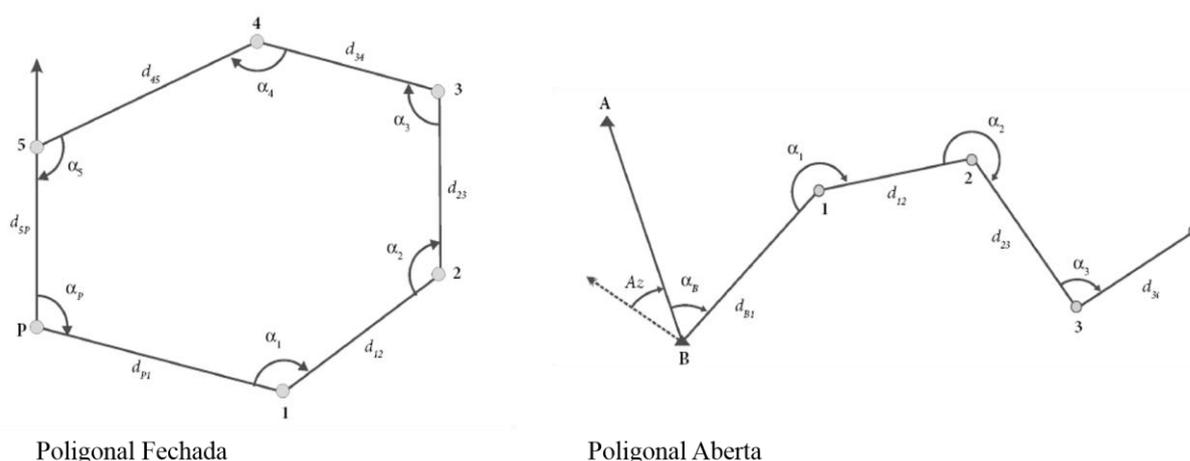
Nas operações topográficas, são chamados relevo as elevações e depressões do terreno. Sua representação deve apresentar de modo mais

expressivo possível suas formas, permitir determinar, com precisão compatível com a escala, a cota ou altitude de qualquer ponto do terreno, e permitir elaborar projetos geométricos (TULER; SARAIVA; FLORIANO, 2016).

Uma das maneiras mais utilizadas para representar o relevo é o levantamento planialtimétrico. De acordo com Daibert (2014), o levantamento planialtimétrico é a junção de outros dois tipos de levantamentos, o planimétrico (mede ângulos e distâncias horizontais) e o altimétrico (mede ângulos e distâncias verticais). Sua representação é feita no plano horizontal, com anotações de referência de altitudes.

A planialtimetria com estação total é realizada com a implantação de poligonais e o uso de nivelamento trigonométrico. Segundo Tuler, Saraiva e Floriano (2016), a poligonal é realizada com a medição de ângulos e distâncias resultado em uma sequência de alinhamentos. Pode partir de um ponto e retornar ao mesmo ponto (poligonal fechada), ou partir de um ponto e chegar a outro ponto (poligonal aberta) como ilustra a Figura 1. A partir dos pontos da poligonal os elementos naturais ou artificiais de interesse são levantados utilizando métodos secundários, principalmente por irradiação, onde a coordenada do ponto é determinada por um ângulo e uma distância a partir da poligonal.

Figura 1: Poligonais topográficas

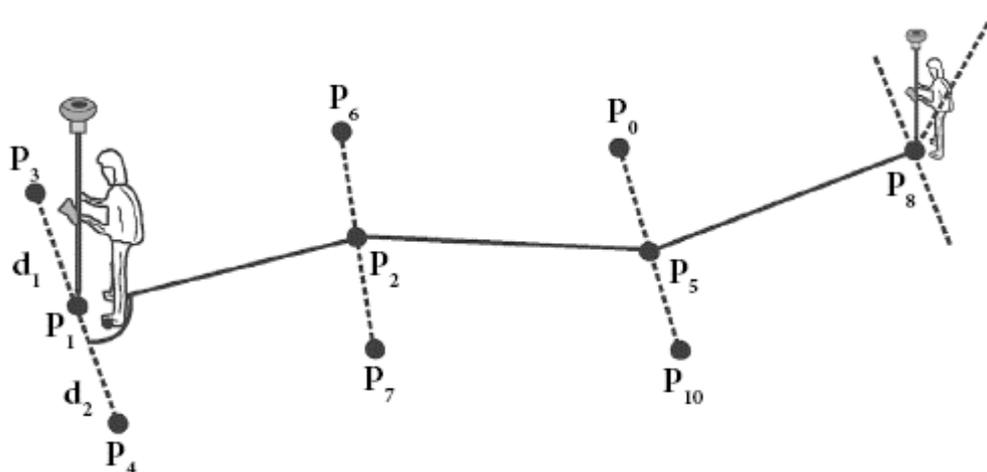


Fonte: Adaptado de Silva; Segantine (2015)

Nos levantamentos planialtimétricos realizados com receptores GNSS em modo relativo (RTK), o receptor da base fica instalado em um ponto com coordenadas conhecidas e com o outro receptor procede-se a medição, deslocando-se pelo terreno para realizar a leitura dos pontos de interesse, como mostrado na

Figura 2. Este método é extremamente rápido e permite alcançar precisões centimétricas e, em condições favoráveis, até milimétricas (SILVA; SEGANTINE, 2015).

Figura 2: Levantamento por irradiação com receptor GNSS



Fonte: Silva; Segantine (2015)

2.5 Histórico e atuação da Companhia Riograndense de Mineração

A Companhia Riograndense de Mineração (CRM) é uma empresa de economia mista controlada pelo Governo do Estado do Rio Grande do Sul.

Segundo Osório (2012), a origem da CRM remonta a 1917, quando foi organizada uma companhia para a exploração de carvão na Jazida de Candiota, no local onde hoje está localizada a antiga Estação Férrea Dário Lassance. Desde 1943 a Companhia Estadual de Mineração forneceu carvão à Viação Férrea Riograndense e a uma usina própria em Hulha Negra.

Em outubro de 1947 foi criado o Departamento Autônomo de Carvão Mineral – DACM, e em 1949 foi projetada a Mina de Candiota I, no bairro Dário Lassance, bem como a Usina Termelétrica Candiota I, com 20MW. Em agosto de 1961, o DACM iniciou a lavra na Malha-I para o abastecimento da Usina de Candiota I, e em outubro de 1969 o mesmo foi transformado em sociedade de economia mista, passando a chamar-se Companhia Riograndense de Mineração (OSÓRIO, 2012).

A jazida de Candiota é a maior jazida de carvão do país, com cerca de 38% (12 bilhões de toneladas) dos recursos totais brasileiros e ocupa uma área da ordem de 2.000km². Entre as camadas de carvão presentes, a camada Candiota é a mais

importante, respondendo por 63% dos recursos da jazida. Sua espessura média é 4,5 metros, podendo ultrapassar 6 metros em alguns locais (GOMES; CRUZ; BORGES, 2003).

A maior parte do carvão produzido é destinado ao consumo da CGT Eletrosul, que administra a Usina Termelétrica Candiota III (Fase C), localizada próxima à mina, que tem uma potência instalada de 350MW.

Além da Mina de Candiota, a CRM também é proprietária das Minas do Leão I e II, no município de Minas do Leão, e possui concessões na Jazida do Iruí, que abrange os municípios de Cachoeirinha do Sul, Rio Pardo e Encruzilhada do Sul, porém estas unidades encontram-se atualmente inativas.

3 METODOLOGIA

Segundo Prodanov e Freitas (2013, p. 14), a metodologia “é a aplicação de procedimentos e técnicas que devem ser observados para construção do conhecimento, com o propósito de comprovar sua validade e utilidade nos diversos âmbitos da sociedade”. Deste modo, na metodologia são apresentados os métodos e técnicas utilizados para alcançar os objetivos estabelecidos.

Neste capítulo serão apresentadas a classificação da pesquisa, os equipamentos e métodos utilizados na coleta e análise dos dados, a localização das áreas estudadas e a delimitação temporal da pesquisa.

3.1 Classificação da pesquisa

Segundo Gil (2017), pesquisa pode ser definida como o procedimento racional e sistemático que busca fornecer respostas aos problemas que são propostos e é desenvolvida através da união dos conhecimentos disponíveis e a utilização cuidadosa de métodos e técnicas de investigação científica. Para Marconi e Lakatos (2017), é um procedimento formal, que demanda tratamento científico e se constitui como o meio para conhecer a realidade.

De acordo com Prodanov e Freitas (2013), as pesquisas podem ser classificadas de acordo com quatro pontos de vista: da sua natureza, de seus objetivos, dos procedimentos técnicos e da forma de abordagem do problema.

Do ponto de vista de sua natureza, pode ser classificada em pesquisa básica e pesquisa aplicada. A pesquisa básica não prevê aplicações práticas do conhecimento gerado e envolve verdades e interesses universais. Por outro lado, a pesquisa aplicada prevê aplicações práticas desse conhecimento para a solução de problemas e envolve verdades e interesses locais (PRODANOV; FREITAS, 2013).

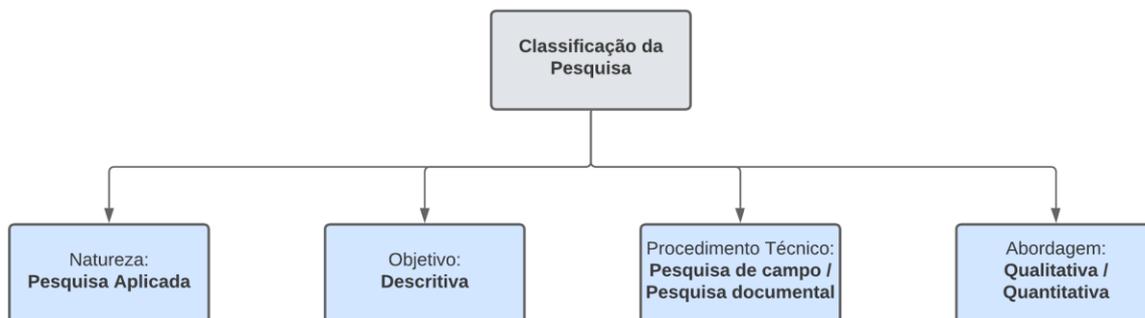
Quanto a seus objetivos, podem ser pesquisas exploratórias, buscando proporcionar mais informações sobre o problema, visando torná-lo mais explícito; pesquisas descritivas, que buscam a descrição das particularidades de uma população ou fenômeno; ou pesquisas explicativas, que buscam identificar os fatores que determinam ou colaboram para o acontecimento de fenômenos (GIL, 2017). Esta pesquisa será descritiva, já que utilizará os dados coletados para

descrever as mudanças no relevo da área estudada e estimar o tempo médio transcorrido entre o impacto e a recomposição do mesmo.

Quanto aos procedimentos técnicos, Prodanov e Freitas (2013) apontam que referem-se à maneira com a qual obtém-se os dados para a elaboração da pesquisa, podendo se valer das chamadas fontes de papel (pesquisa bibliográfica e pesquisa documental) ou de dados fornecidos por pessoas (pesquisa experimental, pesquisa *ex-post-facto*, levantamento, pesquisa de campo, estudo de caso, pesquisa ação e pesquisa participante). No caso desta pesquisa, serão utilizadas a pesquisa documental, onde as datas dos levantamentos topográficos serão utilizadas para o cálculo da média de tempo entre o início da retirada do solo superficial até o término da etapa de revegetação com gramíneas, e a pesquisa de campo, onde serão coletados os dados para verificar as modificações ocorridas no relevo, devido a este processo.

Do ponto de vista da forma de abordagem podem ser: pesquisa quantitativa, que representa em números opiniões e informações a fim de classificá-las e analisá-las com o uso da estatística; e pesquisa qualitativa, em que a fonte direta de dados é o próprio ambiente, necessitando de um trabalho mais intensivo de campo para retratar o maior número possível de elementos da realidade estudada, sem utilização de dados estatísticos na análise e sem manipulação do pesquisador (PRODANOV; FREITAS, 2013). Nesta pesquisa, serão aplicadas ambas as abordagens. A estimativa da média de tempo entre o início da retirada do solo superficial e a recomposição topográfica e revegetação será quantitativa. Já o comparativo entre o relevo antes da mineração e pós recomposição e revegetação será de modo qualitativo.

Com base nessas classificações, a presente pesquisa é classificada conforme a Figura 3.

Figura 3 – Classificação da pesquisa

Fonte: Autora (2023)

3.2 Equipamentos de medição topográfica

Os levantamentos topográficos apresentados neste trabalho foram realizados com dados coletados por estação total e receptores GNSS.

A estação total utilizada é da marca Sokkia, modelo SET530RK3 (Figura 4), com precisão linear de $\pm 2\text{mm} + 2\text{ppm}$ e precisão angular de $5''$.

Figura 4: Estação total

Fonte: Autora (2023)

Este trabalho também incluirá levantamentos realizados com um par de receptores GNSS Zenith 25 da GeoMax, frequência L1/L2 com rastreamento de sinais GPS e GLONASS e medição de pontos estáticos e cinemáticos (*RTK*), com controladora para edição dos pontos (Figura 5). São esses receptores que fazem a medição das coordenadas dos pontos de referência para os levantamentos realizados com a estação total.

Figura 5: Receptores GNSS e coletora de dados



Fonte: Autora (2023)

3.3 Processamento dos dados

Para realizar o cálculo e processamento dos dados coletados com estação total é utilizado o *software Topograph 98SE*. Nele os dados são descarregados em cadernetas eletrônicas e calculadas as coordenadas das poligonais e irradiações.

Para o processamento dos dados coletados com os receptores GNSS é utilizado o *software GeoMax GeoOffice* que processa os dados brutos obtidos dos satélites e permite o cálculo das coordenadas dos pontos lidos no modo estático. O cálculo das coordenadas lidas no modo *RTK* é feita em tempo real, podendo ser descarregada diretamente da coletora para o computador.

3.4 Análise dos dados

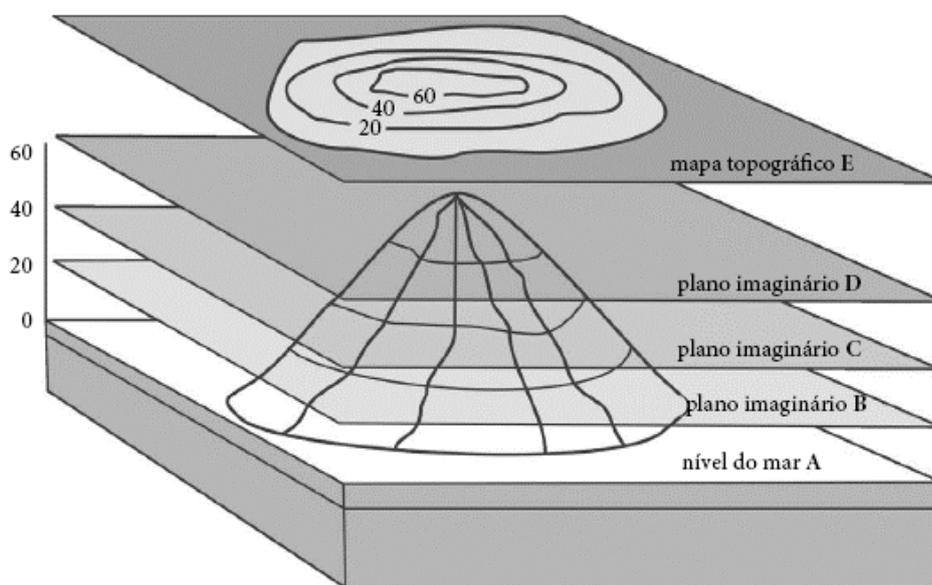
Os dados coletados através dos levantamentos topográficos serão utilizados para retratar o relevo que pode ser representado de várias formas.

Nestas representações de relevo utilizadas serão por curvas de nível e por perfil longitudinal.

3.4.1 Representação do relevo por curvas de nível

Segundo Daibert (2014), curvas de nível são linhas desenhadas em planta planialtimétrica que representam uma sequência de pontos com o mesmo valor altimétrico. São a representação em um plano horizontal dos cortes feitos por planos horizontais paralelos nas elevações e depressões do terreno, como ilustra a Figura 6.

Figura 6: Representação de curvas de nível geradas pela interseção de planos horizontais paralelos com o terreno



Fonte: Silva; Segantine (2015)

Esses planos horizontais são separados por distância vertical constante, que determina a equidistância das curvas de nível no desenho. Podem ser desenhadas em intervalos de 0,5, 1, 5, 10, 25 e 50 metros, a depender das diretrizes do projeto para o qual estão sendo utilizadas. A cada cinco curvas, apresenta-se uma curva

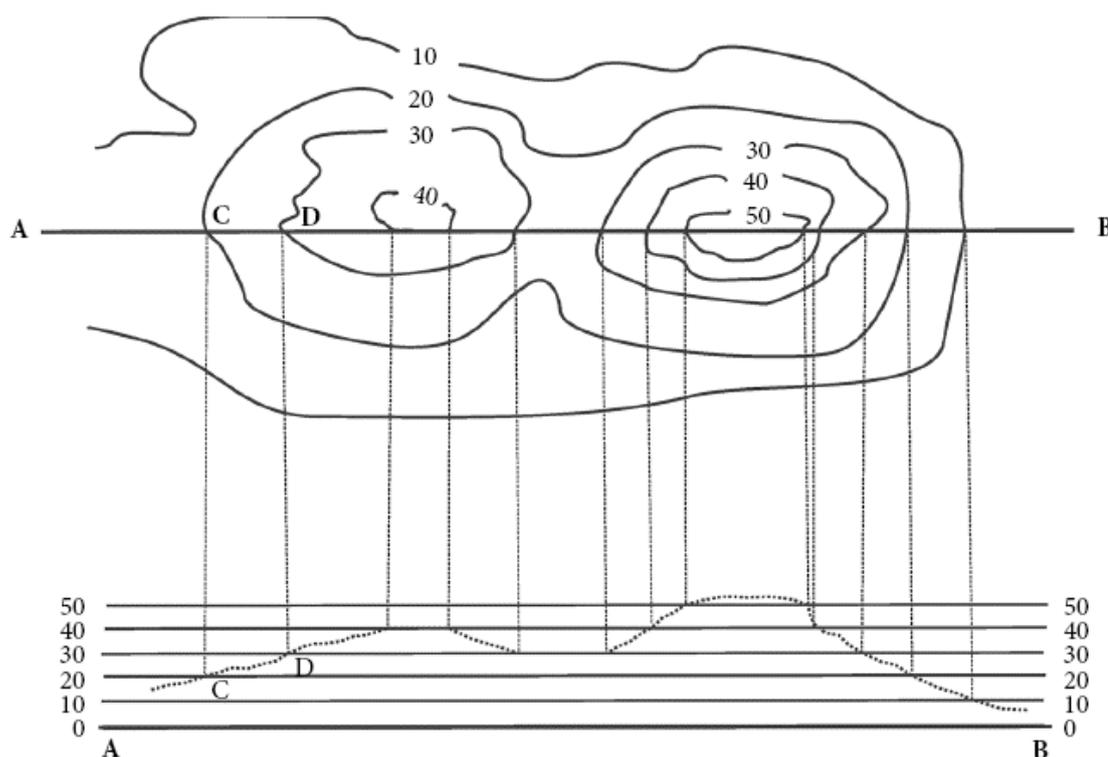
indicando o valor da altitude, chamada de “curva mestra”, a qual será realçada com uma cor diferente e/ou espessura mais grossa (SILVA; SEGANTINE, 2015).

3.4.2 Representação do relevo por perfil longitudinal

Um perfil longitudinal é a representação gráfica das diferenças de nível geradas a partir de um nivelamento. É utilizado para evidenciar as diferenças de altitudes entre pontos notáveis do terreno ao longo de um alinhamento através de uma seção vertical (“corte” vertical). A representação é realizada indicando as altitudes dos pontos e as distâncias entre eles, ao longo do alinhamento (SILVA; SEGANTINE, 2015; TULER; SARAIVA; FLORIANO, 2016).

Silva e Segantine (2015) escrevem que para obter um perfil longitudinal a partir de uma planta topográfica traça-se o alinhamento do perfil sobre as curvas de nível e procede-se a interpolação dos valores das altitudes equidistantes ou os valores inteiros das curvas de nível que interceptam o alinhamento, conforme a Figura 7.

Figura 7: Representação de um perfil topográfico traçado a partir de uma planta com curvas de nível



Fonte: Silva; Segantine (2015)

É comum a utilização de uma escala vertical (altitudes) muito maior que a horizontal (distâncias), normalmente 10 vezes, a fim de tornar as diferenças de nível muito mais evidentes (McCORMAC, 2011).

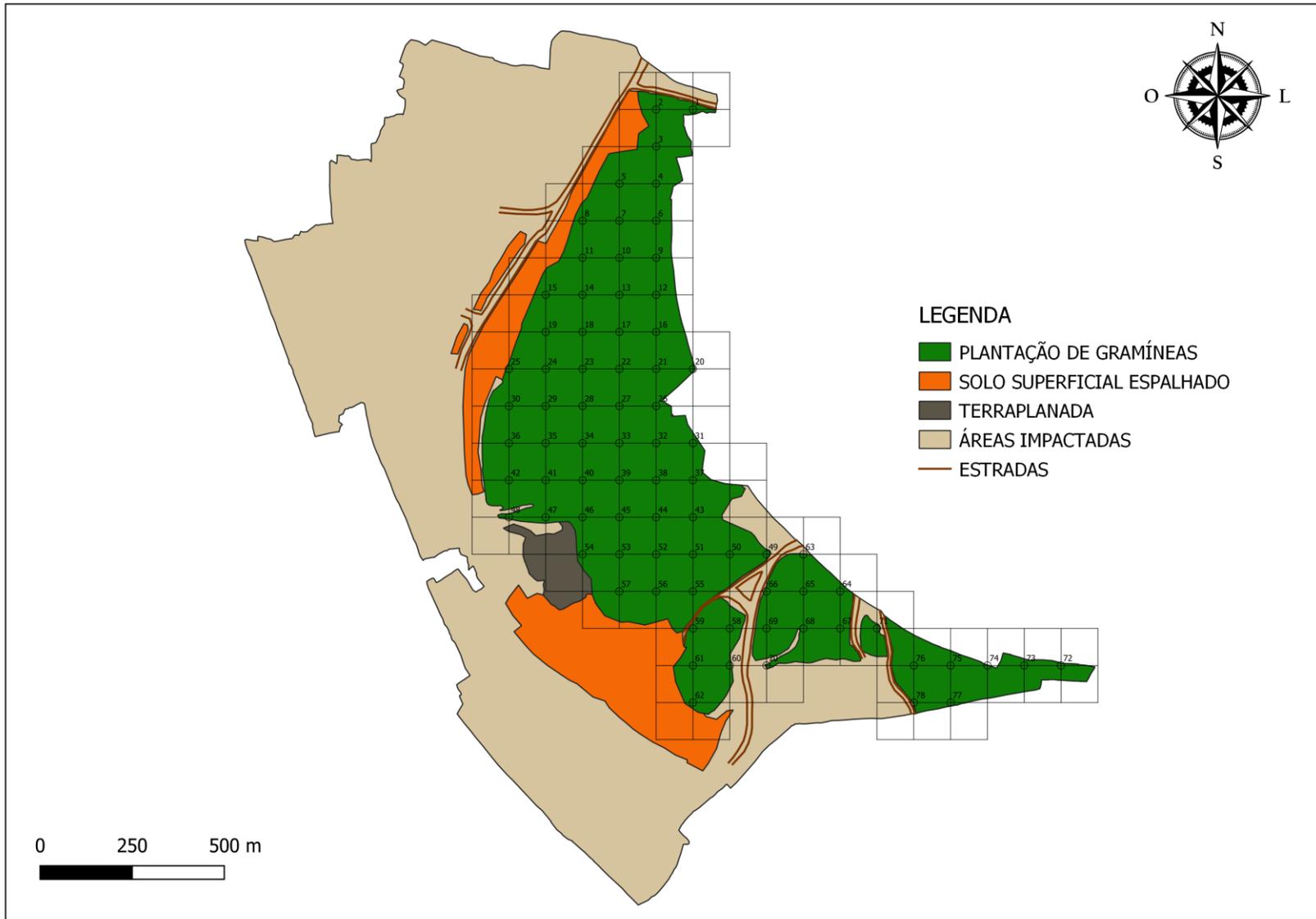
3.5 Localização das áreas e delimitação temporal da pesquisa

Para realizar o cálculo da média de tempo que a empresa leva entre o decapeamento e a revegetação com gramíneas houve a necessidade de delimitar o período de tempo a ser considerado na pesquisa. O período selecionado foi a partir de novembro de 2011, quando, à pedido da FEPAM, as áreas impactadas passaram a ser consideradas a partir da retirada do solo superficial, e não mais ao se chegar ao nível do carvão da camada Candiota, que era o método anterior.

Na etapa seguinte, considerando o avanço da mineração e dos serviços de recuperação ambiental no período, foi elaborado um mapa com a situação atual da área pesquisada. A partir deste, foi desenhada uma grade de 100 x 100 metros de distância, onde em cada intersecção sobre área com plantação de gramíneas estabeleceu-se um ponto cujas coordenadas foram utilizadas para buscar as datas dos levantamentos que serviram de base para o cálculo.

A figura 8 apresenta o mapa elaborado e os pontos utilizados no cálculo:

Figura 8: Mapa da área de pesquisa com os pontos utilizados no cálculo

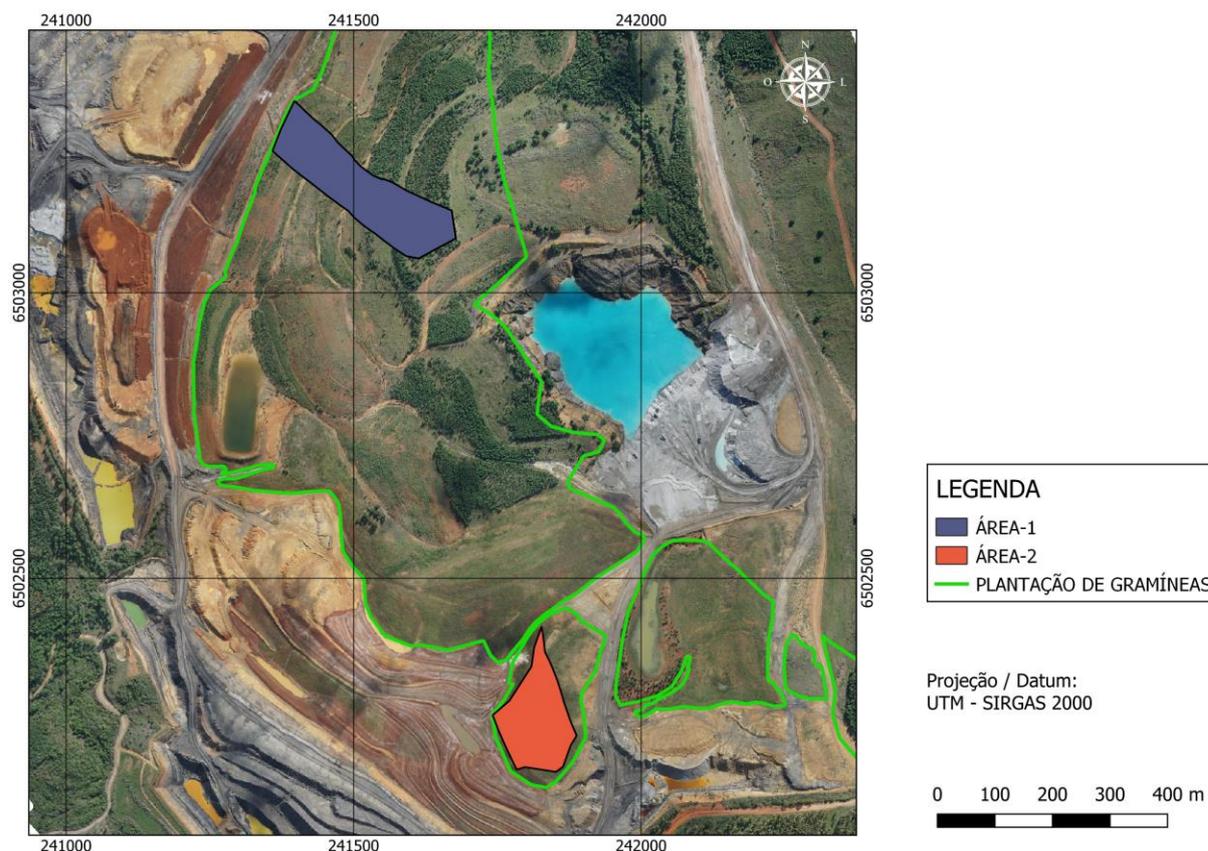


Fonte: Autora (2023)

Para realizar a avaliação das modificações do relevo foram selecionadas duas áreas situadas em locais já minerados e recompostos topograficamente em que o plantio de gramíneas já foi realizado. Estes locais também estão situados dentro do recorte temporal estabelecido para o cálculo da média de tempo.

A figura 9 apresenta a localização das referidas áreas:

Figura 9: Localização das áreas levantadas para a pesquisa



Fonte: Autora (2023)

Para realizar o comparativo com as áreas medidas para esta pesquisa, foram utilizados os arquivos de medições realizadas no mesmo local antes da retirada do solo superficial. Essas medições são utilizadas para calcular o volume de estéril removido e são realizadas em todas as áreas que serão mineradas.

4 RESULTADOS

Este capítulo apresenta o processo de lavra e recuperação ambiental das áreas mineradas na Companhia Riograndense de Mineração, bem como os resultados obtidos no cálculo da média de tempo decorrido entre o início da retirada do solo superficial, antes da mineração, até o término da revegetação do relevo recomposto com o plantio de gramíneas e o comparativo entre o relevo anterior e posterior a esse processo em duas áreas selecionadas.

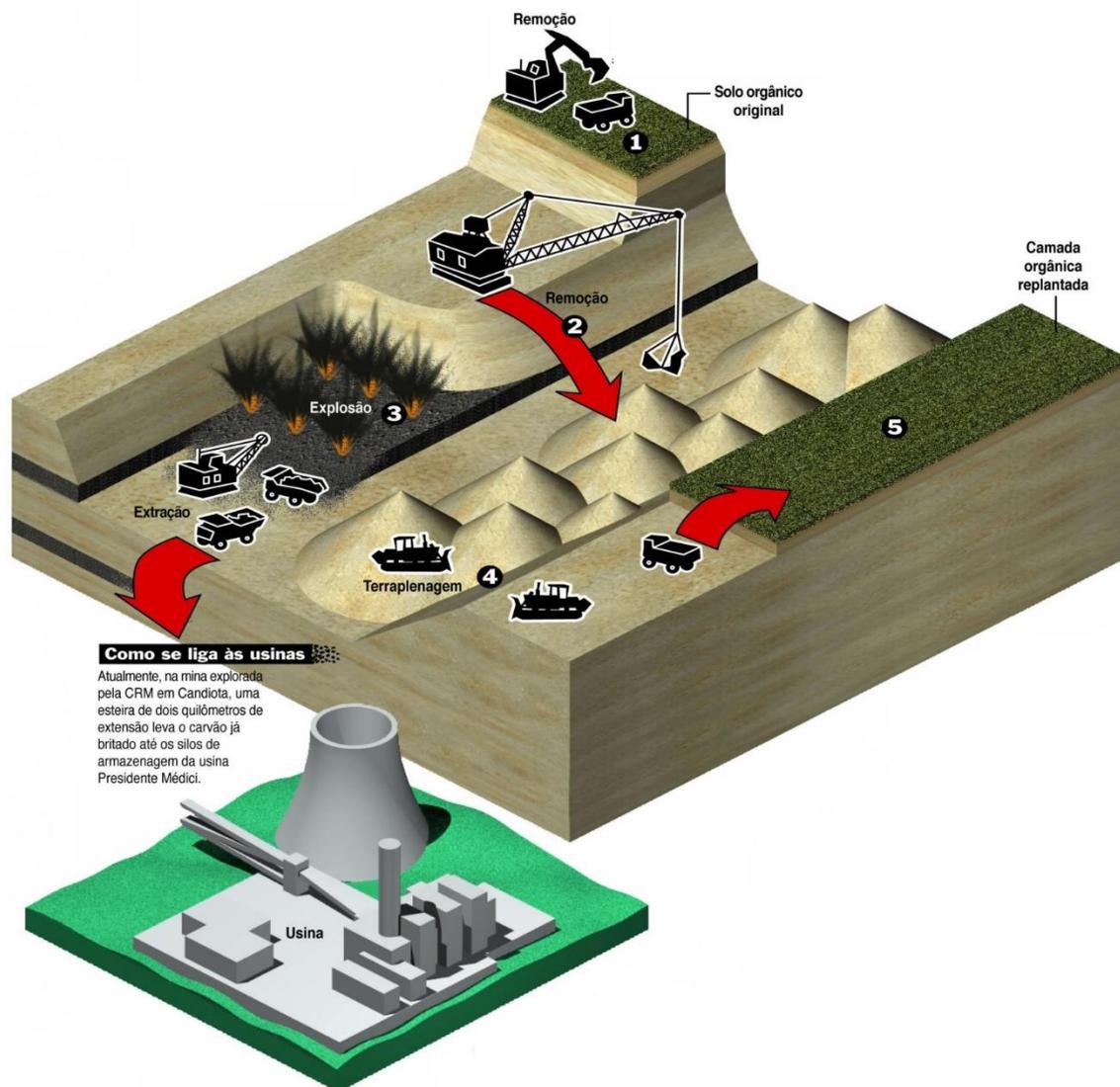
4.1 Processo de lavra e recuperação ambiental das áreas mineradas na CRM

Segundo o Centro de Memória da Eletricidade no Brasil (2001), das 12 bilhões de toneladas de carvão da jazida de Candiota, aproximadamente 3,9 bilhões são mineráveis à céu aberto, chegando a, no máximo, 40 metros de profundidade. O carvão de subsolo também existe na jazida, porém exigiria mineração subterrânea, muito mais cara e atualmente desnecessária, devido à grande disponibilidade de carvão próximo à superfície.

A mineração de carvão em Candiota é realizada pelo método de lavra em tiras (*strip mining*). Segundo Koppe e Costa (2008), neste método as camadas de solo superficial e outras formações sedimentares que constituem a cobertura estéril, são removidas descobrindo a camada de carvão para ser lavrada. Tendo sido preservado o solo de cobertura, o material estéril removido de um corte irá preencher o corte anterior, buscando-se manter a sequência estratigráfica original. Posteriormente o solo preservado recobre o material reposto.

Na Figura 10 está apresentada uma visão geral do processo de lavra da mina de Candiota.

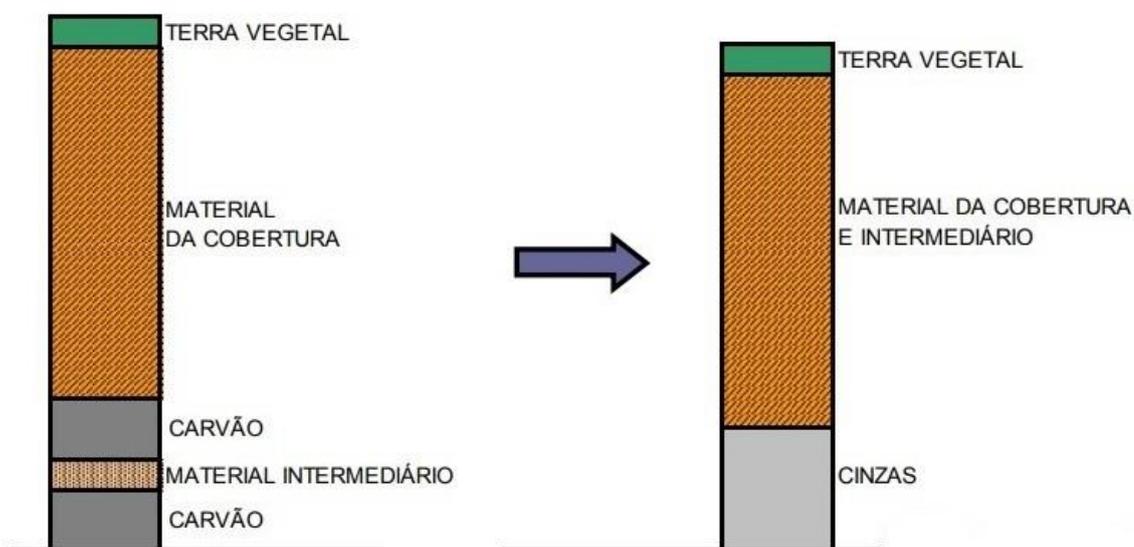
Figura 10: Processo de lavra e recuperação ambiental



Fonte: Companhia Riograndense de Mineração. Acervo da empresa (2023)

Neste processo, algumas áreas são selecionadas para receberem o excedente de cinzas resultantes da combustão do carvão na usina, que não são absorvidos para produção de cimento na região. As áreas que recebem as cinzas são impermeabilizadas com argila e depois recebem a cobertura com o material estéril, seguindo o processo de recuperação. A Figura 11 ilustra o perfil geológico das áreas antes e após a mineração.

Figura 11: Representação do perfil geológico antes e após a mineração



Fonte: Companhia Riograndense de Mineração. Acervo da empresa (2023)

O perfil geológico, obtido através de sondagens, apresenta as seguintes espessuras médias: o solo orgânico (também chamado de terra vegetal) com 0,50m; argila vermelha, com 2,97m; cobertura formada por arenitos, argilitos e folhelhos carbonosos com 35,50m (neste total estão incluídos 1,15m de Camada S-3 e 0,69m de Banco Louco, que são camadas de carvão também mineradas).

A Camada Candiota, principal camada da jazida, é formada por dois bancos de carvão chamados Banco Superior e Banco Inferior com 2,66 e 2,83m em média, respectivamente, sendo separados por 0,60m de argilito intermediário.

Nos próximos itens serão detalhadas as etapas do processo de lavra e recuperação ambiental.

4.1.1 Retirada do solo superficial

Tendo sido definido o novo corte a ser minerado, a remoção do solo superficial é realizada por escavadeiras hidráulicas e seu transporte é feito por caminhões (Figura 12). Esta camada é composta pelo solo fértil e por argila vermelha, que também será utilizada na recuperação. Este solo será espalhado de imediato ou, quando não for possível, deverá ser armazenado em área pré-determinada.

Figura 12: Remoção e transporte do solo superficial



Fonte: Companhia Riograndense de Mineração. Acervo da empresa (2023)

Segundo Silva *et. al.* (2008), esta camada fértil do solo servirá como substrato para a vegetação a ser introduzida, bem como para a ocorrência dos processos de sucessão natural. A camada mínima a ser depositada e espalhada para o revestimento das áreas a serem recuperadas deve ter aproximadamente 30cm.

4.1.2 Decapeamento do carvão

Nesta etapa, o material estéril é retirado, deixando as camadas de carvão expostas, e é depositado em cortes anteriormente minerados. As camadas de arenito e siltito necessitam de detonação com explosivos para serem retiradas.

As escavadeiras rebaixam o material até chegar a uma altura adequada para a *Dragline* (Figura 13) continuar o decapeamento. Quando mais frentes de lavra estão ativas, esse decapeamento também pode ser feita inteiramente com conjunto escavadeira/caminhões.

Figura 13: Decapeamento do carvão pela *Dragline*



Fonte: Companhia Riograndense de Mineração. Acervo da empresa (2023)

4.1.3 Extração e transporte do carvão

O carvão, após ser perfurado e detonado, é retirado por escavadeira e transportado por caminhões de grande porte até o beneficiamento, onde será britado e enviado por correia transportadora até o pátio da CGT Eletrosul.

A Figura 14 mostra uma escavadeira sobre a camada de carvão descoberto e detonado realizando o carregamento de um caminhão.

Figura 14: Extração do carvão por escavadeira



Fonte: Companhia Riograndense de Mineração. Acervo da empresa (2023)

Conforme a necessidade, algumas áreas mineradas são selecionadas para se tomarem depósitos do excedente de cinzas produzidas pela queima do carvão da usina. Após uma impermeabilização com argila, elas serão recobertas com material estéril como as demais áreas.

A figura 15 mostra um depósito de cinzas em cava já minerada:

Figura 15: Depósito de cinzas



Fonte: Companhia Riograndense de Mineração. Acervo da empresa (2023)

4.1.4 Recomposição topográfica

Nesta etapa, as áreas anteriormente mineradas e que receberam cobertura de material estéril, com ou sem o aproveitamento de vazios para deposição de cinzas, são nivelados com tratores de esteira, buscando que o novo relevo seja similar ao original.

A Figura 16 mostra um trator de esteira realizando o nivelamento do material estéril retirado no decapeamento do carvão.

Figura 16: Recomposição topográfica por trator de esteira



Fonte: Companhia Riograndense de Mineração. Acervo da empresa (2023)

De acordo com Santos (2017), a topografia em torno das áreas impactadas também influencia os planos e práticas de recuperação. A superfície reconstruída deve misturar-se com a paisagem não perturbada de forma a permitir que os fluxos de matéria e energia atravessem suavemente a região recuperada.

4.1.5 Deposição do solo superficial

O solo superficial, retirado da frente de lavra, é depositado e espalhado sobre a área topograficamente recomposta com o auxílio de trator de lâmina.

A Figura 17 mostra uma área com o solo superficial recém depositado.

Figura 17: Área com solo superficial depositado



Fonte: Companhia Riograndense de Mineração. Acervo da empresa (2023)

Uma das fases mais importantes dessa etapa é o controle de erosão dessas áreas. Por isso, conforme a necessidade do local, são construídos terraços ou drenagens de contenção a fim de diminuir as velocidades de escoamento das águas pluviais e as perdas de solos (SILVA *et. al.*, 2008).

4.1.6 Correção e adubação do solo

Após a deposição do solo superficial é realizada a correção com a adição de calcário agrícola e adubo para assegurar uma revegetação mais eficiente.

A Figura 18 mostra um trator realizando a adição de calcário no solo superficial depositado.

Figura 18: Adição de calcário agrícola



Fonte: Companhia Riograndense de Mineração. Acervo da empresa (2023)

4.1.7 Revegetação

É a etapa do processo de recuperação em que é realizado o plantio de espécies herbáceas (gramíneas e leguminosas) para o restabelecimento da cobertura vegetal.

A Figura 19 mostra uma área em que a plantação de gramíneas já se desenvolveu.

Figura 19: Área recuperada com plantação de gramíneas



Fonte: Companhia Riograndense de Mineração. Acervo da empresa (2023)

O objetivo da revegetação varia desde o controle da erosão até a restauração das comunidades nativas. As técnicas e espécies utilizadas serão específicas para cada região e uso futuro da terra. Usualmente a revegetação visa o desenvolvimento de uma comunidade de plantas que se mantenha permanentemente sem necessitar de ajuda artificial e que favoreça a fauna nativa (SANTOS, 2017).

O Apêndice A apresenta um diagrama do sequenciamento dos processos de mineração e recuperação ambiental.

4.2 Cálculo da média de tempo entre o decapeamento e a revegetação

Os dados obtidos a partir dos pontos localizados no mapa da figura 17 foram organizados na Tabela 1, que apresenta as datas (mês e ano) em que foram realizados os serviços de retirada do solo superficial (antes da mineração) e plantação de gramíneas (pós recomposição topográfica) e o intervalo de tempo entre estes, em meses e em anos.

Tabela 1: Intervalo de tempo entre a retirada do solo superficial e a plantação de gramíneas

(continua)

Ponto	Retirada do Solo Superficial	Plantação de Gramíneas	Intervalo de tempo	
	Mês / Ano	Mês / Ano	Meses	Anos
1	Setembro / 2015	Janeiro / 2022	76	6,33
2	Maio / 2014	Janeiro / 2022	92	7,67
3	Agosto / 2012	Janeiro / 2022	113	9,42
4	Agosto / 2012	Janeiro / 2022	113	9,42
5	Dezembro / 2012	Janeiro / 2022	109	9,08
6	Novembro / 2011	Dezembro / 2020	109	9,08
7	Novembro / 2012	Janeiro / 2022	110	9,17
8	Janeiro / 2014	Janeiro / 2022	96	8,00
9	Novembro / 2011	Dezembro / 2020	109	9,08
10	Novembro / 2012	Dezembro / 2020	97	8,08
11	Setembro / 2014	Janeiro / 2022	88	7,33
12	Novembro / 2011	Outubro / 2019	95	7,92
13	Novembro / 2012	Dezembro / 2020	97	8,08
14	Outubro / 2014	Janeiro / 2022	87	7,25
15	Abril / 2015	Janeiro / 2022	81	6,75
16	Maio / 2012	Outubro / 2019	89	7,42
17	Novembro / 2012	Dezembro / 2020	97	8,08
18	Outubro / 2014	Dezembro / 2020	74	6,17
19	Maio / 2015	Janeiro / 2022	80	6,67
20	Novembro / 2011	Outubro / 2020	107	8,92
21	Abril / 2012	Outubro / 2020	102	8,50
22	Janeiro / 2014	Dezembro / 2020	83	6,92
23	Outubro / 2014	Dezembro / 2020	74	6,17
24	Março / 2016	Janeiro / 2022	70	5,83
25	Setembro / 2016	Janeiro / 2022	64	5,33
26	Janeiro / 2013	Dezembro / 2020	95	7,92
27	Fevereiro / 2014	Dezembro / 2020	82	6,83
28	Maio / 2015	Janeiro / 2022	80	6,67
29	Março / 2016	Janeiro / 2022	70	5,83
30	Setembro / 2016	Maio / 2022	68	5,67
31	Janeiro / 2013	Outubro / 2020	93	7,75
32	Fevereiro / 2013	Dezembro / 2019	82	6,83
33	Setembro / 2015	Dezembro / 2020	63	5,25
34	Agosto / 2016	Janeiro / 2022	65	5,42
35	Novembro / 2016	Fevereiro / 2021	51	4,25
36	Março / 2017	Dezembro / 2022	69	5,75
37	Abril / 2012	Dezembro / 2019	94	7,83
38	Maio / 2014	Dezembro / 2020	79	6,58

(conclusão)

Ponto	Retirada do Solo Superficial	Plantação de Gramíneas	Intervalo de tempo	
	Mês / Ano	Mês / Ano	Meses	Anos
39	Fevereiro / 2015	Dezembro / 2020	70	5,83
40	Agosto / 2016	Janeiro / 2022	65	5,42
41	Novembro / 2016	Janeiro / 2022	62	5,17
42	Março / 2017	Dezembro / 2022	69	5,75
43	Fevereiro / 2013	Dezembro / 2020	94	7,83
44	Março / 2014	Dezembro / 2020	81	6,75
45	Mai / 2016	Dezembro / 2020	55	4,58
46	Janeiro / 2016	Janeiro / 2022	72	6,00
47	Novembro / 2016	Dezembro / 2022	83	6,92
48	Março / 2017	Dezembro / 2022	69	5,75
49	Março / 2013	Dezembro / 2022	117	9,75
50	Março / 2014	Dezembro / 2022	105	8,75
51	Junho / 2014	Dezembro / 2020	78	6,50
52	Junho / 2015	Dezembro / 2020	66	5,50
53	Janeiro / 2016	Janeiro / 2022	72	6,00
54	Outubro / 2016	Dezembro / 2022	74	6,17
55	Junho / 2015	Dezembro / 2022	90	7,50
56	Janeiro / 2016	Dezembro / 2022	83	6,92
57	Outubro / 2016	Dezembro / 2022	74	6,17
58	Agosto / 2015	Janeiro / 2023	89	7,42
59	Janeiro / 2016	Janeiro / 2023	84	7,00
60	Dezembro / 2015	Setembro / 2022	81	6,75
61	Novembro / 2016	Janeiro / 2023	74	6,17
62	Dezembro / 2016	Janeiro / 2023	73	6,08
63	Fevereiro / 2012	Dezembro / 2020	106	8,83
64	Fevereiro / 2012	Março / 2021	109	9,08
65	Março / 2013	Março / 2021	96	8,00
66	Abril / 2014	Dezembro / 2020	80	6,67
67	Março / 2013	Março / 2021	96	8,00
68	Abril / 2014	Março / 2021	83	6,92
69	Janeiro / 2015	Dezembro / 2020	71	5,92
70	Agosto / 2015	Março / 2021	67	5,58
71	Março / 2012	Março / 2021	108	9,00
72	Outubro / 2012	Abril / 2017	54	4,50
73	Julho / 2012	Abril / 2017	57	4,75
74	Junho / 2012	Abril / 2017	58	4,83
75	Junho / 2012	Abril / 2017	58	4,83
76	Fevereiro / 2013	Abril / 2017	50	4,17
77	Janeiro / 2013	Dezembro / 2020	95	7,92
78	Setembro / 2013	Dezembro / 2020	87	7,25
MÉDIA			83	6,90

Fonte: Autora (2023)

A média de tempo resultante foi de 83 meses, ou 6,90 anos, que correspondem a 6 anos e 11 meses.

Analisando os dados da tabela podemos perceber as variações no intervalo de tempo até a revegetação, sendo o menor de 50 meses (4 anos e 2 meses), e o maior de 117 meses (9 anos e 9 meses).

Alguns fatores relacionados ao funcionamento da mina e ao processo de recuperação ambiental contribuem para esta variação.

A retirada do solo superficial realiza-se em cortes de 70 metros de largura, avançando entre 0,5 a 2 hectares a cada nova área escavada. Já o plantio de gramíneas ocorre em meses específicos do ano. As espécies de verão têm seu plantio realizado geralmente entre setembro e janeiro, e as de inverno, entre março e maio. Sendo assim, as áreas com solo superficial espalhado vão se somando até chegar o período propício para plantação da espécie selecionada. Em algumas ocasiões chegam a ser plantadas 20 a 30 hectares em um único mês, fato que pode ser observado através dos dados da Tabela 1 e o mapa da Figura 17.

4.3 Avaliação das modificações no relevo antes e após mineração e recomposição topográfica

A alteração no relevo é uma característica relevante sob aspecto dos impactos ambientais da mineração. A alteração na paisagem tem grande potencial de estar associada inicialmente ao impacto visual e também aqueles relacionados com a conservação do solo.

A importância da realização da recomposição topográfica foi relatada no trabalho de Polz (2008, p.88) que verificou a transformação de áreas antes impactadas em “ambientes cheios de vida, com cores e formas variadas a cada estação, integrando esta paisagem novamente a fisionomia regional”.

Os levantamentos de campo necessários para avaliar as modificações do relevo na área pesquisada foram realizados na manhã do dia 12 de maio de 2023. Juntamente com o topógrafo e um auxiliar de topografia da CRM, os levantamentos foram realizados com o GNSS Zenith-25. A seguir serão apresentados os resultados obtidos na Area-1 e na Área-2.

4.3.1 Avaliação das modificações do relevo na Área-1

No levantamento de campo da Área-1 foram medidos 69 pontos resultando em um polígono com 30.928m² (3 hectares). A figura 20 apresenta um registro fotográfico feito durante a medição de campo na Área-1:

Figura 20: Registro fotográfico da Área-1



Fonte: Autora (2023)

As figuras 21 e 22 apresentam, respectivamente, as plantas com as curvas de nível do relevo anterior (original) e do relevo atual (recomposto topograficamente) da Área-1:

Figura 21: Planta com as curvas de nível do relevo original na Área-1



Fonte: Autora (2023)

Figura 22: Planta com as curvas de nível do relevo recomposto topograficamente na Área-1

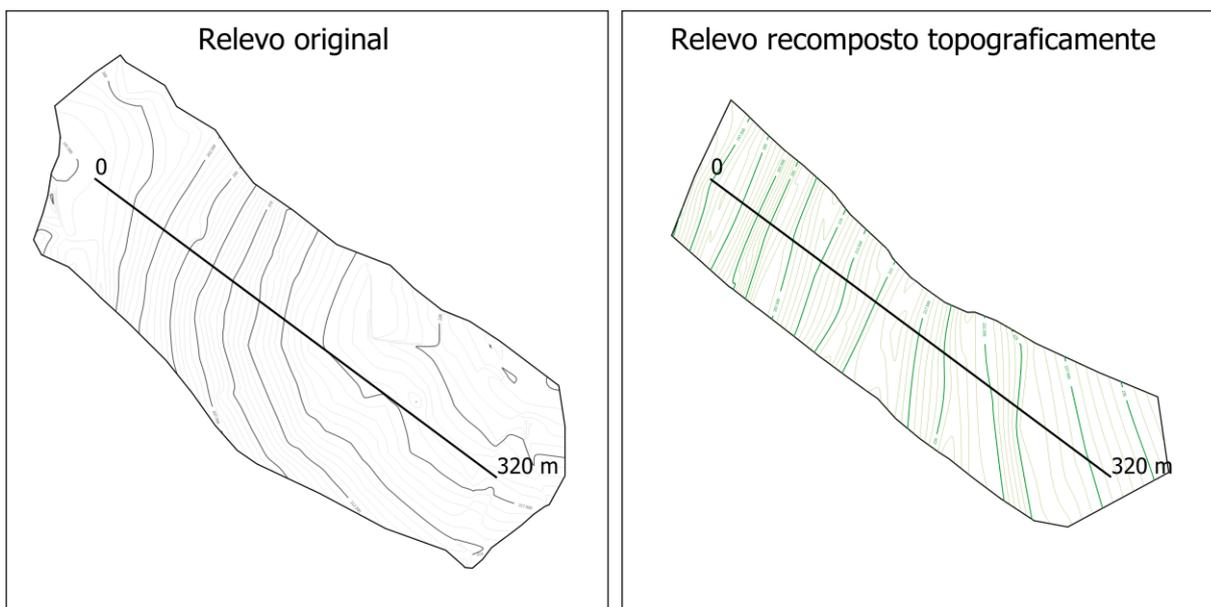


Fonte: Autora (2023)

A partir destas plantas com curvas de nível foi traçado um alinhamento de 320 metros passando pelas mesmas coordenadas e com ele foram calculadas as altitudes a cada 5 metros nos mesmos locais para a obtenção dos perfis longitudinais.

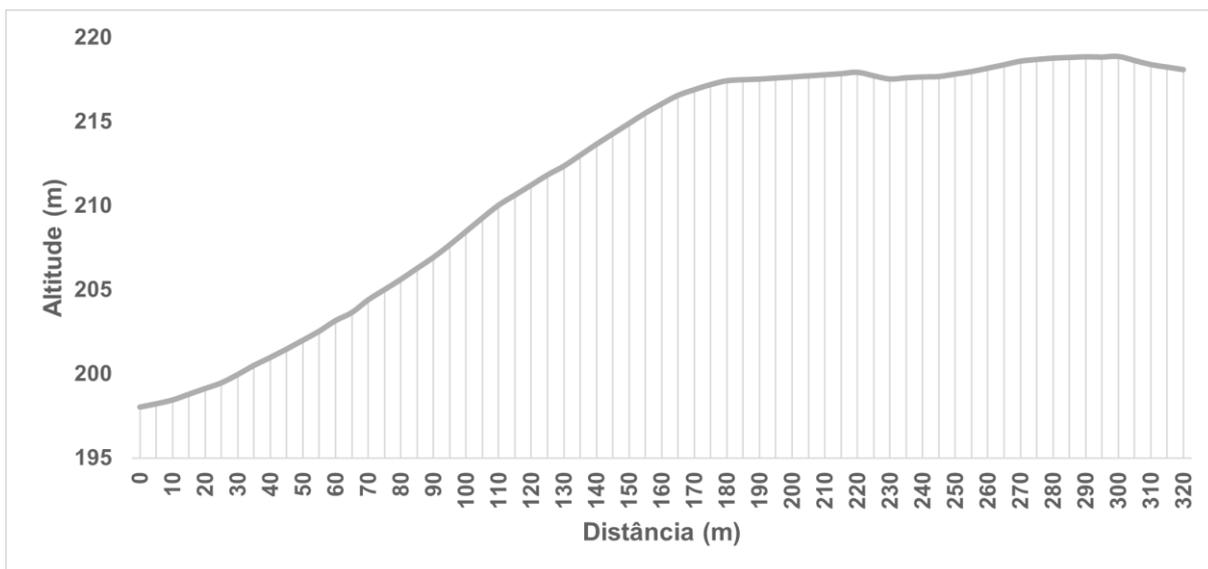
A figura 23 apresenta a localização do alinhamento nas plantas do relevo original e do relevo recomposto topograficamente da Área-1:

Figura 23: Localização do alinhamento na Área-1



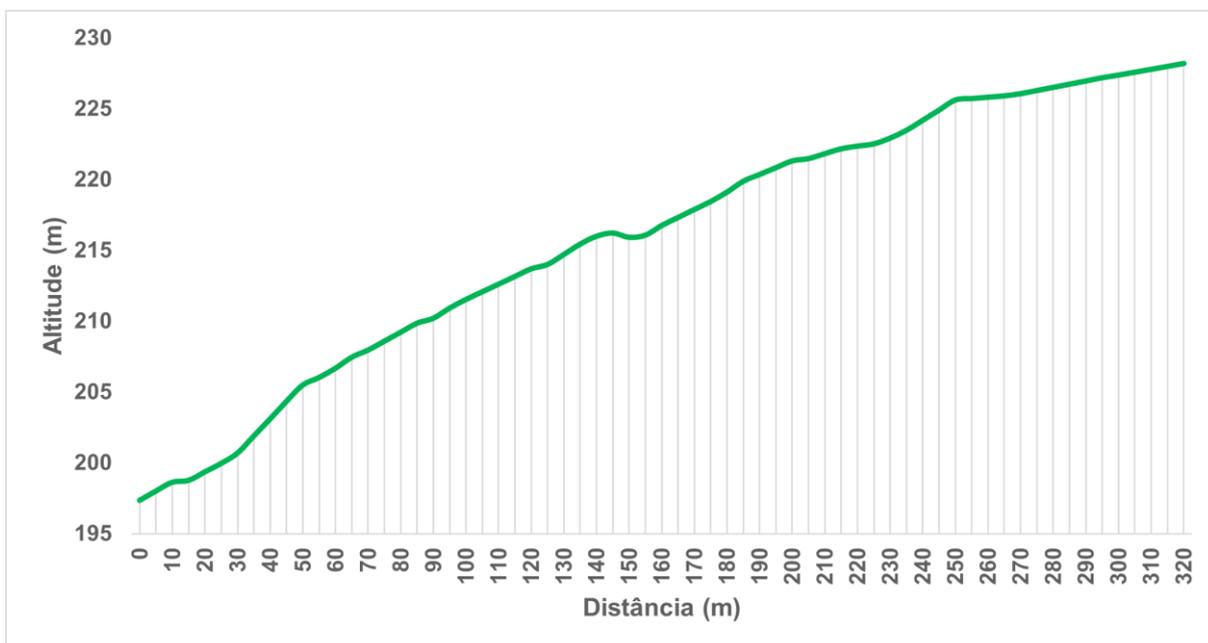
Fonte: Autora (2023)

A figura 24 apresenta o perfil longitudinal que representa o relevo original da Área-1:

Figura 24: Perfil longitudinal do relevo original da Área-1

Fonte: Autora (2023)

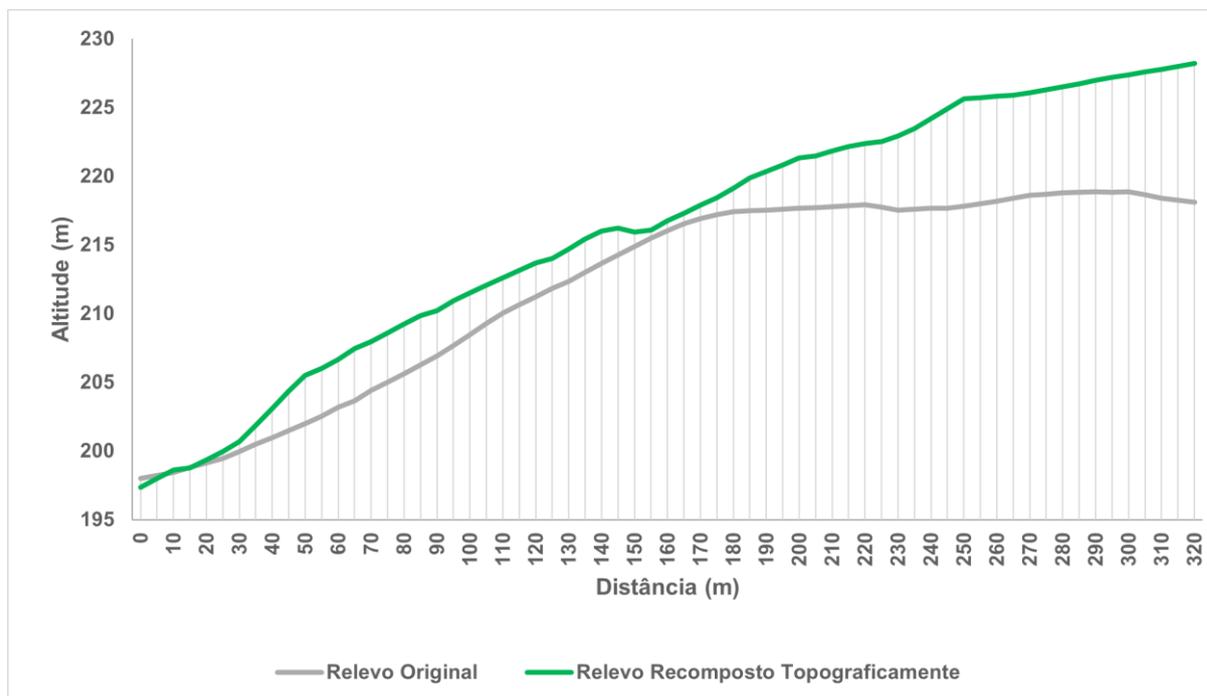
A figura 25 apresenta o perfil longitudinal que representa o relevo recomposto topograficamente da Área-1:

Figura 25: Perfil longitudinal do relevo recomposto topograficamente da Área-1

Fonte: Autora (2023)

Para uma melhor visualização das alterações de altitude, a figura 26 apresenta os relevos original e recomposto reunidos em um único perfil:

Figura 26: Perfil longitudinal reunindo o relevo original e o relevo recomposto topograficamente da Área-1



Fonte: Autora (2023)

A partir do alinhamento traçado na Área-1 nota-se que o relevo original apresentava altitudes em torno de 198 a 214 metros em seu ponto mais alto. No relevo recomposto topograficamente temos hoje altitudes entre 197 a 228 metros.

Apesar de no início ambos apresentarem altitudes semelhantes, a partir dos 30 metros, o relevo recomposto topograficamente passa a apresentar altitudes maiores que o original.

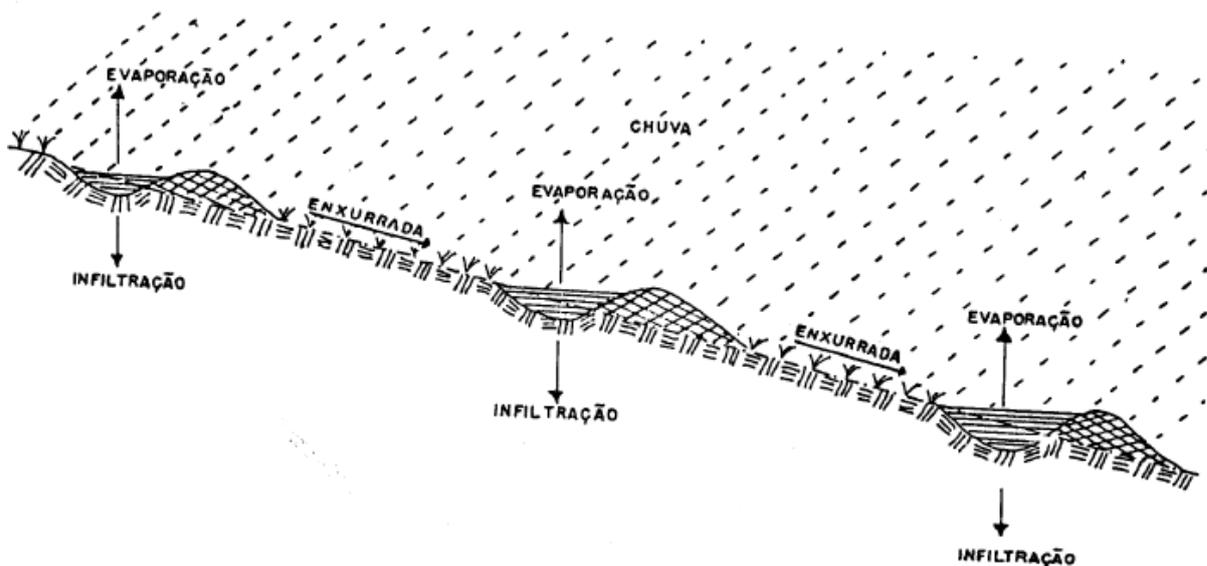
O relevo original apresentava uma inclinação uniforme até aproximadamente 170 metros, quando passa a apresentar um perfil mais plano. Já o relevo atual apresenta sua inclinação com “degraus”, chegando a ficar cerca de 10 metros mais elevado ao fim do alinhamento.

Esses “degraus” são na verdade terraços de desnível, construídos para o controle da erosão e a drenagem das águas das chuvas. Segundo Wadt (2003), os terraços de desnível subdividem os comprimentos de rampa, interceptando o escoamento superficial antes que se amplie e atinja altas velocidades, ganhando poder erosivo. É formado por um canal, onde o terreno foi cortado, e um camalhão⁴, onde o solo removido do terreno foi aterrado.

⁴ Trecho de terra mais elevado

A figura 27 apresenta a visão esquemática de uma rampa subdividida com a construção de terraços:

Figura 27: Visão esquemática de uma rampa subdividida com terraços



Fonte: Wadt (2003)

A função dos terraços de desnível é interceptar o escoamento superficial e escoar controladamente o excesso de água para canais de escoamento (WADT, 2003).

4.3.2 Avaliação das modificações no relevo da Área-2

No levantamento de campo da Área-2 foram medidos 70 pontos resultando em um polígono com 18.865m^2 (1,89 hectare). A figura 28 apresenta um registro fotográfico feito durante a medição de campo na Área-2:

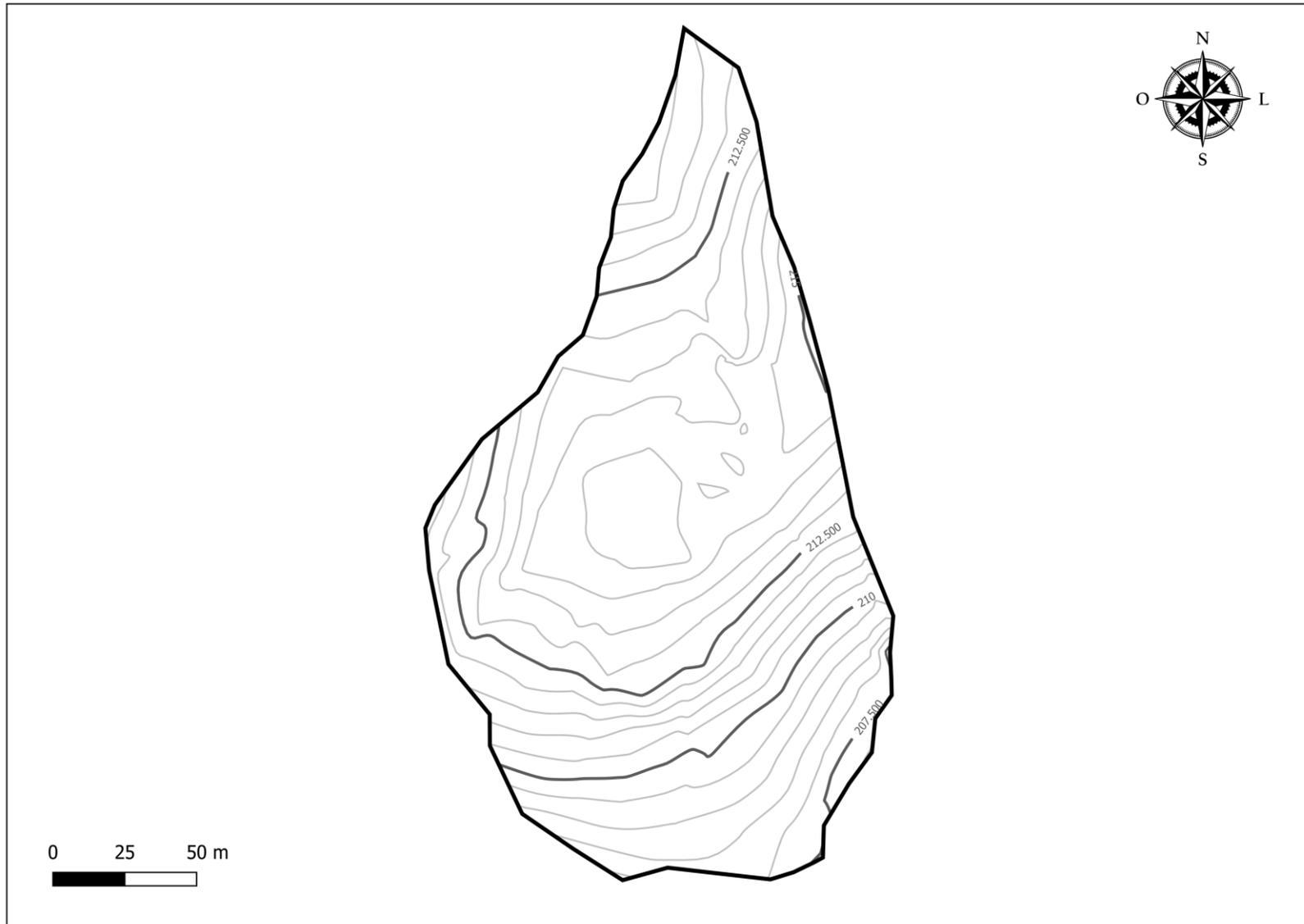
Figura 28: Registro fotográfico da Área-2



Fonte: Autora (2023)

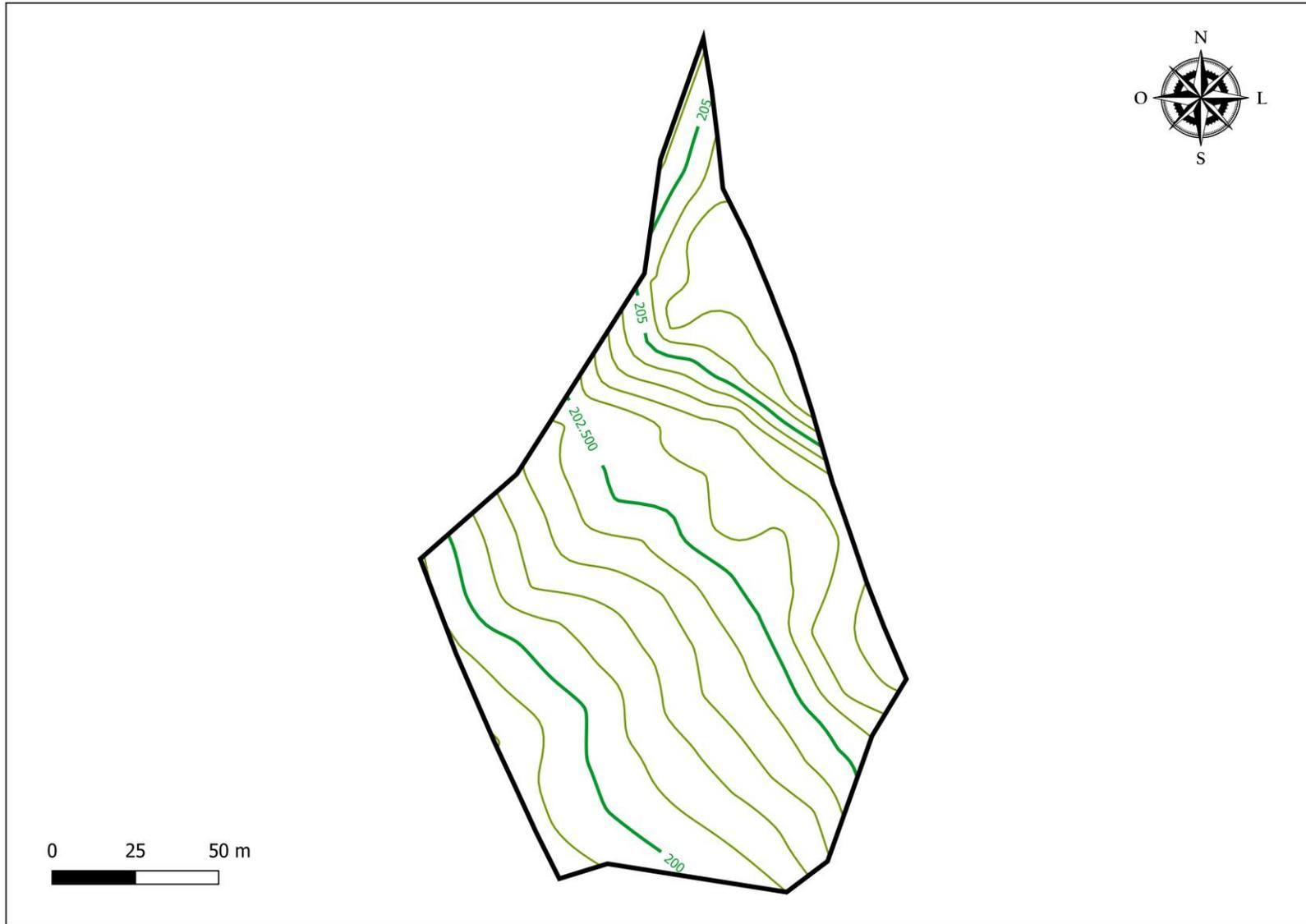
Na Área-2 também foram utilizadas medições realizadas antes da retirada do solo superficial no mesmo local para montar a planta do relevo original. As figuras 29 e 30 apresentam, respectivamente, as plantas com as curvas de nível do relevo original e do relevo recomposto topograficamente na Área-2.

Figura 29: Planta com as curvas de nível do relevo original na Área-2



Fonte: Autora (2023)

Figura 30: Planta com as curvas de nível do relevo recomposto topograficamente na Área-2

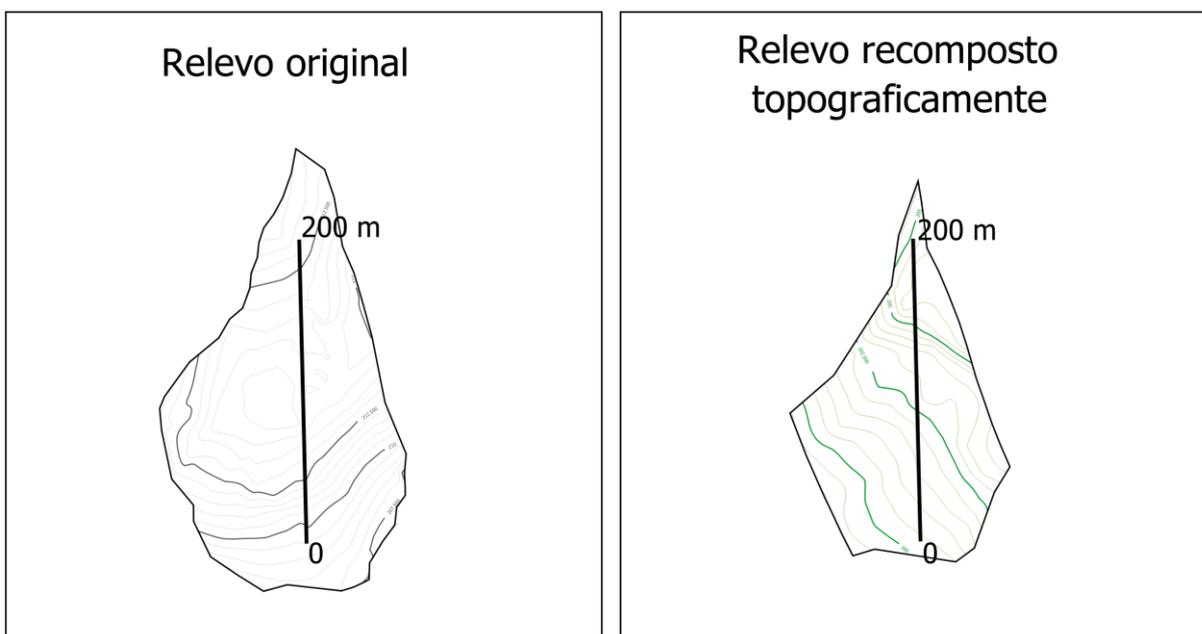


Fonte: Autora (2023)

Para gerar os perfis longitudinais da Área-2 foi traçado um alinhamento de 200 metros que, como na Área-1, foi inserido nas plantas do relevo original e recomposto. As altitudes foram calculadas a cada 5 metros nos mesmos locais.

A figura 31 mostra a localização do alinhamento nas plantas do relevo original e do relevo recomposto topograficamente da Área-2:

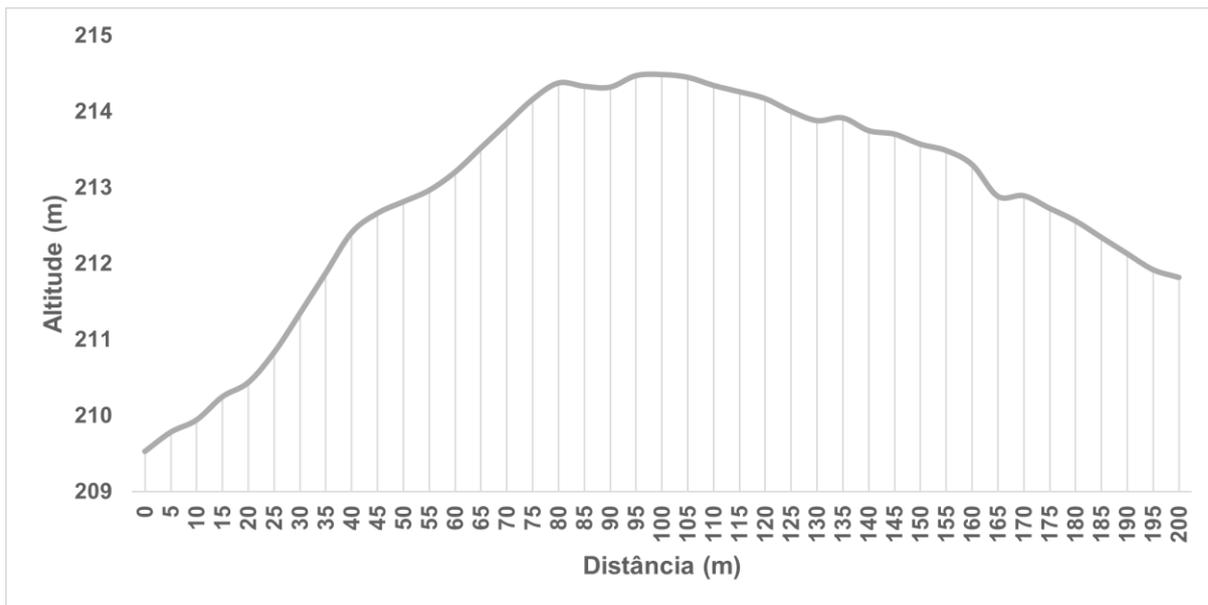
Figura 31: Localização do alinhamento na Área-2



Fonte: Autora (2023)

A figura 32 apresenta o perfil longitudinal do relevo original na Área-2:

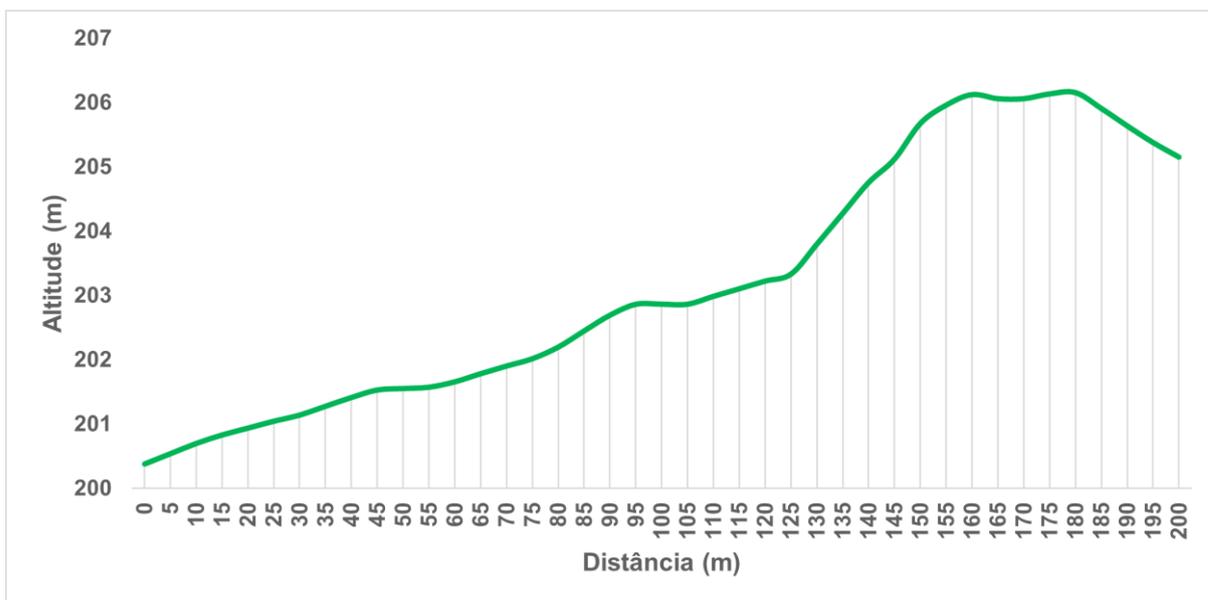
Figura 32: Perfil longitudinal do relevo original da Área-2



Fonte: Autora (2023)

A figura 33 apresenta o perfil longitudinal do relevo recomposto topograficamente da Área-2:

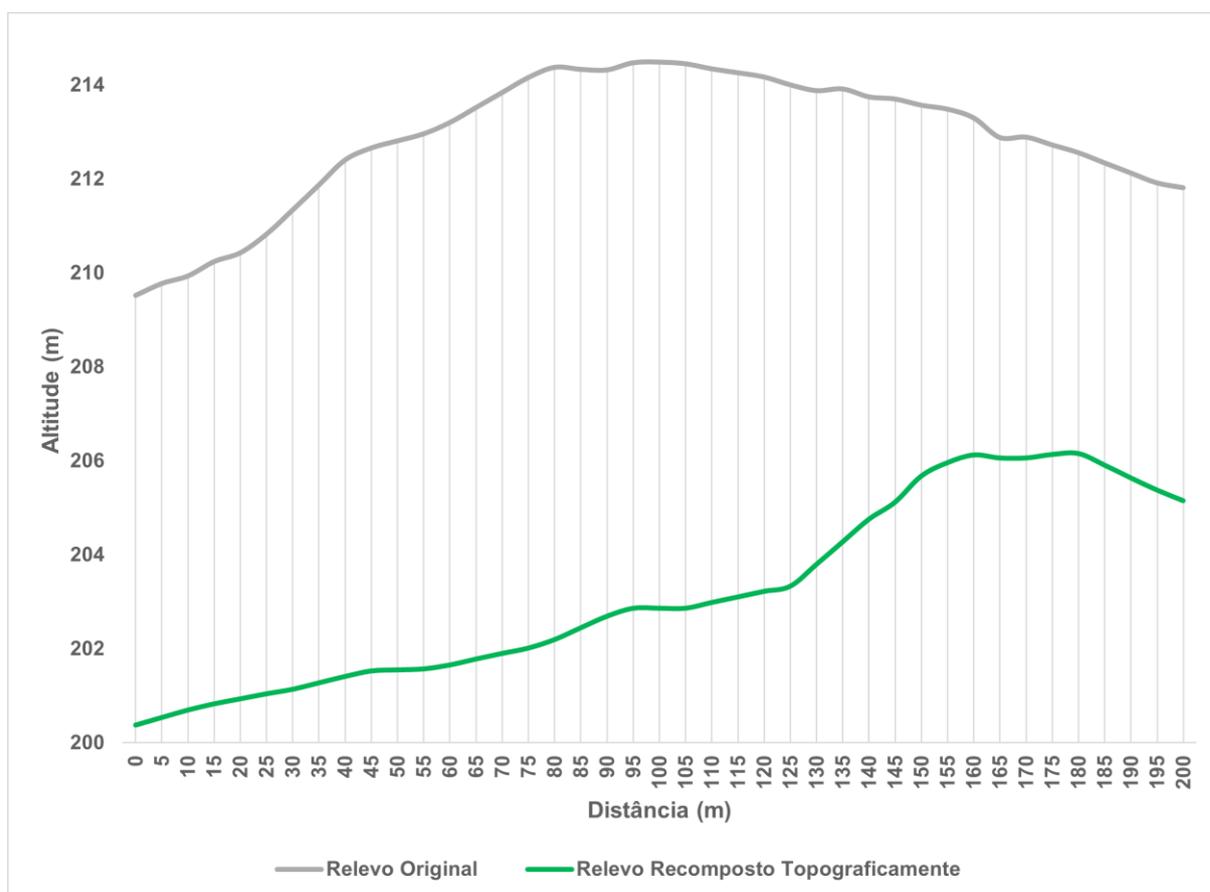
Figura 33: Perfil longitudinal do relevo recomposto topograficamente da Área-2



Fonte: Autora (2023)

Para uma melhor visualização das alterações de altitude na Área-2, a figura 34 apresenta os relevos original e recomposto reunidos em um único perfil:

Figura 34: Perfil longitudinal reunindo o relevo original e o relevo recomposto topograficamente da Área-2



Fonte: Autora (2023)

Na Área-2 pode-se notar um rebaixamento expressivo nas altitudes da área medida, com diferenças verticais que variam de 6 a 12 metros.

O relevo original apresentava altitudes em torno de 209 a 214 metros. Já no relevo atual, as altitudes hoje giram em torno de 200 a 206 metros, o que demonstra o processo de escavação pelo qual passou a área.

Pode-se observar também que originalmente o relevo apresentava um aumento de altitudes na primeira metade do alinhamento, para em seguida diminuir mais suavemente na metade final.

No relevo recomposto topograficamente observamos um aumento relativamente uniforme as altitudes até aproximadamente 125 metros do alinhamento, quando há um aumento na inclinação. Já nos últimos 20 metros do alinhamento, as altitudes voltam a diminuir.

4.3.3 Análise dos resultados obtidos nas avaliações da Área-1 e Área-2

As medições realizadas nas duas áreas selecionadas para a pesquisa apresentaram resultados distintos.

Modificações altimétricas em áreas de mineração foram relatadas nos trabalhos de Andrade (2012) e Frechiani (2015), que verificaram a redução de altitudes provocadas pela retirada das camadas de minério em comparação com o relevo original. Esperava-se, com base nesses estudos, que ambas as áreas medidas nesta pesquisa apresentassem altitudes pós mineração e recomposição topográfica inferiores às do relevo original devido às camadas de carvão retiradas, porém apenas a Área-2 apresentou tal configuração.

Uma possível causa para as altitudes mais elevadas no relevo recomposto verificadas na Área-1 é que este local tenha sido utilizado como depósito de cinzas, aproveitando-se o vazio das cavas após a retirada do carvão para armazená-las.

Tal possibilidade não pode ser verificada pois, atualmente, não é feito um monitoramento quando os depósitos de cinzas são feitos dentro das cavas. Somente em ocasiões em que há a necessidade de depositá-las em outros locais é feito o levantamento topográfico para a localização dos mesmos.

Outra explicação possível seria a necessidade depositar mais material estéril nesta área por falta de outras áreas para serem colocados. Nas áreas onde o decapeamento é realizado com escavadeiras e caminhões, há maior flexibilidade para escolher os locais onde o material estéril será depositado. Sendo assim, quando em algum ponto da mina a recuperação ambiental está alcançando a área de mineração, opta-se por alocar os bota-fora em outros pontos, podendo resultar em aumento de altitudes.

Esta explicação também não pode ser verificada pois, assim como no caso dos depósitos de cinza, não é realizado um monitoramento das áreas em que há a necessidade de depositar material estéril a mais.

Quanto às mudanças no formato do relevo, a Área-1 apresentou uma configuração mais similar ao original, mantendo a inclinação e incluindo os terraços de desnível para a drenagem das águas superficiais. Já a Área-2 apresentou mais diferenças em relação ao relevo original, com deslocamento dos pontos mais elevados do terreno.

A recomposição topográfica realizada na CRM prepara o relevo para receber a vegetação buscando manter a estabilidade, controlar a erosão e reproduzir, tanto quanto possível, a paisagem original. Esta tentativa de reprodução, no entanto, é feita de maneira visual, buscando uniformidade com o relevo já recuperado e usando como base as áreas ainda não mineradas que podem ser visualizadas.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O desenvolvimento do presente trabalho proporcionou um aumento do conhecimento acerca das atividades de recuperação ambiental realizadas em áreas mineradas pela Companhia Riograndense de Mineração.

Os objetivos específicos definidos no início da pesquisa, com o propósito de guiar o estudo, foram alcançados.

O primeiro objetivo buscava explicitar os processos de lavra e recuperação ambiental das áreas mineradas na CRM. Os processos foram apresentados e descritos desde o início, desde a retirada do solo superficial, até a revegetação, após a mineração e recomposição topográfica.

O segundo objetivo se refere ao tempo que a empresa leva para revegetar as áreas mineradas. Para alcançá-lo foi estabelecido um recorte temporal para a pesquisa e, nas áreas com plantação de gramíneas foram estabelecidos pontos cujas informações serviram de base para o cálculo do tempo deste processo que resultou em 6 anos e 11 meses, em média.

O terceiro objetivo buscava comparar as altitudes do relevo antes e após a mineração e recomposição topográfica. Para atingi-lo foram selecionadas duas áreas para realizar medições de campo e comparar com levantamentos topográficos realizados no mesmo local antes do início da mineração. Como resultado, as duas áreas analisadas mostraram aspectos distintos, com a Área-1 apresentando o relevo atual (recomposto topograficamente) com altitudes maiores, porém mantendo sua fisionomia próxima a do original, e a Área-2, com o relevo atual apresentando altitudes menores que o original e variação de seu formato.

Com a realização dos objetivos específicos, o objetivo geral proposto na pesquisa foi atingido, tornando possível responder à questão proposta na pesquisa: *“Quais são os impactos relevantes decorrentes do decapeamento do solo na mineração a céu aberto?”*.

A topografia é uma ferramenta fundamental para o acompanhamento das atividades de recuperação ambiental na mineração de carvão a céu aberto, sendo fundamental para o monitoramento das alterações no relevo das áreas mineradas.

Como sugestão para trabalhos futuros, recomenda-se a realização de uma pesquisa que contemple o monitoramento de áreas com depósitos de cinzas nas cavas da mina e áreas em que, eventualmente, haja a necessidade de realocação

de bota-fora. A partir da localização dessas áreas com suas coordenadas, é possível proceder um estudo utilizando-se da mesma metodologia apresentada neste trabalho para verificar se serão obtidos resultados similares aos da Área-1, com aumento das altitudes em comparação com o relevo original.

Destaca-se que, devido à escala de tempo dos processos estudados, esta seria uma pesquisa a ser realizada a longo prazo, com seus resultados podendo ser observados somente quando a recuperação ambiental alcançar tais áreas.

REFERÊNCIAS

AGRA FILHO, Severino Soares. Política ambiental e gestão ambiental. *In*: CALIJURI, Maria do Carmo; CUNHA, Davi Gasparini Fernandes. **Engenharia ambiental: conceitos, tecnologia e gestão**. 2. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2019. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/reader/books/9788595157446/>. Acesso em: 02 dez. 2022.

ANDRADE, Cecília Félix. **Relevo antropogênico associado à mineração de ferro no Quadrilátero Ferrífero: uma análise espaço-temporal do complexo Itabira (Município de Itabira - MG)**. Tese (Doutorado em Geografia) - Departamento de Geografia - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2012. Disponível em: <http://hdl.handle.net/1843/MPBB-955NLA>. Acesso em: 05 jan. 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMA TÉCNICAS. **NBR 13.133**: Execução de Levantamento Topográfico. Rio de Janeiro: ABNT, 1994.

BARBIERI, José Carlos. **Gestão ambiental empresarial: conceitos, modelos e instrumentos**. 3. ed. São Paulo: Saraiva, 2011.

BARRETO, Maria Laura. **Mineração e desenvolvimento sustentável: desafios para o Brasil**. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2001. Disponível em: <https://livroaberto.ibict.br/handle/1/922> . Acesso em: 21 nov. 2022

CENTRO DA MEMÓRIA DA ELETRICIDADE NO BRASIL. **Candiota, 40 anos de eletricidade a carvão**. Rio de Janeiro: Centro da Memória da Eletricidade no Brasil, 2001.

CHAVES, Arthur Pinto. Os problemas do carvão em geral e do carvão brasileiro em particular. *In*: SOARES, Paulo Sergio Moreira; SANTOS, Maria Dionísia Costa dos; POSSA, Mario Valente. **Carvão brasileiro: tecnologia e meio ambiente**. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2008. Disponível em: <http://mineralis.cetem.gov.br/handle/cetem/2039>. Acesso em: 12 dez. 2022.

COMPANHIA RIOGRANDENSE DE MINERAÇÃO. **Meio ambiente e desenvolvimento sustentável**. Disponível em: <https://www.crm.rs.gov.br/meio-ambiente-e-desenvolvimento-sustentavel>. Acesso em: 13 dez. 2022.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução CONAMA nº 001, de 23 de janeiro de 1986**. Disponível em: <http://www.ibama.gov.br/sophia/cnia/legislacao/MMA/RE0001-230186.PDF>. Acesso em: 21 jan. 2023.

CORDANI, Umberto Giuseppe; TAOLI, Fábio. As ciências da Terra: sustentabilidade e desenvolvimento. *In*: TEIXEIRA, Wilson; FAIRCHILD, Thomas Rich; TOLEDO, M. Cristina Motta de; TAIOLI, Fabio. **Decifando a Terra**. 2. ed. São Paulo: Companhia Editora Nacional, 2009.

DAIBERT, João Dalton. **Topografia: técnicas e práticas de campo**. 2. ed. São Paulo: Érica, 2014. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/reader/books/9788536518817/>. Acesso em: 13 jan. 2023.

ENRÍQUEZ, Maria Amélia Rodrigues; DRUMMOND, José Augusto. Mineração e desenvolvimento sustentável – dimensões, critérios e propostas de instrumentos. In: FERNANDES, Francisco Rego Chaves; MATOS, Gerson Manoel Muniz de; CASTILHOS, Zuleica Carmen; LUZ, Adão Benvindo. **Tendências tecnológicas Brasil, 2015: geociências e tecnologia mineral**. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2007. Disponível em: <http://mineralis.cetem.gov.br/handle/cetem/526>. Acesso em: 07 jan. 2023.

FERREIRA, José Alcides Fonseca; GOMES, Aramis; ORLANDI FILHO, Vitorio. Carvão Mineral. In: VIERO, Ana Cláudia; SILVA, Diogo Rodrigues Andrade da. **Geodiversidade do estado do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: CPRM, 2010. p. 103-108. Disponível em: <https://rigeo.cprm.gov.br/handle/doc/16774>. Acesso em: 18 nov. 2022.

FRECHIANI, Juliana Mendes. **Evolução Antropogênica do relevo em Itaoca, Cachoeiro de Itapemirim (ES)**. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Geografia) – Universidade Federal do Espírito Santo. Vitória, 2015. Disponível em: https://geografia.ufes.br/sites/geografia.ufes.br/files/field/anexo/juliana_frechiani.pdf. Acesso em: 28 jun. 2023.

GIL, Antônio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2017.

GOMES, Aramis J. Pereira; CRUZ, Paulo Roberto; BORGES, Lindemberg Pinheiro. Recursos minerais energéticos: carvão e urânio. In: BIZZI, Luiz Augusto; SCHOBENHAUS, Carlos; VIDOTTI, Roberta Mary; GONÇALVES, João Henrique. **Geologia, tectônica e recursos minerais do Brasil: texto, mapas & SIG**. Brasília: CPRM, 2003.

IBRAHIM, Francini Imene Dias. **Introdução ao geoprocessamento ambiental**. 1. ed. São Paulo: Érica, 2014. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/reader/books/9788536521602/>. Acesso em: 08 jan. 2023.

INSTITUTO BRASILEIRO DE MINERAÇÃO. **Informações sobre a economia mineral brasileira 2020 – Ano base 2019**. 1.ed. Brasília: IBRAM, 2020. Disponível em: <https://portaldamineracao.com.br/wp-content/uploads/2021/03/Economia-Mineral-Brasileira-IBRAM-2020.pdf>. Acesso em: 14 dez. 2022.

KOPPE, Jair Carlos; COSTA, João Felipe Coimbra Leite. A lavra de carvão e o meio ambiente em Santa Catarina. In: SOARES, Paulo Sergio Moreira; SANTOS, Maria Dionísia Costa dos; POSSA, Mario Valente. **Carvão brasileiro: tecnologia e meio ambiente**. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2008. Disponível em: <http://mineralis.cetem.gov.br/handle/cetem/2039>. Acesso em: 12 dez. 2022.

MARCONI, Marina de Andrade; LAKATOS, Eva Maria. **Fundamentos de metodologia científica**. 8. ed. São Paulo: Atlas, 2017.

McCORMAC, Jack C. **Topografia**. 5. Ed. Rio de Janeiro: LTC, 2011.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Detalhamento do programa para uso sustentável do carvão mineral nacional**. Brasília: MME, 2021. Disponível em: <https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/noticias/mme-publica-detalhamento-do-programa-para-uso-sustentavel-do-carvao-mineral-nacional>. Acesso em: 13 dez. 2022.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Plano nacional de mineração 2030**. Brasília: MME, 2010. Disponível em: <https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/secretarias/geologia-mineracao-e-transformacao-mineral/plano-nacional-de-mineracao-2030-1/documentos>. Acesso em: 23 nov. 2022.

MORAES, Luzia Alice Ferreira de; SANTOS, Ronaldo Luiz Corrêa dos. Aplicação das geotecnologias à gestão ambiental da atividade minerária. *In*: SOARES, Paulo Sergio Moreira; SANTOS, Maria Dionísia Costa dos; POSSA, Mario Valente. **Carvão brasileiro: tecnologia e meio ambiente**. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2008. Disponível em: <http://mineralis.cetem.gov.br/handle/cetem/2039>. Acesso em: 12 dez. 2022.

OSÓRIO, Rui Giacomoni. **Carvão no mundo e na CRM**. Porto Alegre: Companhia Rio-grandense de Artes Gráficas (CORAG), 2012.

PEJON, Osni José; RODRIGUES, Valéria Guimarães Silvestre; ZUQUETTE, Lázaro Valentin. Impactos ambientais sobre o solo. *In*: CALIJURI, Maria do Carmo; CUNHA, Davi Gasparini Fernandes. **Engenharia ambiental: conceitos, tecnologia e gestão**. 2. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2019. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/reader/books/9788595157446/>. Acesso em: 02 dez. 2022.

POLZ, James Alexandre. Recuperação de áreas impactadas pela mineração de carvão a céu aberto em Santa Catarina: gestão de rejeitos e revegetação. *In*: SOARES, Paulo Sergio Moreira; SANTOS, Maria Dionísia Costa dos; POSSA, Mario Valente. **Carvão brasileiro: tecnologia e meio ambiente**. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2008. Disponível em: <http://mineralis.cetem.gov.br/handle/cetem/2039>. Acesso em: 12 dez. 2022.

PRODANOV, Cleber Cristiano; FREITAS, Ernani Cesar de. **Metodologia do trabalho científico: métodos e técnicas da pesquisa e do trabalho acadêmico**. 2. ed. Novo Hamburgo: Feevale, 2013.

SANTOS, Jorge Antônio Gonzaga. **Recuperação e reabilitação de áreas degradadas pela mineração**. Cruz das Almas, BA: UFRB, 2017. Disponível em: <https://educapes.capes.gov.br/handle/capes/175225>. Acesso em: 23 nov. 2022.

SILVA, Irineu da; SEGANTINE, Paulo Cesar Lima. **Topografia para engenharia: teoria e prática geomática**. 1. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2015. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/reader/books/9788595156050/>. Acesso em: 10 jan. 2023.

SILVA, Mário Dukas da; CARVALHO JÚNIOR, José Adolpho de; BUGIN, Alexandre; RODRIGUEZ, Fábio A. M. Recuperação de áreas degradadas. *In*: SOARES, Paulo Sergio Moreira; SANTOS, Maria Dionísia Costa dos; POSSA, Mario Valente. **Carvão brasileiro: tecnologia e meio ambiente**. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2008. Disponível em: <http://mineralis.cetem.gov.br/handle/cetem/2039>. Acesso em: 12 dez. 2022.

TEIXEIRA, Elba Calessio; SANTANA Eduardo Rodrigo Ramos de. Poluição atmosférica associada ao uso do carvão no Brasil. *In*: SOARES, Paulo Sergio Moreira; SANTOS, Maria Dionísia Costa dos; POSSA, Mario Valente. **Carvão brasileiro: tecnologia e meio ambiente**. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2008. Disponível em: <http://mineralis.cetem.gov.br/handle/cetem/2039>. Acesso em: 12 dez. 2022.

TULER, Marcelo; SARAIVA, Sérgio; FLORIANO, Cleber. **Fundamentos de topografia**. Porto Alegre: SAGAH, 2016. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/reader/books/9788569726586>. Acesso em: 08 jan. 2023.

TULER, Marcelo; SARAIVA, Sérgio, TEIXEIRA, André. **Manual de práticas de topografia**. Porto Alegre: Bookman, 2017. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/reader/books/9788582604274/>. Acesso em: 09 jan. 2023.

WADT, Paulo Guilherme Salvador. **Construção de terraços para controle da erosão pluvial no Estado do Acre**. Rio Branco, AC: Embrapa Acre, 2003. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CPAF-AC/10514/1/doc85.pdf>. Acesso em: 04 jul. 2023.

ZUQUETTE, Lázaro Valentin; RODRIGUES, Valéria Guimarães Silvestre; PEJON, Osni José. Recuperação de áreas degradadas. *In*: CALIJURI, Maria do Carmo; CUNHA, Davi Gasparini Fernandes. **Engenharia ambiental: conceitos, tecnologia e gestão**. 2. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2019. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/reader/books/9788595157446/>. Acesso em: 02 dez. 2022.

APÊNDICE A

DIAGRAMA DO PROCESSO DE MINERAÇÃO E RECUPERAÇÃO AMBIENTAL

