



UNIVERSIDADE FEDERAL DO SUL E SUDESTE DO PARÁ
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS E ENGENHARIAS
FACULDADE DE ENGENHARIA DE MINAS E MEIO AMBIENTE

RAIANY RODRIGUES ROSA

**ALINHAMENTO DAS TIRAS NA LAVRA DE UMA MINA DE
BAUXITA**

Marabá
2020

RAIANY RODRIGUES ROSA

**ALINHAMENTO DAS TIRAS NA LAVRA DE UMA MINA DE
BAUXITA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade de Engenharia de Minas e Meio Ambiente da Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará, Campus de Marabá, como requisito à obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Minas e Meio Ambiente.

Área de concentração: Planejamento de Lavra

Orientador: Prof. Me. Louis Dostoievsky Gomes Tabosa

Marabá
2020

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
Biblioteca Setorial Campus do Taurizinho da Unifesspa

Rosa, Raiany Rodrigues

Alinhamento das tiras na lavra de uma mina de bauxita / Raiany Rodrigues Rosa ; orientador, Louis Dostoievsky Gomes Tabosa. — Marabá : [s. n.], 2019.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará, Instituto de Geociências e Engenharias, Faculdade de Engenharia de Minas e Meio Ambiente, Curso de Bacharelado em Engenharia de Minas e Meio Ambiente, Marabá, 2019.

1. Bauxita - Minas e mineração. 2. Engenharia de minas. 3. Mineração a céu aberto. I. Tabosa, Louis Dostoievsky Gomes, orient. II. Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará. III. Título.

CDD: 22. ed.: 622.3

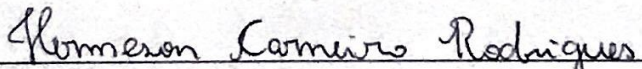
Elaborada por Alessandra Helena da Mata Nunes – CRB-2/586

Ata de Defesa Pública de Trabalho de Conclusão de Curso

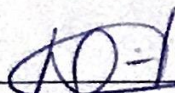
Aos 27 dias do mês de fevereiro de dois mil e vinte, às 17 horas, em sessão pública realizada no Bloco IV da Unidade II deste Campus Universitário, na presença da Banca Examinadora presidida pelo Professor orientador Louis Dostoievsky Gomes Tabosa e composta pelos examinadores Prof. Me. Hermeson Carneiro Rodrigues e o Prof. Dr. Denilson da Silva Costa, a aluna **Raiany Rodrigues Rosa** apresentou o Trabalho de Conclusão de Curso intitulado “ALINHAMENTO DAS TIRAS NA LAVRA DE UMA MINA DE BAUXITA” como requisito curricular indispensável para a integralização do Curso de Graduação em Engenharia de Minas. Após reunião em sessão reservada, a Banca Examinadora deliberou e decidiu pela Aprovação do referido trabalho, atribuindo o conceito Excelente e divulgando o resultado formalmente a aluna e demais presentes, e eu, na qualidade de Presidente da Banca, lavrei a presente ata que será assinada por mim, pelos demais examinadores e pela discente.



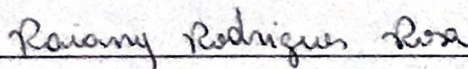
Prof. Me. Louis Dostoievsky Gomes Tabosa
Presidente da Banca Examinadora



Prof. Me. Hermeson Carneiro Rodrigues
Membro da Banca Examinadora



Prof. Dr. Denilson da Silva Costa
Membro da Banca Examinadora



Raiany Rodrigues Rosa
Discente

Aos meus pais Ademar e Sirlene,
à minha irmã Lorrainy.

AGRADECIMENTOS

A Deus pela dádiva da vida, por toda sabedoria concedida para enfrentar os desafios e obstáculos da vida, por ser minha fonte de força e inspiração ao longo da graduação e me permitir encerrar esse ciclo.

Aos meus pais, Ademar e Sirlene, e a minha irmã Lorrainy por todo o apoio e paciência durante esses anos de graduação e por sempre acreditarem na minha capacidade e aos meus familiares que sempre torceram pelo meu sucesso.

As minhas avós Jorcelina e Maria e minhas tias Valdeci e Iraci que cuidaram de mim quando precisei estudar longe dos meus pais, a Joana Dark que me acolheu em sua casa quando me mudei para Marabá.

A todos os meus colegas de classe por todos os momentos compartilhados no decorrer desses anos, em especial Elizane, Ester, Thais, Samyla, Thayná e Zoraide por todo apoio e companheirismo e Sayuri que também foi minha vizinha por alguns meses.

A Carajás Jr. por todo aprendizado proporcionado, em especial aos meus amigos que participaram comigo em 2018 da diretoria pelo convívio e todo suporte ao longo dessa fase que foi cheia de novos desafios.

A universidade, a todos os professores da Faculdade de Engenharia de Minas por todo conhecimento aprendido no decorrer da graduação, ao meu orientador pela contribuição para a finalização desse trabalho e a banca examinadora.

A todos os moradores e ex moradores da República Debesti por fazerem dessa república a segunda casa dos discentes de engenharia de Minas e agregados, pela amizade e amparo nos momentos que precisei.

A todas as pessoas da Alcoa que caminharam comigo, aos que contribuíram para a realização desse trabalho e à empresa pela disponibilização dos dados. Agradecimentos especiais a equipe de topografia que foi essencial para que os resultados desse trabalho fossem obtidos.

A equipe de planejamento de mina da Alcoa, Marcos Pelegrini, Vinicius Costa e Vilmondes Furtado por todo o aprendizado oferecido no decorrer do meu estágio e por todas as oportunidades essenciais ao meu crescimento pessoal e profissional.

Aos meus amigos das Casas 1 e 2 do alojamento Dom Luiz, em especial aqueles que o estágio me permitiu conhecer Thelri, Rafael, Artur e Letícia, pela amizade cultivada e pela cumplicidade durante todo o ano de 2019.

“Obstáculos fazem parte da sua jornada rumo ao sucesso”.

Carlos Wizard Martins

RESUMO

O método de lavra por tiras é um método de lavra à céu aberto aplicado para depósitos de minérios estratificados, isto é, formado em camadas, como por exemplo os depósitos de bauxita. Nesse método de lavra o minério é exposto em formato de tiras durante a etapa de decapeamento, sendo que as dimensões de corte dessas tiras são parâmetros importantes para a lucratividade do empreendimento e são definidas pelo planejamento de lavra de longo prazo. Assim, a geometria lavrada, medida pela topografia, deve seguir o *layout* planejado de forma mais precisa possível. Quando isso não ocorre, ou seja, quando acontece o desalinhamento das tiras no sentido do avanço, a rastreabilidade de informações torna-se difícil e os índices de desempenho de lavra tornam-se incertos, impactando na elaboração dos planos de lavra e no controle de efetividade de lavra. Esse estudo busca corrigir o alinhamento das tiras de uma mina de bauxita para que os problemas supracitados sejam minimizados. A metodologia consistiu em definir novas medidas de decapeamento até que a lavra se ajustasse à geometria planejada das tiras. Os resultados confirmam a importância da geometria de lavra para a confiabilidade dos planos de lavra e eficiência no controle de efetividade de lavra.

Palavras-chave: Lavra por tiras. Decapeamento. Geometria de lavra. Alinhamento. Avanço de lavra.

ABSTRACT

The strip mining method is a surface mining method for ore tabular deposits, in other words, with bedded formation such as bauxite deposits. The ore in this mining method is exposed in strips during the stripping stage, and the strip cutting dimensions are important parameters for the enterprise's profitability and are defined by the long term mine planning. Thus, the extraction process geometry measured by the topography must follow the planned layout with accuracy. When this does not occur, that is, when happens the strips misalignment in the direction of advancement, it becomes difficult the information traceability and the performance indexes of mining becomes uncertain, impacting in the development of the mine plans and the control of mining effectiveness. The purpose of this study is to align the strips from a bauxite mine so to minimize the mentioned problems. The methodology consisted of defining new strip dimensions for the stripping stage until that the extraction process geometry was adjusted to the strips planned geometry. The results confirm the importance of the mining geometry for the mine plans reliability and efficiency in the control of mining effectiveness.

Keywords: Strip mining. Stripping. Mining geometry. Misalignment. Mining advance.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Aplicação dos minerais no dia-a-dia.....	15
Figura 2: Minerais: (a) hematita e (b) quartzo.....	16
Figura 3: Rocha itabirito.....	16
Figura 4: Acessos para a lavra de minério.....	17
Figura 5: Esquema de representação da aderência e do índice de cumprimento	22
Figura 6: Bauxita de cor avermelhada.....	23
Figura 7: Minerais da bauxita: (a) gibbissita; (b) rutilo; (c) goetita e (d) caulinita	24
Figura 8: Distribuição dos depósitos de bauxita no Brasil.....	25
Figura 9: Perfil bauxita.....	26
Figura 10: Trator de esteiras com <i>ripper</i>	27
Figura 11: <i>Box cut</i>	28
Figura 12: Esquema de decapeamento com trator.....	28
Figura 13: Lavra e carregamento em uma tira de minério	29
Figura 14: Geometria planejada de lavra.....	30
Figura 15: Unidade seletiva de lavra	31
Figura 16: Tiras B/C, D e E.....	32
Figura 17: Tiras G/H e H/I/J.....	32
Figura 18: Tiras P, Q, S e T.....	33
Figura 19: Tiras V, W, Y e Z.....	33
Figura 20: Desalinhamento da tira W086.....	35
Figura 21: Diferença do desalinhamento da tira W086.....	35
Figura 22: Previsão de alinhamento da tira W086	37
Figura 23: Desalinhamento da tira T086	37
Figura 24: Diferença do alinhamento da tira T086.....	38
Figura 25: Previsão de alinhamento da tira T086.....	38
Figura 26: Desalinhamento da tira P081	39
Figura 27: Diferença do desalinhamento da tira P081	40
Figura 28: Previsão do alinhamento paralelo da tira P081	41
Figura 29: Previsão do alinhamento final da tira P081	41
Figura 30: Evolução do alinhamento das tiras B/C, D e E.....	42

Figura 31: Evolução do alinhamento das tiras G/H, e H/I/J	43
Figura 32: Evolução do alinhamento das tiras P e Q	44
Figura 33: Evolução do alinhamento das tiras S e T	44
Figura 34: Evolução do alinhamento das tiras V e W	45
Figura 35: Evolução do alinhamento das tiras Y e Z	45
Figura 36: SMU's da tira Q096	48

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
2 OBJETIVOS	14
2.1 OBJETIVO GERAL	14
2.2 OBJETIVO ESPECÍFICO	14
3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	15
3.1 MINERAÇÃO	15
3.1.1 Conceitos básicos	15
3.1.2 Fases da mineração.....	18
3.2 PLANEJAMENTO DE LAVRA.....	20
3.2.1 Índices de aderência e cumprimento ao plano de lavra.....	21
3.3 TOPOGRAFIA	22
3.4 BAUXITA	23
3.5 MÉTODO DE LAVRA POR TIRAS (<i>STRIP MINING</i>).....	26
4 MATERIAIS E MÉTODOS	30
4.1 MATERIAIS.....	30
4.1.1 Área de estudo.....	30
4.1.2 Geometria planejada das tiras	30
4.1.3 Unidade Seletiva de Lavra (<i>Selective Mining Unit</i>).....	31
4.1.4 Desalinhamento das tiras.....	31
4.2 MÉTODOS	33
4.2.1 Caso 1.....	34
4.2.2 Caso 2.....	37
4.2.3 Caso 3.....	39
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES	42
5.1 GEOMETRIA DA MINA	42
5.2 ADERÊNCIA GEOMÉTRICA E ÍNDICE DE CUMPRIMENTO	46
5.3 RASTREABILIDADE	47
6 CONCLUSÃO.....	49
REFERÊNCIAS	50

1 INTRODUÇÃO

A mineração de bauxita no Brasil é realizada, na maioria dos empreendimentos, pelo método de lavra por tiras, que consiste em um método de lavra à céu aberto aplicado para depósitos minerais que se formam em geometrias tabulares ou em camadas. Nesse método de lavra, o minério é exposto em forma de tiras que avançam por meio de cortes consecutivos e paralelos.

As etapas operacionais do método de lavra por tiras consistem, de forma resumida, em: supressão vegetal, remoção do solo, escarificação do estéril, decapeamento, lavra do minério e recuperação da área lavrada. É na etapa de decapeamento que as tiras são expostas e o primeiro passo dessa etapa é a abertura do *box cut*, onde a primeira tira de determinada área é descoberta. Após isso, o estéril é removido e depositado imediatamente na cava da tira anteriormente lavrada, o que facilita a etapa de reabilitação da mina.

As dimensões de corte das tiras são parâmetros importantes para a lucratividade do empreendimento e são definidas pelo planejamento de lavra de longo prazo, na fase de definição da geometria da mina. A geometria das tiras a serem lavradas deve seguir a geometria estabelecida pelo planejamento de lavra de forma mais acertada possível. Caso contrário, o desalinhamento das tiras resulta na falha do controle de efetividade de lavra em razão de não ser possível comparar as geometrias exatas. Além disso, outra desvantagem do desalinhamento é a perda na confiabilidade dos planos de lavra devido a perda de rastreabilidade dos blocos.

Nesse presente trabalho, objetivou-se alinhar as tiras de uma mina de bauxita que não seguiam a geometria pré-estabelecida, utilizando novas dimensões para a etapa de decapeamento que foram definidas após comparações entre as geometrias planejada e as desalinhadas. Com o alinhamento das tiras, buscou-se melhorar, além da geometria da mina, os índices de desempenho da lavra e a rastreabilidade de informações para os planos de lavra realizados pelo planejamento de mina.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Melhorar os indicadores de desempenho de lavra (aderência geométrica e o índice de cumprimento) e a rastreabilidade de teor, o volume de estéril e a massa de minério no planejamento de lavra.

2.2 OBJETIVO ESPECÍFICO

Alinhar geometricamente as tiras de uma mina de bauxita.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 MINERAÇÃO

No mais amplo contexto, o termo mineração é entendido como a extração de todos os tipos de substâncias naturais da terra para fins de utilização, sejam elas sólidas, líquidas ou gasosas. Essa utilização é definida como as necessidades humanas essenciais bem como os desejos, que necessitam da extração mineral para serem atendidos (HARTMAN, 1987).

Klein & Dutrow (2012) e Valer (2012) afirmam que a maior parte do progresso tecnológico e do desenvolvimento da economia dependem dos minerais como matéria prima. Deles são extraídas substâncias metálicas para as indústrias metalúrgica, farmacêutica, química, construção civil, entre outras. Por exemplo, o alumínio pode ser encontrado nas panelas, o caulim pode ser utilizado para a fabricação de papel, a argila para a fabricação de telhas e o ferro está presente nas estruturas de carros e panelas de inox (Figura 1).

Figura 1: Aplicação dos minerais no dia-a-dia



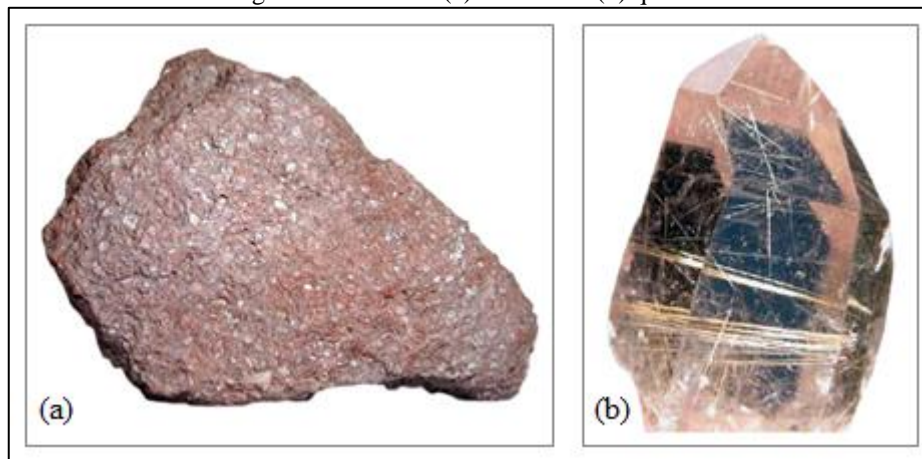
Fonte: Adaptado de VALER (2012)

3.1.1 Conceitos básicos

Segundo Madureira, Atencio e McReatch (2003), minerais são elementos ou compostos químicos que se formam naturalmente na terra por meio de processos geológicos inorgânicos. Possuem composição química e propriedades cristalográficas bem definidas, o que tornam os

minerais únicos e por isso recebem um nome característico. Segundo Valer (2012), minerais são em geral compostos sólidos como por exemplo a hematita e o quartzo (Figura 2).

Figura 2: Minerais: (a) hematita e (b) quartzo



Fonte: Adaptado de VALER (2012)

Um agregado de minerais, que por motivos geológicos encontram-se profundamente unidos, constituem uma rocha. As rochas estão distribuídas na crosta terrestre (camada sólida externa do planeta). A crosta terrestre é dividida em crosta continental e oceânica e ambas são formadas por rochas. A crosta continental consiste nas áreas continentais e a crosta oceânica corresponde ao assoalho oceânico (MADUREIRA, ATENCIO E McREATCH, 2003).

O itabirito (Figura 3) é um exemplo de uma rocha composta pelos minerais hematita e quartzo. Quando uma rocha pode ser facilmente desagregada ou possui propriedades que permitem desagregação natural ela é caracterizada como friável (VALER, 2012). Quando ocorre o contrário, ou seja, quando a rocha se comporta de maneira resistente perante esforços deformantes é caracterizada como competente (IBGE, 2002).

Figura 3: Rocha itabirito



Fonte: VALER (2012)

Nesse sentido, os recursos minerais são rochas que apresentam um possível interesse de utilização para o ser humano. Quando esses recursos minerais apresentam indicativos de

aproveitamento econômico, são denominados de reserva mineral. Ao passo que os estudos da reserva mineral indicam a presença de rochas com concentrações minerais de forma anômala (acima da média na crosta terrestre), tem-se um depósito mineral. O princípio para a identificação de depósitos minerais começa com a presença de ocorrências minerais, que é a presença superficial na crosta terrestre de um ou mais minerais úteis (BETTENCOURT E MORESCHI, 2003).

À medida que as rochas do depósito mineral possuem potencial econômico comprovado, o termo “jazida mineral” passa a ser utilizado. Associadamente, quando o mineral ou a rocha apresentam importância econômica, o termo “minério” passa a ser utilizado. Essa importância econômica diz respeito à extração de um mineral ou de uma ou mais substâncias presentes numa rocha, que produzem lucro (BETTENCOURT E MORESCHI, 2003).

Segundo Valer (2012), no momento que a jazida entra na fase de exploração mineral (lavra), ou seja, retirada do minério do subsolo, a nomenclatura “mina” passa a ser utilizada. Para que seja possível a lavra do minério, é necessário a remoção do estéril, que é a rocha ou solo sem valor econômico que recobre o minério. Em algumas minerações o estéril é também chamado de capeamento (ARAUJO, 2006; SZNELWAR, DOMPIERI E SCALABRIM, 2009). Ainda, para o escoamento do minério nessa etapa da lavra é necessária a construção das vias de acesso (Figura 4), que são estradas que permitem atingir a jazida em um ou mais horizontes (FERREIRA, 2013).

Figura 4: Acessos para a lavra de minério



Fonte: Adaptado de RODOVALHO E TOMI (2014)

Vinculado a esse conceito de importância econômica, Bettencourt e Moreschi (2003) explicam que no minério existem dois tipos de minerais: mineral de minério e mineral de ganga ou ganga. Segundo Valer (2012), o mineral de minério é o mineral aproveitável e que atribui o valor econômico para a rocha, enquanto o mineral de ganga não é aproveitável. No exemplo da rocha itabirito, a hematita é classificada como mineral minério enquanto o quartzo constitui a ganga. Bettencourt e Moreschi (2003) afirmam que um mesmo mineral pode ser classificado como mineral minério ou mineral de ganga, a depender do depósito mineral em questão.

Neto e Rocha (2010) definem que a relação entre o mineral minério e o minério é chamada de teor. As unidades de teor podem ser expressas em porcentagem, g/ton (gramas por tonelada), ppm (partes por milhão), ppb (partes por bilhão) ou kg/ton (quilograma por tonelada). A Equação 1 define o cálculo para o teor, sendo que para ser expresso em porcentagem o resultado deve ser multiplicado por 100.

$$T = \frac{MM}{M} \quad (1)$$

T: teor

MM: massa do mineral minério

M: massa do minério

3.1.2 Fases da mineração

De acordo com Hartman e Mutmanský (2002), as etapas da vida de uma mina compreendem em 5 estágios: prospecção, exploração, desenvolvimento, lavra e recuperação. Dutra ([s.d.]) diz que essas etapas estão interligadas entre si e garantem que a atividade de mineração seja encerrada com responsabilidade ambiental.

Segundo os autores Kuzvart e Bohmer (1986) e Neto e Rocha (2010), a prospecção e exploração mineral consistem em estudos geológicos dos recursos minerais para a determinação da viabilidade de aproveitamento econômico. A prospecção tem como objetivo principal encontrar depósitos de minerais úteis e avaliar a possibilidade de prosseguir com os estudos. A exploração compreende uma fase de investigação mais ampla, onde é determinada a qualidade do depósito em questão e definição ou não da jazida mineral. Essas duas fases são desenvolvidas a longo prazo, de modo que só terminam com o esgotamento do depósito.

O desenvolvimento corresponde aos serviços necessários para tornar possível a lavra da jazida mineral (GIRODO, 2005). É onde inicia a abertura da jazida, construção de acessos, fornecimento de sistemas de transporte, instalações para processamento mineral e áreas para disposição dos rejeitos, construção de escritórios, instalação de fontes de energia e outras instalações de apoio (HARTMAN E MUTMANSKY, 2002).

A fase de lavra em uma mineração compreende na recuperação do mineral da terra em termos de quantidade, de modo que a ênfase dessa etapa é na produção. Entretanto, alguns trabalhos da etapa de desenvolvimento ainda podem ocorrer. O método selecionado para a lavra depende das características da jazida mineral, dos critérios com relação à segurança, tecnologia e economia e é classificado em 2 grandes categorias de acordo com o local: superfície (céu aberto) ou subterrâneo (HARTMAN, 1987).

A recuperação é o estágio final de um empreendimento de mineração, onde é realizada o processo de fechamento de mina. Após o encerramento das atividades mineiras, a área deve ser recuperada para outros propósitos de utilização. Para isso, são removidos os escritórios, instalações, equipamentos de transporte e demais estruturas de superfície, levando em consideração a segurança do local. Assim, é realizada a restauração da superfície da terra e da qualidade da água (HARTMAN E MUTMANSKY, 2002; GIRODO, 2005).

Durante as fases de desenvolvimento e lavra, normalmente são empregadas algumas operações unitárias, que dizem respeito ao desmonte de rochas e manuseio de materiais. O desmonte de rochas pode ser aplicado tanto para o estéril quanto para o minério, e consiste na separação de determinada massa de rocha do seu depósito original para a etapa de manuseio, que compreende em carregamento e transporte. Os materiais desmontados são então carregados no equipamento que realiza o transporte, de modo que o estéril geralmente é transportado para áreas de deposição de estéril, enquanto o minério para a usina de beneficiamento (HARTMAN, 1987; RICARDO E CATALANI, 2007).

Na usina de beneficiamento, o minério passa pela etapa de beneficiamento mineral para que seja realizada a concentração, isto é, remoção da maior parte da ganga presente em grades quantidades no minério (LUZ, SAMPAIO E FRANÇA, 2010). Nesse processo são gerados os rejeitos, as partículas resultantes do processo de beneficiamento que não possuem valor econômico, que são direcionados para as áreas de disposição de rejeitos (ARAUJO, 2006).

3.2 PLANEJAMENTO DE LAVRA

Independente do porte da empresa de mineração, é essencial que exista planejamento das etapas de prospecção, exploração, lavra, beneficiamento e recuperação. Esse planejamento é indispensável para o melhor aproveitamento dos recursos minerais que não são renováveis, além de impactar positivamente no resultado financeiro da empresa com os estudos de viabilidade técnica e econômica (DNPM, 2004).

O planejamento de lavra elabora a programação das atividades da mina por meio dos planos de lavra, indicando os avanços a serem realizados ao longo do tempo, além de calcular as toneladas de minério e estéril, bem como seus teores e outras variáveis de interesse (CAMPELO, 2018; QUEVEDO, 2009). Os avanços de lavra são definidos por Dagdelen (2001) como as fases de evolução da mina ao longo do tempo, ou seja, os estágios de lavra.

De acordo com os autores Campelo (2018) e Amaral (2008), o planejamento de lavra começa desde os primeiros estudos de viabilidade econômica até o encerramento das operações da mina. É a área da mineração responsável por elaborar as programações de atividades da mina e é dividido em 3 horizontes de acordo com o tempo e objetivos almejados: planejamento de longo prazo, planejamento de médio prazo e planejamento de curto prazo. Almeida (2017) diz que estes ainda podem ser classificados como planejamento estratégico, planejamento tático e planejamento operacional, respectivamente.

O planejamento de longo prazo tem como propósito projetar o *layout* da mina, além de estudar cenários e prever custos de operação, com a finalidade de reduzir investimentos e maximizar o retorno financeiro do empreendimento (AMARAL, 2008). Nesse horizonte do planejamento de lavra, normalmente é dada relevância à toda a vida da mina onde são realizados planos que variam de 1 ou 5 anos até a exaustão (ALMEIDA, 2017).

O planejamento de médio prazo busca otimizar determinadas áreas da empresa e não a empresa como um todo. Essa fase do planejamento trabalha com alguns segmentos e detalhamento dos objetivos estabelecidos no planejamento de longo prazo. O planejamento de médio prazo conta com etapas sucessivas que compreendem na elaboração de planos anuais, semestrais e trimestrais (ALMEIDA, 2017).

O planejamento de curto prazo tem como principal objetivo garantir que a demanda da usina seja atendida em termos de massa e qualidade de minério (THORLEY, 2012). De acordo com Campelo (2018), o planejamento de curto prazo é responsável por elaborar planos que podem ser divididos em mensais, semanais e diários. Esses planos são estágios sucessivos e quanto mais específicos, maior é o grau de certeza e confiabilidade dos dados disponíveis.

O planejamento de lavra é iniciado quando a jazida é representada num modelo de blocos que é dividido em blocos, onde estes são chamados de unidade seletiva de lavra (*select mining unit* - SMU). O modelo de blocos contém informações referentes ao valor econômico de cada bloco de minério e assim, o planejamento de lavra utiliza os dados de cada bloco para elaborar os planos de lavra (ALMEIDA, 2017; THORLEY, 2012).

3.2.1 Índices de aderência e cumprimento ao plano de lavra

A aderência geométrica e índice de cumprimento são indicadores de desempenho, também definidos como KPI's (*Key Performance Indicator*). Os KPI's auxiliam no processo de verificação do progresso dos objetivos da empresa e são definidos de acordo com esses objetivos. No caso da aderência geométrica e índice de cumprimento, estes são índices de controle de efetividade de lavra que buscam comparar as quantidades de minério efetivamente lavradas com o plano de lavra (CÂMARA, 2013).

Segundo Câmara (2013), a aderência geométrica calcula a porcentagem de material lavrado que estava dentro do plano de lavra, enquanto o índice de cumprimento determina a porcentagem da quantidade de material planejado que foi realmente lavrado. As Equações 2 e 3 mostram a metodologia de cálculo para os índices de aderência e cumprimento, respectivamente, de acordo com Câmara (2013). A Figura 5 representa o esquema desses indicadores de desempenho.

$$IA = \frac{PR}{PR + RNP} \times 100 \quad (2)$$

$$IC = \frac{PR}{PR + PNR} \times 100 \quad (3)$$

IA: Índice de aderência

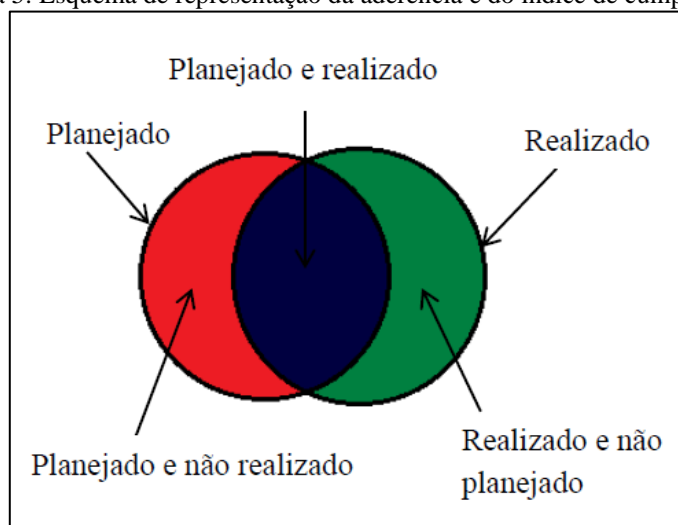
IC: Índice de cumprimento

PR: Planejado realizado (refere-se a massa total planejada e realizada)

RNP: Realizado não planejado (refere-se a massa total que foi lavrada e não estava planejada)

PNR: Planejado não realizado (refere-se a massa total que foi planejada e não lavrada)

Figura 5: Esquema de representação da aderência e do índice de cumprimento



Fonte: CÂMARA (2013)

Câmara (2013) define que o Índice de Efetividade de Lavra (IE) equivale a média aritmética do índice de aderência com o índice de cumprimento (Equação 4).

$$IE = \frac{IA + IC}{2} \quad (4)$$

3.3 TOPOGRAFIA

A palavra topografia tem origem grega das palavras *topos* e *graphen*, que significam “lugar” e “descrever”, respectivamente. Assim, topografia significa localização e descrição de um determinado local e pode ser definida como a ciência que se dedica ao estudo e representação dos detalhes de uma parcela da superfície terrestre (NETO, 2013).

De acordo com DNPM (2001), tanto as minerações a céu aberto quanto as subterrâneas devem passar por levantamentos topográficos a fim de serem representadas adequadamente em formato de mapas e plantas. Os trabalhos de desenvolvimento de uma mina não podem ser iniciados sem os devidos levantamentos, bem como devem ser atualizados periodicamente.

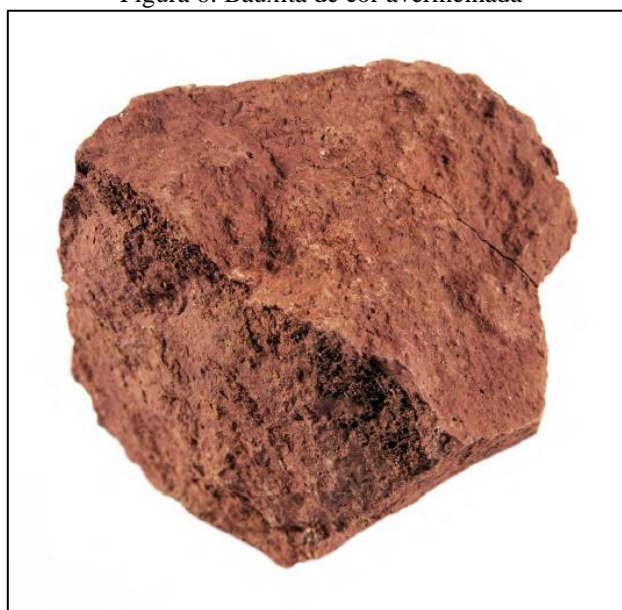
Através de uma combinação dos levantamentos topográficos e levantamentos mineralógicos como por exemplo o controle de teores, o planejamento de lavra é capaz de planejar os avanços de uma mina de modo que garanta otimização do aproveitamento de minério levando em consideração distâncias de transporte e alocação de equipamentos. Além

disso, por meio dos levantamentos topográficos é possível calcular os volumes de estéril e minério movimentados (NETO, 2013).

3.4 BAUXITA

A bauxita foi descoberta no ano de 1821 pelo geólogo Pierre Berthier, na cidade de Les Baux, na França. É uma rocha (Figura 6), formada por uma mistura de minerais de alumínio e impurezas como óxidos de ferros, argila, sílica, dióxido de titânio, entre outras. A cor da bauxita pode variar numa escala de branca à vermelha, sendo que essa variação depende da proporção de óxidos de ferro presentes na rocha. Além disso, é a principal matéria prima para a obtenção do alumínio (SAMPAIO, ANDRADE E DUTRA, 2005).

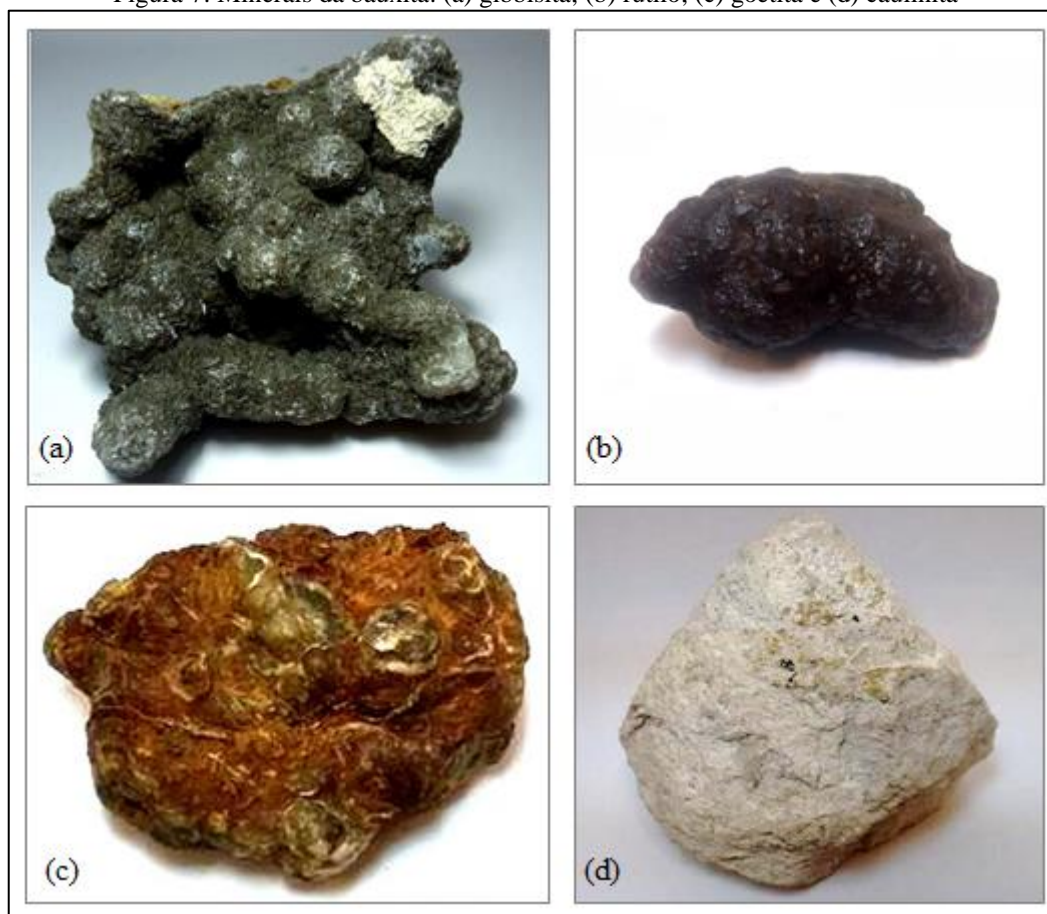
Figura 6: Bauxita de cor avermelhada



Fonte: ABAL (2017)

O mineral minério mais comum nos depósitos brasileiros de bauxita é a gibbissita e os minerais de ganga compreendem em hematita, quartzo, goetita, rutilo e caulinita (Figura 7). A mineralogia do depósito de bauxita influencia na eficácia da obtenção da alumina, que é o óxido de alumínio presente na bauxita que dá origem ao alumínio metálico. São necessários 5 a 7 toneladas de bauxita para produzir 2 toneladas de alumina, que dão origem à 1 tonelada de alumínio (MEYER, 2004; ABAL, 2017; CARVALHO et al., 1997).

Figura 7: Minerais da bauxita: (a) gibbissita; (b) rutilo; (c) goetita e (d) caulinita



Fonte: Adaptado de Peixoto, Ferreira e Mattos (2016)

De acordo com Mártires (*[s.d.]*) a alumina no Brasil é produzida em larga escala, sendo que 98% da bauxita produzida no país tem como destino a fabricação de alumina para a produção do metal alumínio. Os outros 2% restantes são destinados a indústria de refratários e produtos químicos.

Segundo ABAL (2017), o alumínio é o terceiro elemento mais abundante da crosta terrestre. As bauxitas brasileiras possuem mais de 40% de alumina, considerada ótima qualidade. Uma vez que para a produção de alumínio ser economicamente viável, o ideal é que a bauxita contenha no mínimo 30% de alumina.

A maior parte dos depósitos de bauxita no Brasil (aproximadamente 97%) estão situados na região amazônica (Figura 8). Cerca de 40% da topografia dessa região é constituída pela planície amazônica ou platô, onde estão localizados esses depósitos. Os outros 3% restantes de depósitos estão localizados na região sul e sudeste brasileira (CARVALHO et al., 1997; TINOCO, 2017).

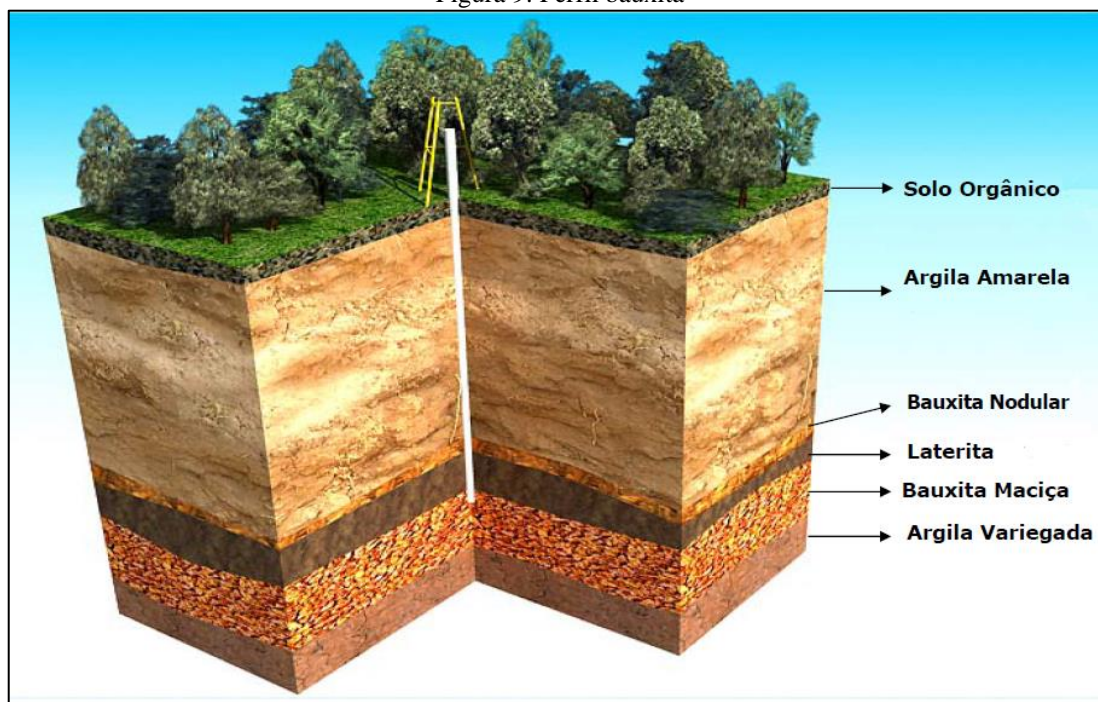
Figura 8: Distribuição dos depósitos de bauxita no Brasil



Fonte: Adaptado de TINOCO (2017)

As áreas dos depósitos de bauxita são cobertas pela vegetação típica da região e o solo orgânico. O perfil bauxítico da região amazônica é relativamente homogêneo em todo o platô e apresenta uma sequência de camadas estratificadas, como pode ser observado na Figura 9. Descritas do topo para a base, tem-se no topo uma camada de argila de cor amarelada, abaixo encontra-se a bauxita nodular, seguida da camada nodular ferruginosa (laterita), camada bauxítica (bauxita maciça) e na base a argila variegada (CARVALHO, 1989; OMINIA MINÉRIOS, 2005).

Figura 9: Perfil bauxita



Fonte: Adaptado de OMINIA MINÉRIOS (2005)

3.5 MÉTODO DE LAVRA POR TIRAS (*STRIP MINING*)

O método de lavra por tiras é um método de lavra a céu aberto aplicado principalmente em depósitos de minério que possuem uma geometria específica: tabulares ou em camadas. O ideal é que o corpo de minério seja horizontal e não apresente elevada profundidade com relação à superfície (DARLING, 2011). Em inglês, o método de lavra por tiras é conhecido por *strip mining*.

Além disso, Thompson (2005) diz que fatores favoráveis para a escolha do método de lavra por tiras incluem capeamento de estéril não superior à 50m, topografia de superfície regular no qual as camadas de minério não ultrapassem angulação de 20° com a superfície, além de uma área de reserva extensa que permita uma vida útil viável para a mina.

A bauxita, o carvão e o xisto betuminoso são exemplos de minerais recuperados por esse método de lavra (CURI, 2014). As operações desse método de lavra incluem: limpeza da vegetação (supressão vegetal), remoção do solo, escarificação do estéril, decapeamento, lavra do minério e recuperação da área lavrada (McCARTER, [s.d.]).

A vegetação pode ser limpa por tratores de esteira e o solo orgânico com tratores de rodas. Em alguns casos, tratores podem auxiliar escavadeiras no carregamento de caminhões para a remoção do solo. O solo é estocado de modo que possa ser recuperado para a utilização

na etapa de reabilitação da área. É importante que o solo superficial seja armazenado de modo que suas propriedades não sejam afetadas, evitando a compactação do mesmo por equipamentos (DARLING, 2011).

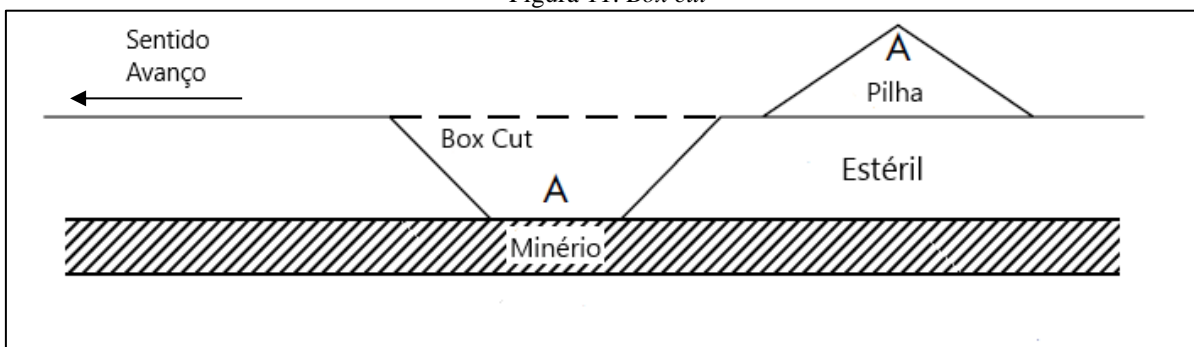
Para a remoção do estéril, é necessário o desmonte desse material. Para rochas brandas (friáveis) podem ser utilizados tratores equipados com *rippers* (Figura 10) para a fragmentação desse capeamento, e no caso de rochas mais competentes, explosivos podem ser utilizados. Após o desmonte do estéril, vem a etapa de decapeamento, que é a operação para remoção desse estéril (McCARTER, [s.d.]; GIRODO, 2005).

Figura 10: Trator de esteiras com *ripper*



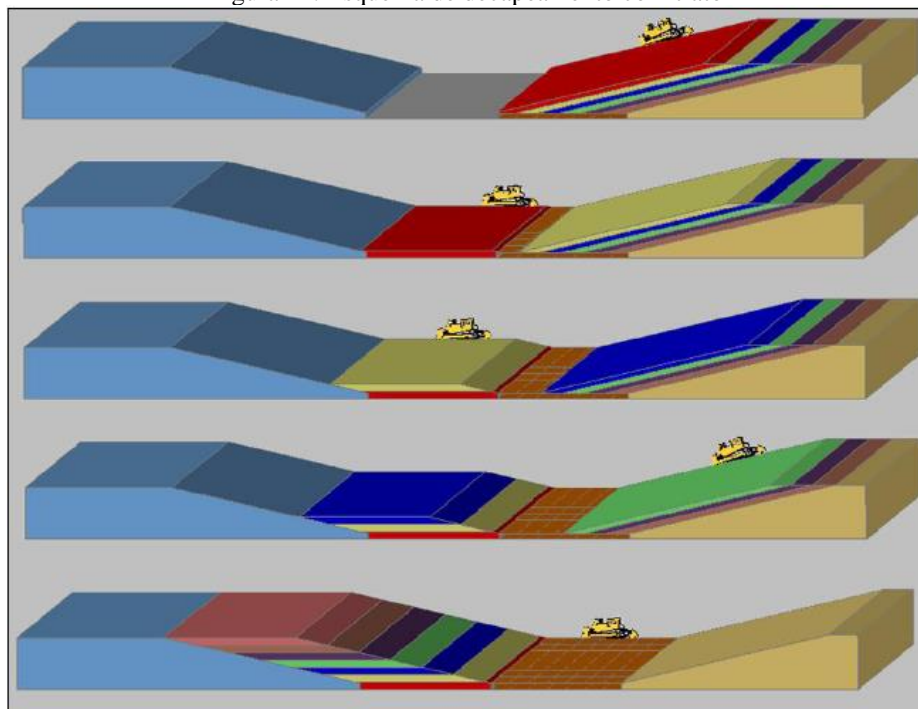
Fonte: Adaptado de RODOVALHO E TOMI (2014)

A primeira etapa para o decapeamento é a abertura de um *box cut*, que é o corte inicial na superfície para a abertura da primeira tira de minério (Figura 11). O estéril removido do *box cut* é transportado para um local adequado de descarte. Após isso, o minério é exposto em cortes sucessivos e paralelos, que são as tiras e o estéril removido é depositado dentro da cava da tira lavrada anteriormente como pode ser observado na Figura 12 (DARLING, 2011; McCARTER, [s.d.]). A seleção do equipamento para essa etapa depende das propriedades do estéril e do minério, bem como a geometria do depósito. Geralmente, são utilizados diferentes tipos de escavadeiras e tratores (McCARTER, [s.d.]; HARTMAN, 1989).

Figura 11: *Box cut*

Fonte: Adaptado de DARLING (2011)

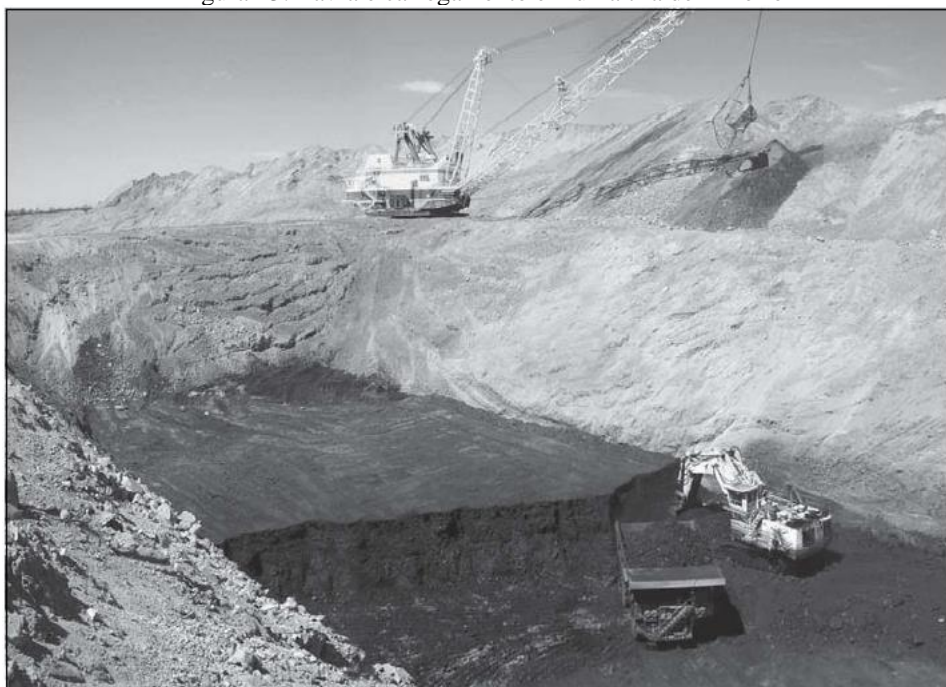
Figura 12: Esquema de decapeamento com trator



Fonte: Abreu (2017)

Uma vez que o minério é exposto após o decapeamento, a lavra também pode ser feita por meio de diferentes tipos escavadeiras, além de carregadeiras e retroescavadeiras, que vão realizar o carregamento para o transporte do material até a planta de beneficiamento. Em caso do material ser uma rocha competente, é necessário realizar desmonte do minério para que o carregamento seja eficiente (McCARTER, [s.d]). A Figura 13 mostra uma operação de lavra e carregamento em uma tira de carvão.

Figura 13: Lavra e carregamento em uma tira de minério



Fonte: DARLING (2011)

As dimensões da lavra por tiras dependem dos aspectos geométricos da camada de minério e estéril, além do dimensionamento de equipamentos e a produção de minério (DNPM, 2004). Na lavra por tiras a seleção dos parâmetros de corte, em termos de direção e largura, contribuem significativamente para a eficiência global e rentabilidade da operação. Nesse sentido, a localização de abertura do *box cut* bem como a direção do avanço são os parâmetros iniciais que devem ser determinados (THOMPSON, 2005).

A recuperação no método de lavra por tiras começa a ser realizada simultaneamente com a etapa de extração, uma vez que o estéril removido durante o decapeamento é depositado imediatamente na área anteriormente lavrada. Assim, os depósitos de estéril que já foram liberados para fase de recuperação são nivelados e compactados com o objetivo de reestruturar a estabilidade do local. Após o nivelamento, o solo superficial removido nas etapas iniciais é disposto sobre esses depósitos de estéril com o intuito de deixar próximo das condições originais da região. Finalmente, a área passa pelo processo de revegetação com as espécies nativas da região (McCARTER, [s.d.]; CAMPOS, 2018).

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 MATERIAIS

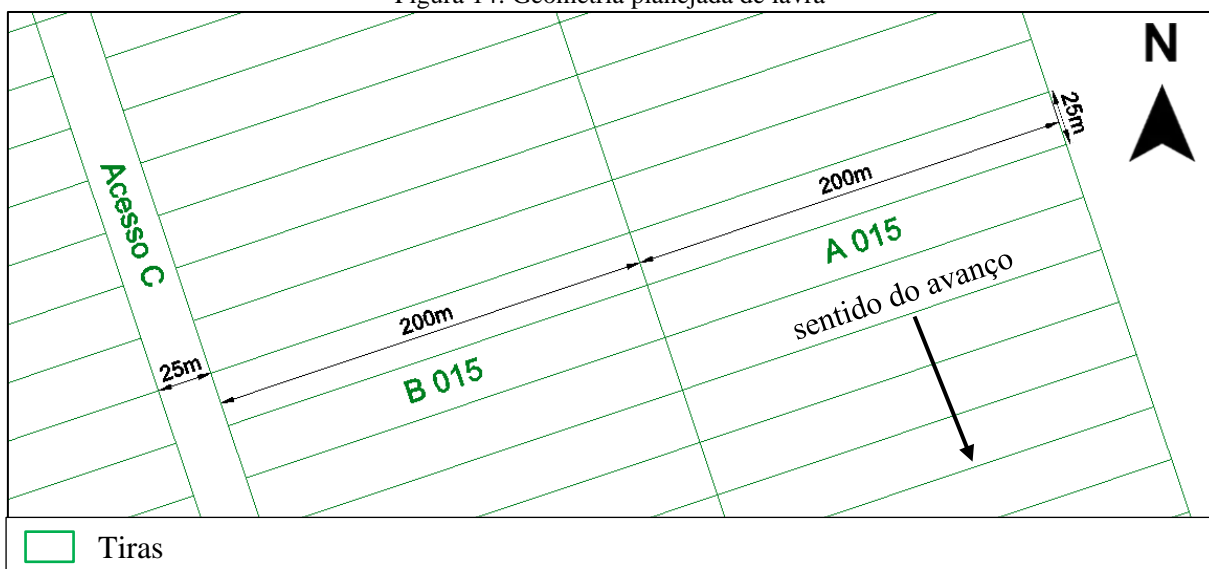
4.1.1 Área de estudo

A área de estudo é uma mina de bauxita localizada na região amazônica brasileira, mais precisamente no Oeste do estado do Pará. O minério é lavrado à céu aberto pelo método de lavra por tiras no qual as tiras são identificadas pelas letras de A a Z. Cada tira representa um avanço de lavra que é designado por números de forma crescente.

4.1.2 Geometria planejada das tiras

A geometria das tiras da mina foi definida pelo planejamento de lavra de longo prazo, onde as tiras possuem as dimensões de 25m de largura por 200m de comprimento. A cada 2 tiras existe um acesso de lavra com 25m de largura. A Figura 14 apresenta as dimensões das tiras bem como o *layout* descrito e o sentido do avanço de lavra. As Figuras de 15 a 36 seguem a mesma orientação da Figura 14.

Figura 14: Geometria planejada de lavra

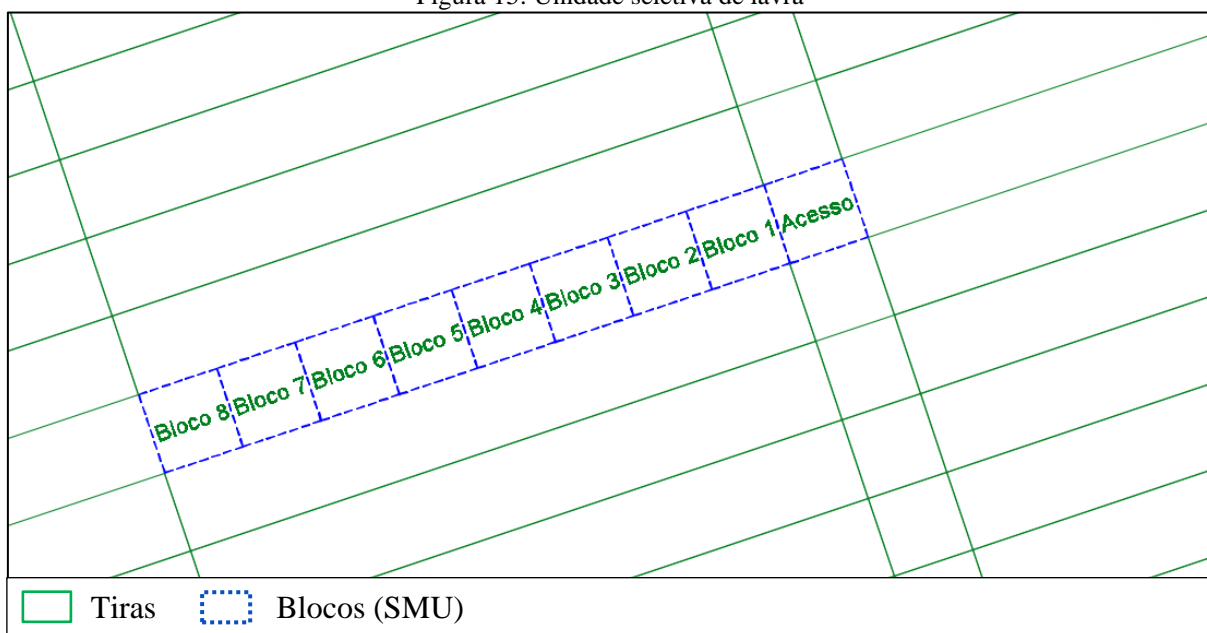


Fonte: Alcoa

4.1.3 Unidade Seletiva de Lavra (*Selective Mining Unit*)

As tiras da mina em estudo são divididas em blocos e estes constituem a menor unidade de lavra. Cada tira é dividida em 8 blocos no sentido horizontal, onde cada bloco possui dimensões de 25m de largura por 25m de comprimento (Figura 15). Os acessos também são divididos em blocos, no sentido vertical.

Figura 15: Unidade seletiva de lavra



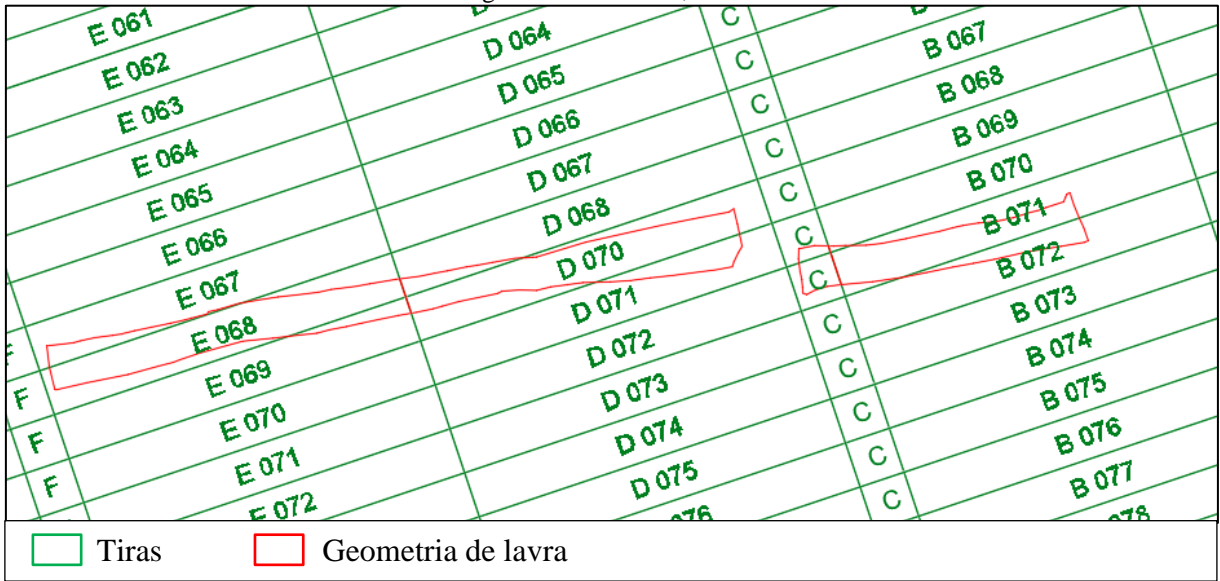
Fonte: Alcoa

4.1.4 Desalinhamento das tiras

O desalinhamento das tiras da mina em estudo ocorreu no sentido do avanço, de modo que a geometria lavrada não obedecia ao avanço planejado pelo planejamento de lavra de curto prazo. Assim, a geometria lavrada foi medida pela topografia de mina e exportada para o *software* AutoCad®, juntamente com as tiras planejadas. As figuras 16, 17, 18 e 19 mostram o último avanço lavrado de cada uma das tiras em operação desalinhadas e sobrepostas a geometria planejada das tiras, para a identificação do problema.

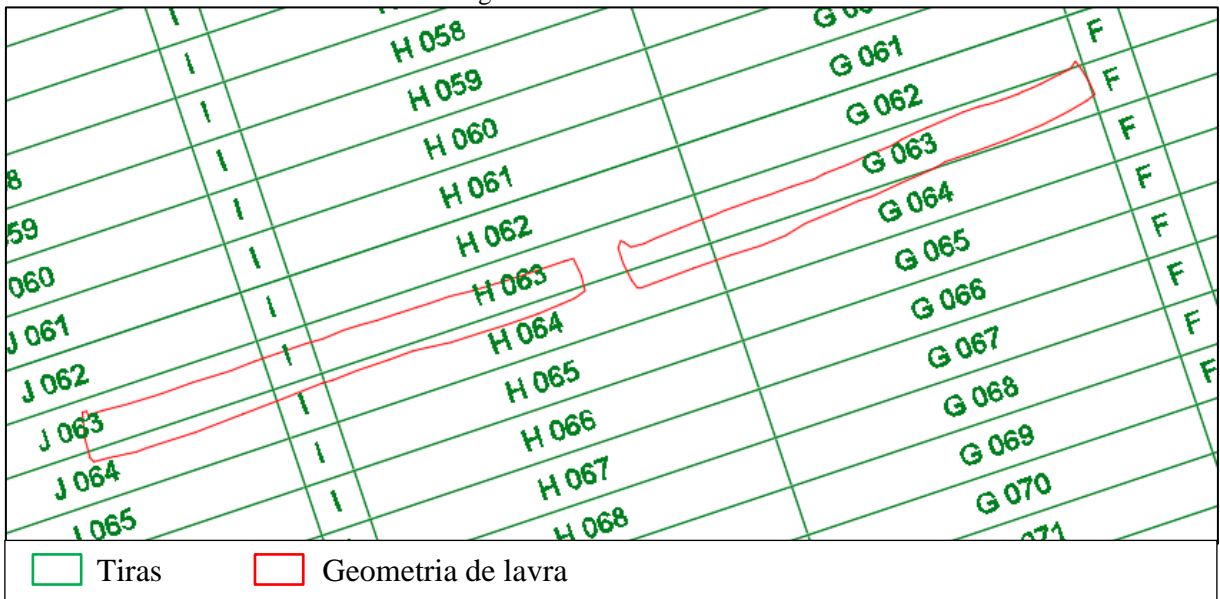
É importante frisar que algumas tiras em operação abrangem mais de uma letra e em alguns casos até o acesso de lavra, de modo que os acessos foram reposicionados. Isso pode ser observado nas tiras B/C, G/H e H/I/J e ocorreu devido a posição de abertura do *box cut*. Entretanto, isso não interfere no desalinhamento no sentido do avanço.

Figura 16: Tiras B/C, D e E



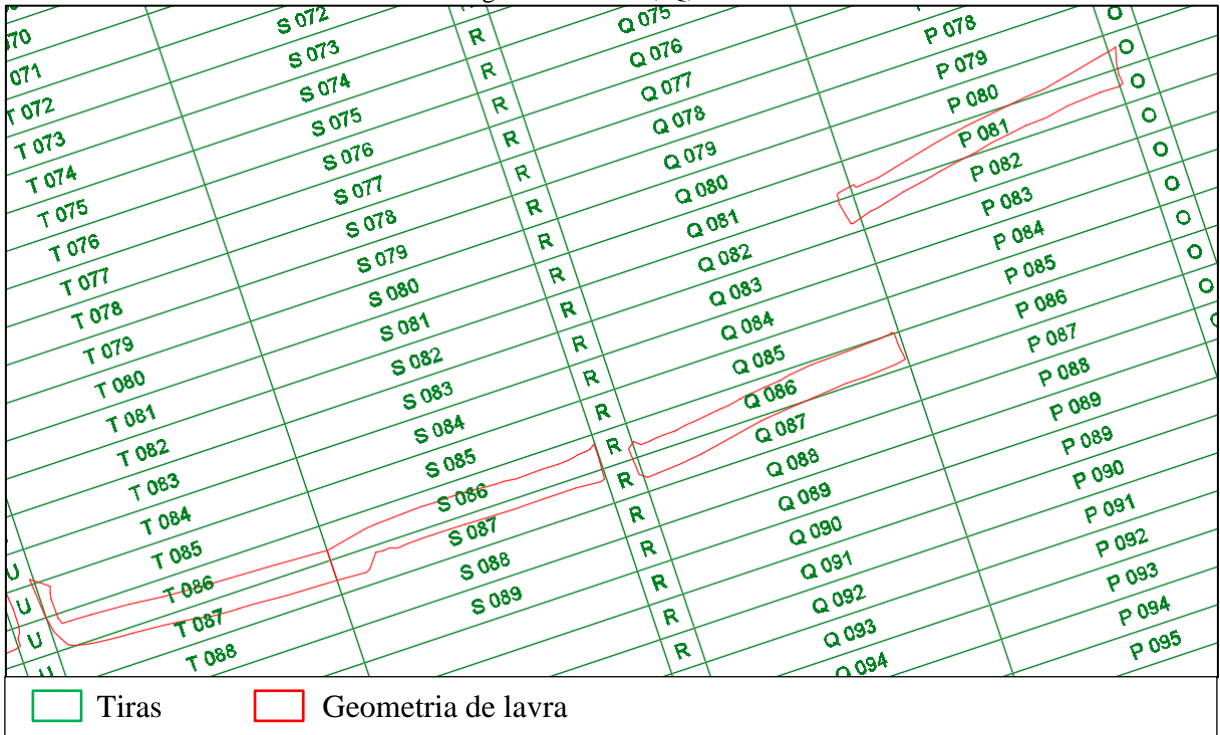
Fonte: Alcoa

Figura 17: Tiras G/H e H/I/J



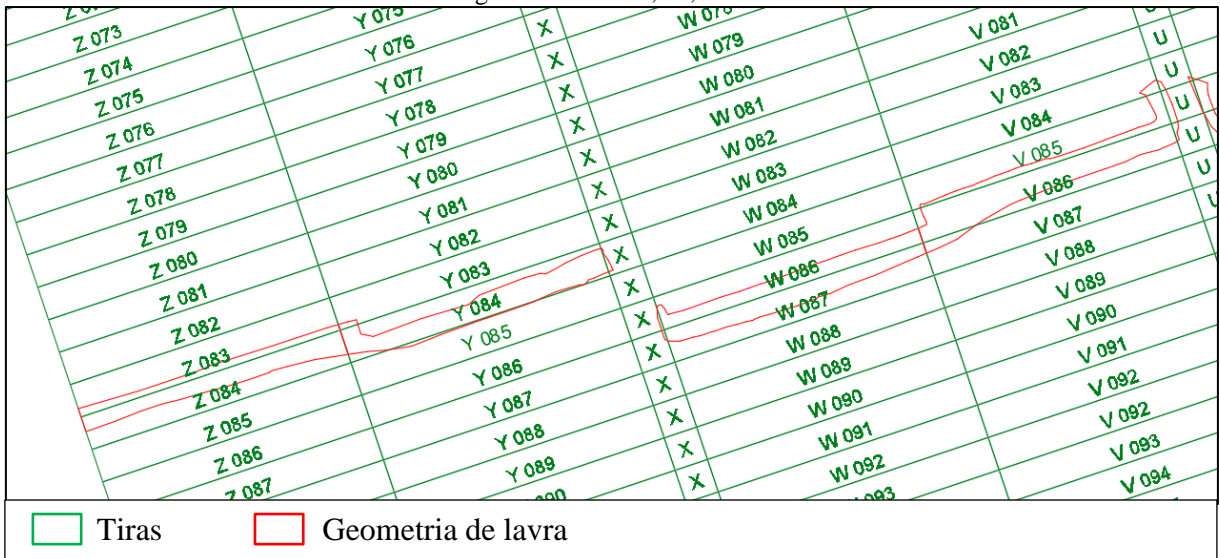
Fonte: Alcoa

Figura 18: Tiras P, Q, S e T



Fonte: Alcoa

Figura 19: Tiras V, W, Y e Z



Fonte: Alcoa

4.2 MÉTODOS

Para o alinhamento das tiras, foi necessário determinar uma nova medida de decapeamento para as tiras desalinhadas. Logo, as etapas seguintes correspondem a

metodologia utilizada nesse trabalho para a determinação dessa nova medida de decapeamento e, conseqüentemente, o alinhamento das tiras:

- Comparação das geometrias planejada e lavrada e medição da diferença em metros entre ambas;
- Determinação da quantidade de avanços necessários para o alinhamento;
- Determinação do novo comprimento de decapeamento da tira baseado na quantidade de avanços;
- Repasse das novas medidas de decapeamento para a equipe de topografia realizar a marcação em campo.

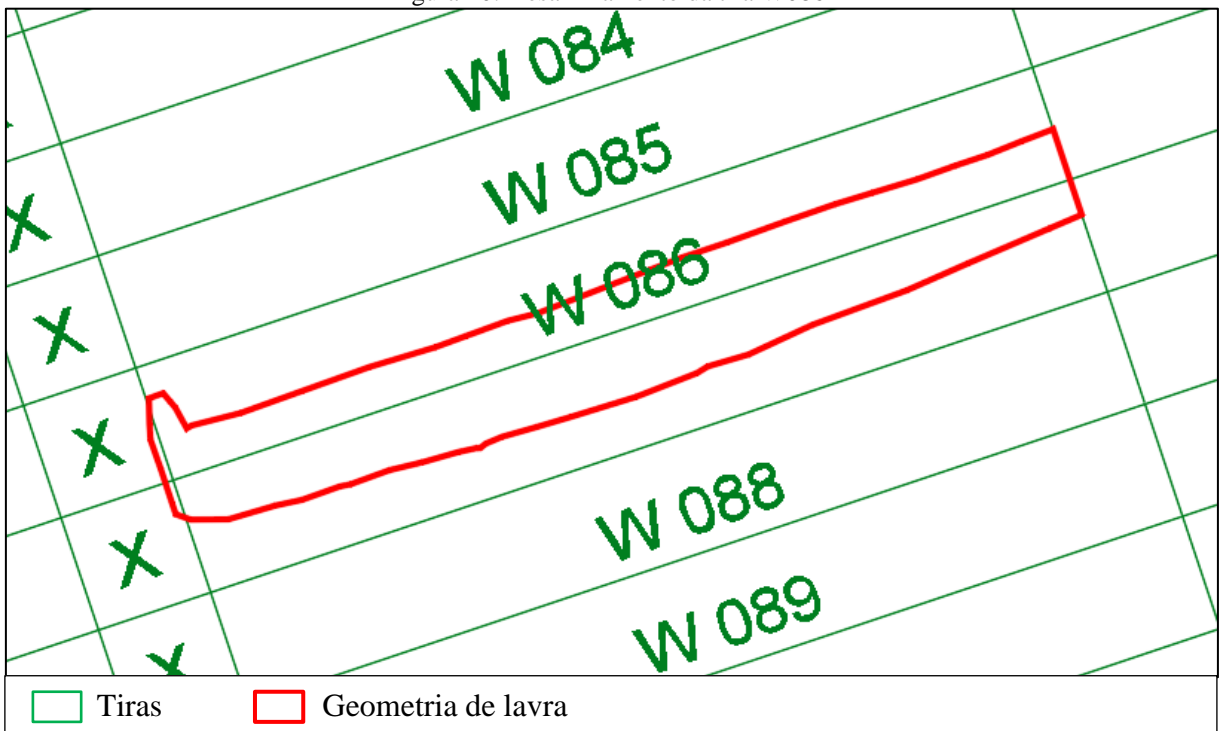
Inicialmente, buscou-se as medições topográficas da geometria do último avanço das tiras lavradas. Assim, comparou-se essas medições com a geometria planejada para determinar quantos metros a tira estava discordante do avanço planejado. Foram observados três casos de desalinhamento e para cada um foi utilizado um critério diferente de definição das novas medidas de decapeamento, de modo que a nova medida seria menor que a dimensão já estabelecida.

Vale ressaltar que para as dimensões de decapeamento não foi utilizado nenhuma casa decimal, pois os valores foram arredondados. Além disso, diferenças de até 1,5m não foram consideradas desalinhamento. A cada nova medição topográfica realizada foram feitas novas comparações a fim de verificar se as novas medidas de decapeamento estavam de acordo com o planejado. Caso contrário, novos cálculos eram realizados para obter uma nova dimensão. Além disso, vale salientar que esse trabalho teve duração de aproximadamente 5 meses.

4.2.1 Caso 1

A geometria da tira lavrada era paralela ou pouco inclinada com relação à planejada e o desalinhamento ocorreu com uma diferença em metros no avanço posterior ao planejado. No exemplo da Figura 20, a tira W lavrada foi planejada no avanço 086 e observou-se que uma parte dessa tira foi lavrada no avanço seguinte.

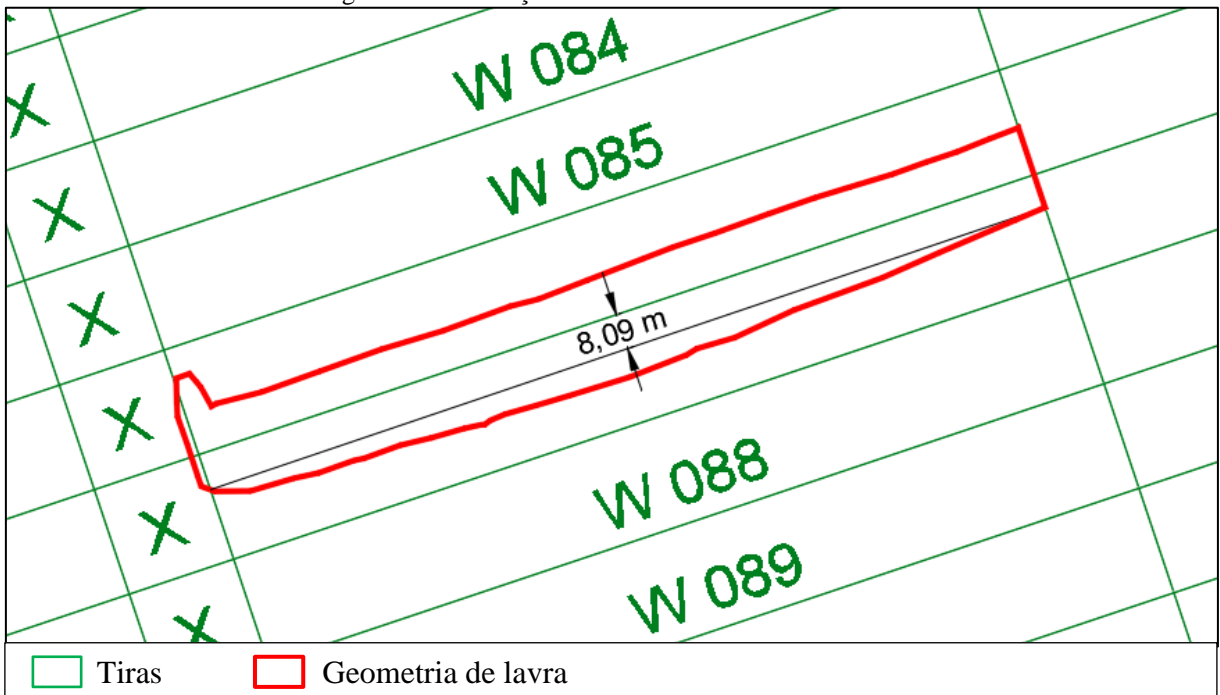
Figura 20: Desalinhamento da tira W086



Fonte: Alcoa

Para determinar a diferença em metros foi traçado uma linha de uma extremidade à outra da tira realizada, a fim de estipular a média da diferença. Logo, foi medido a partir do ponto central dessa linha traçada, no sentido perpendicular, quantos metros a tira lavrada estendeu-se até o avanço planejado posterior (Figura 21).

Figura 21: Diferença do desalinhamento da tira W086



Fonte: Alcoa

Depois de realizada a medida, a Tabela 1 foi utilizada para determinar quantos avanços seriam necessários para que a tira fosse alinhada. A Tabela 1 foi elaborada levando em consideração que a tira não pudesse ser decapeada com menos de 20m ou mais que 25m devido impactar na produtividade dos equipamentos de decapeamento. Portanto, os próximos avanços poderiam ter no máximo 5m a menos que a medida original de decapeamento. Por consequência, os critérios de diferença utilizados foram agrupados de 5 em 5m, isto é, a cada 5 metros de diferença seria necessário um avanço a mais.

Tabela 1: Critérios de diferença

Critério de Diferença (m)	Quantidade de avanços
1.5 a 5	1
5 a 10	2
10 a 15	3
15 a 20	4
20 a 23.5	5

Fonte: Elaborado pela autora

Levando em consideração a Tabela 1, a Equação 5 define em quantos metros será o próximo decapeamento (D) dessa tira.

$$D = 25 - \frac{Dist}{A} \quad (5)$$

D: nova dimensão de decapeamento

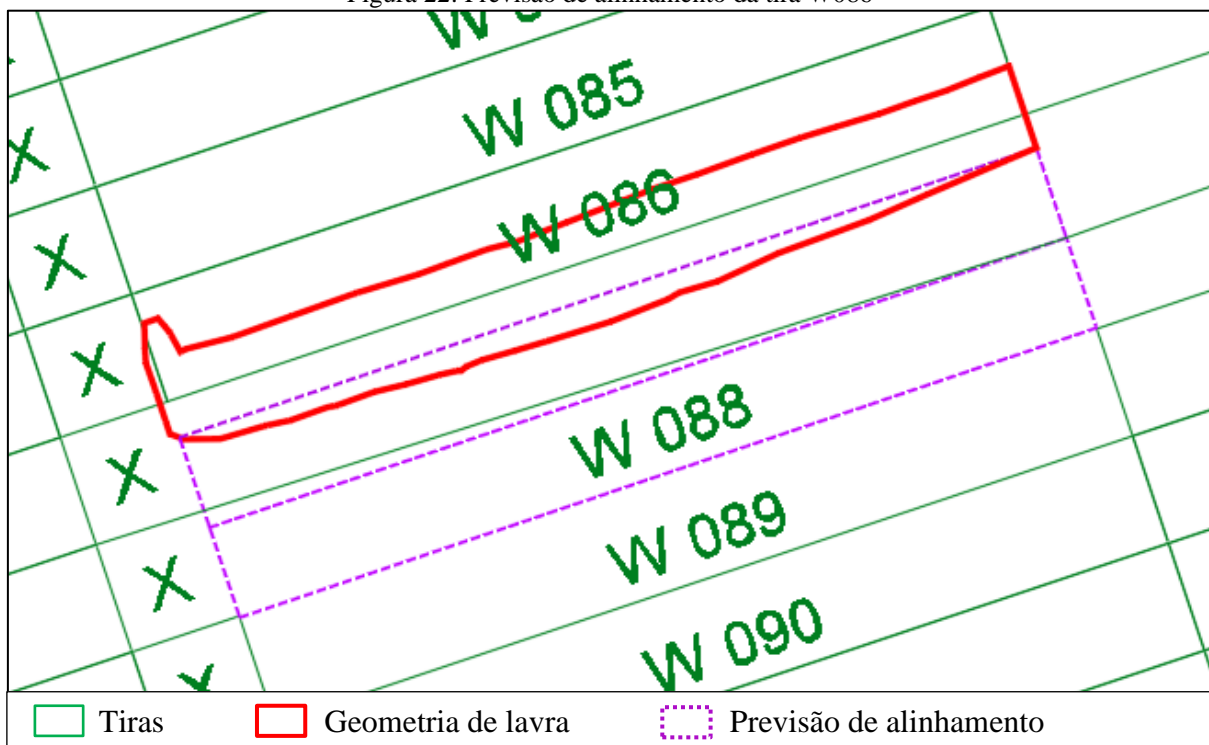
25 é a medida de decapeamento original;

Dist: distância ultrapassada do avanço subsequente;

A: quantidade de avanços (Tabela 1)

Utilizando a Tabela 1 e a Equação 5 para o exemplo apresentado do caso 1, para o alinhamento foram necessários 2 avanços e a nova medida de decapeamento foi de 21m. A Figura 22 mostra a previsão de alinhamento da tira W (polígono lilás), que foi planejado para o avanço 088.

Figura 22: Previsão de alinhamento da tira W086

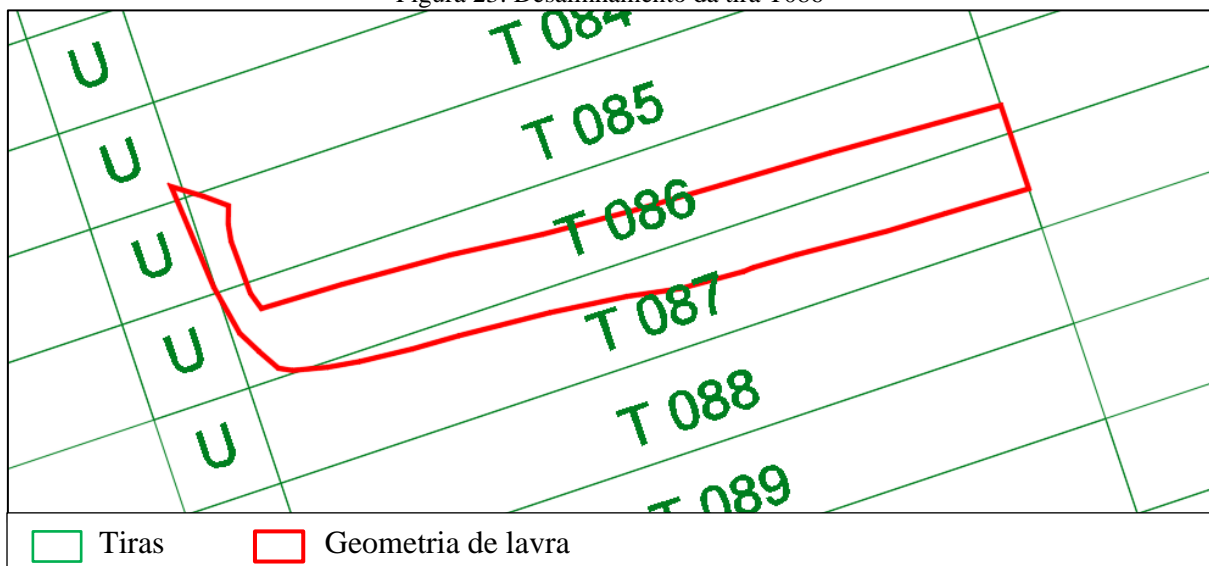


Fonte: Alcoa

4.2.2 Caso 2

A geometria da tira lavrada é inclinada com relação à planejada, sendo que uma das extremidades se encontrava alinhada e a outra extremidade ultrapassou o avanço posterior. A Figura 23 mostra que a tira T estava planejada para o avanço 086, porém uma parte no lado leste foi lavrada no avanço 087.

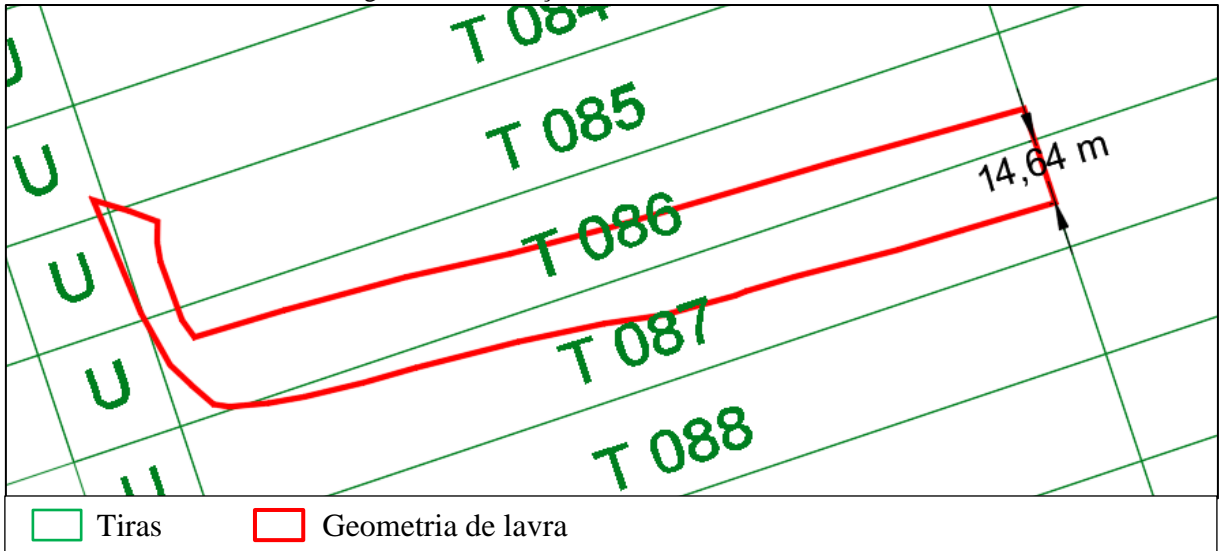
Figura 23: Desalinhamento da tira T086



Fonte: Alcoa

Para essa situação, foi considerado que a medida de decapeamento do lado leste permaneceu com 25m. Para determinar a diferença do lado desalinhado, foi medido perpendicularmente a distância ultrapassada para o avanço planejado seguinte (Figura 24).

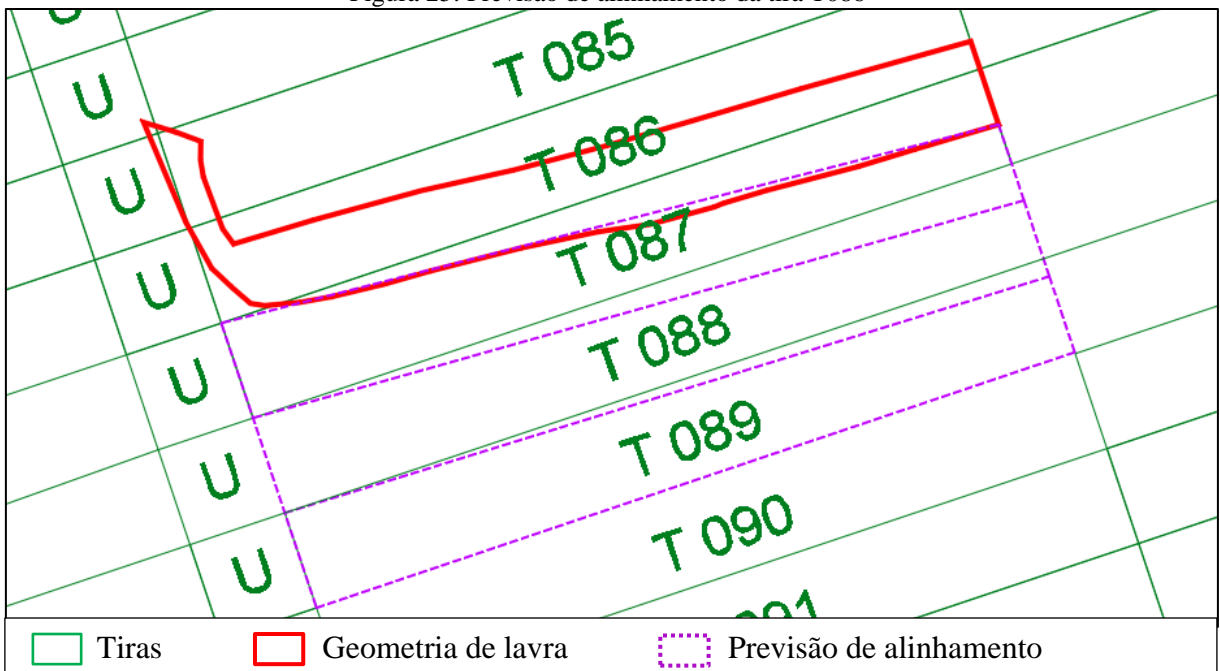
Figura 24: Diferença do alinhamento da tira T086



Fonte: Alcoa

Para o cálculo da medida de decapeamento, foi utilizada a mesma metodologia do caso 1. Logo, obedecendo a Tabela 1 foram necessários 3 avanços para o alinhamento, com um decapeamento de 20m na extremidade mais avançada, calculado pela Equação 5. A Figura 25 apresenta o planejado para o alinhamento da tira T, previsto para o avanço 089.

Figura 25: Previsão de alinhamento da tira T086

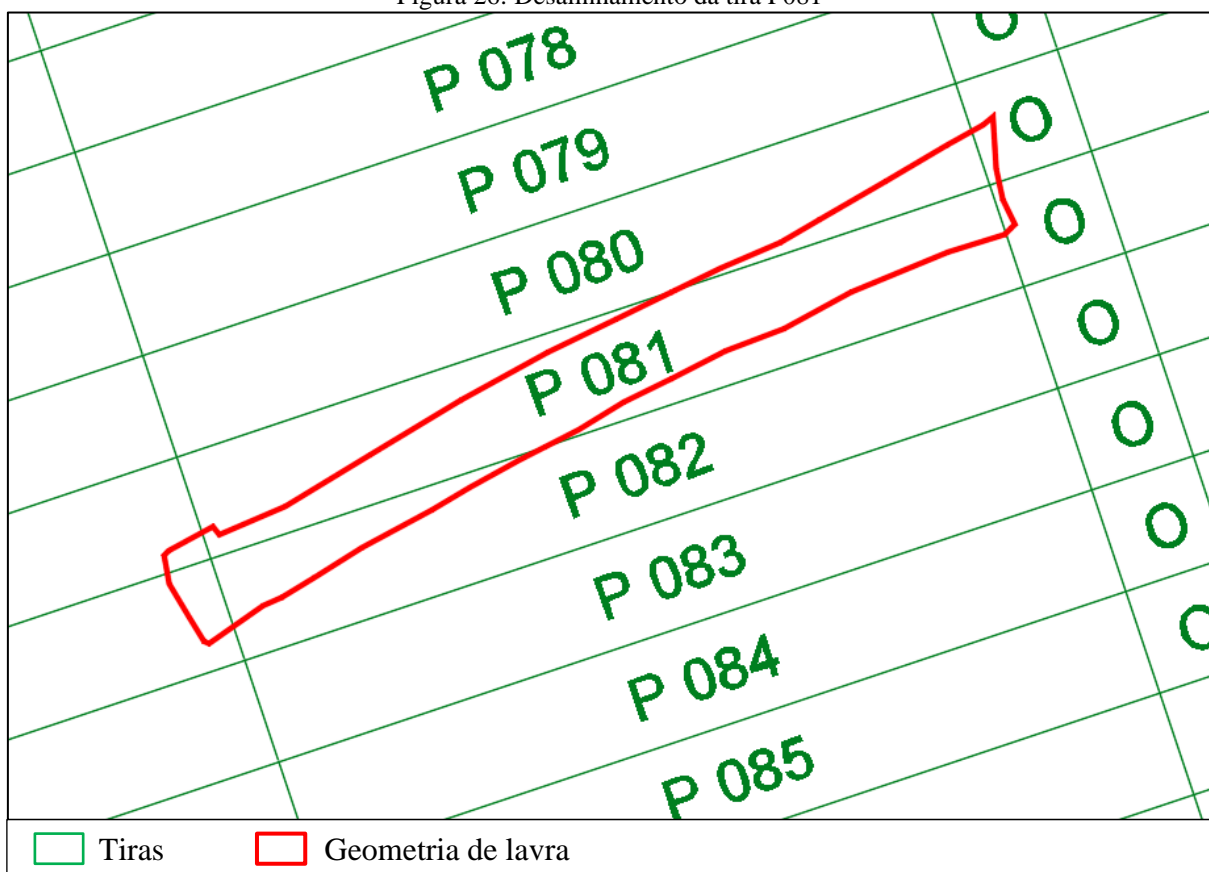


Fonte: Alcoa

4.2.3 Caso 3

A geometria da tira lavrada estava totalmente inclinada com relação à planejada, ou seja, nenhuma das extremidades estava alinhada. Na Figura 26, foi possível observar que a lavra da tira P estava planejada para o avanço 081. Entretanto, a lavra realizada estava presente nos avanços 080, 081 e 082.

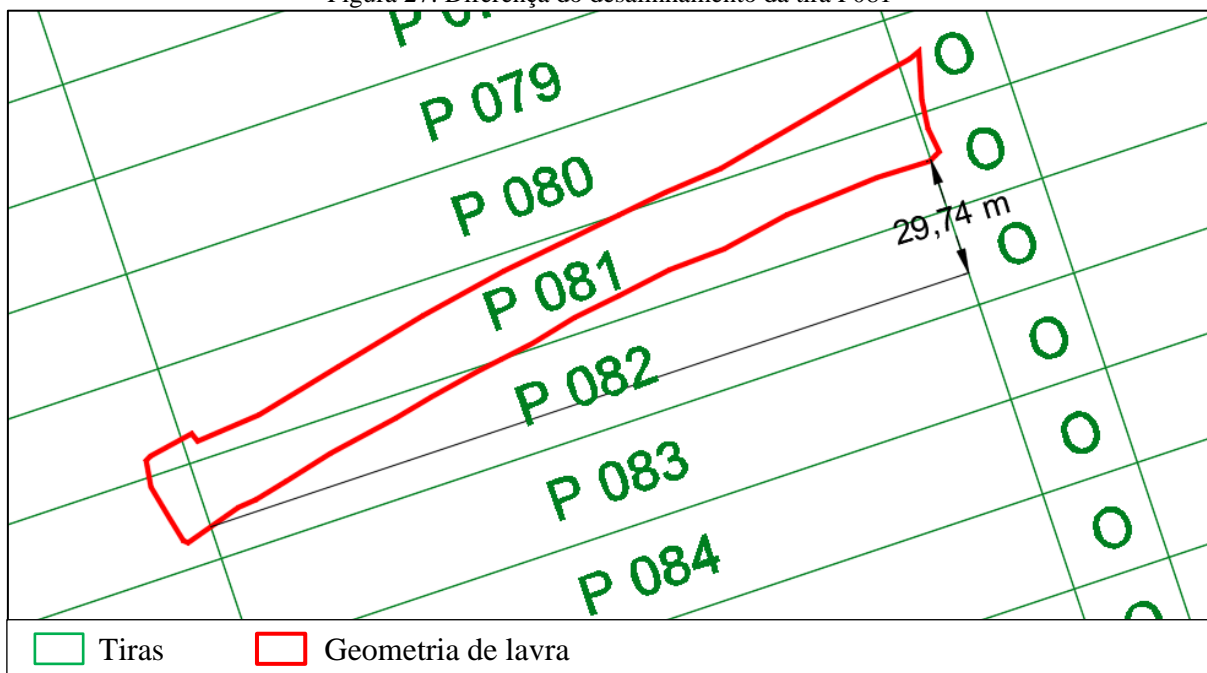
Figura 26: Desalinhamento da tira P081



Fonte: Alcoa

Para esse tipo de desalinhamento, primeiramente foi necessário corrigir apenas a inclinação da tira para depois corrigir o desalinhamento no avanço. Para a correção da inclinação, foi desenhada uma linha a partir da extremidade mais avançada da tira P (lado oeste) até a outra extremidade, no sentido perpendicular. A partir disso, foi medida a diferença entre a extremidade menos avançada (lado leste) e a nova linha traçada, como pode ser observado na Figura 27.

Figura 27: Diferença do desalinhamento da tira P081

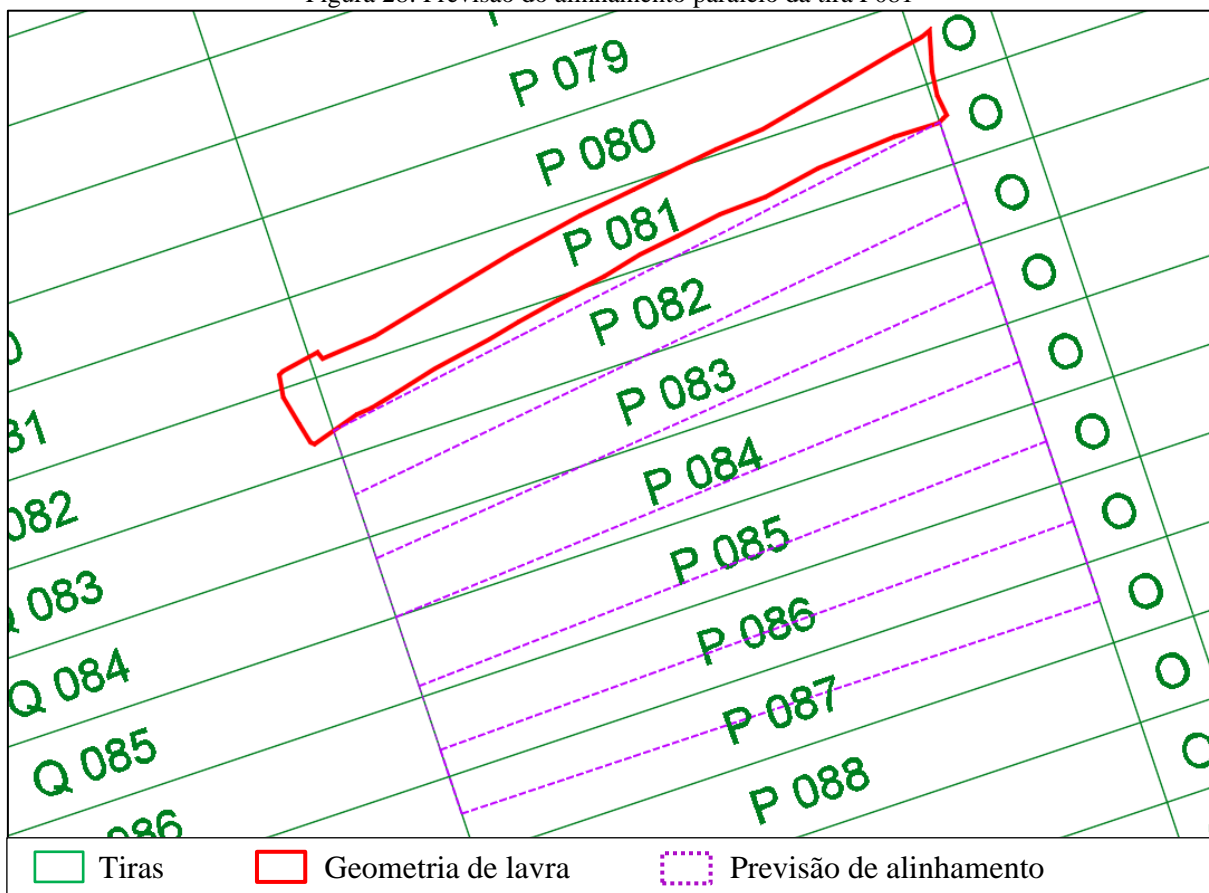


Fonte: Alcoa

Primeiramente, o intuito foi corrigir a inclinação para deixar a tira P aplicável ao caso 1. Assim, a linha desenhada foi a base para deixar as duas extremidades da tira paralelas ao avanço planejado. Nesse caso, a extremidade menos avançada foi decapeada com 25m e a mais avançada foi decapeada com uma medida menor. Para definir essa nova medida de decapeamento, foi levado em consideração o critério da Tabela 1: cada intervalo de 5 metros de diferença correspondeu à um avanço. Considerando essa metodologia, foram necessários 6 avanços para que as extremidades se tornassem paralelas. Logo, para o cálculo da dimensão de decapeamento da extremidade mais avançada, utilizou-se a Equação 5, onde foi calculado 20m. Considerando esses resultados, a Figura 28 apresenta a previsão para a correção da inclinação da tira P.

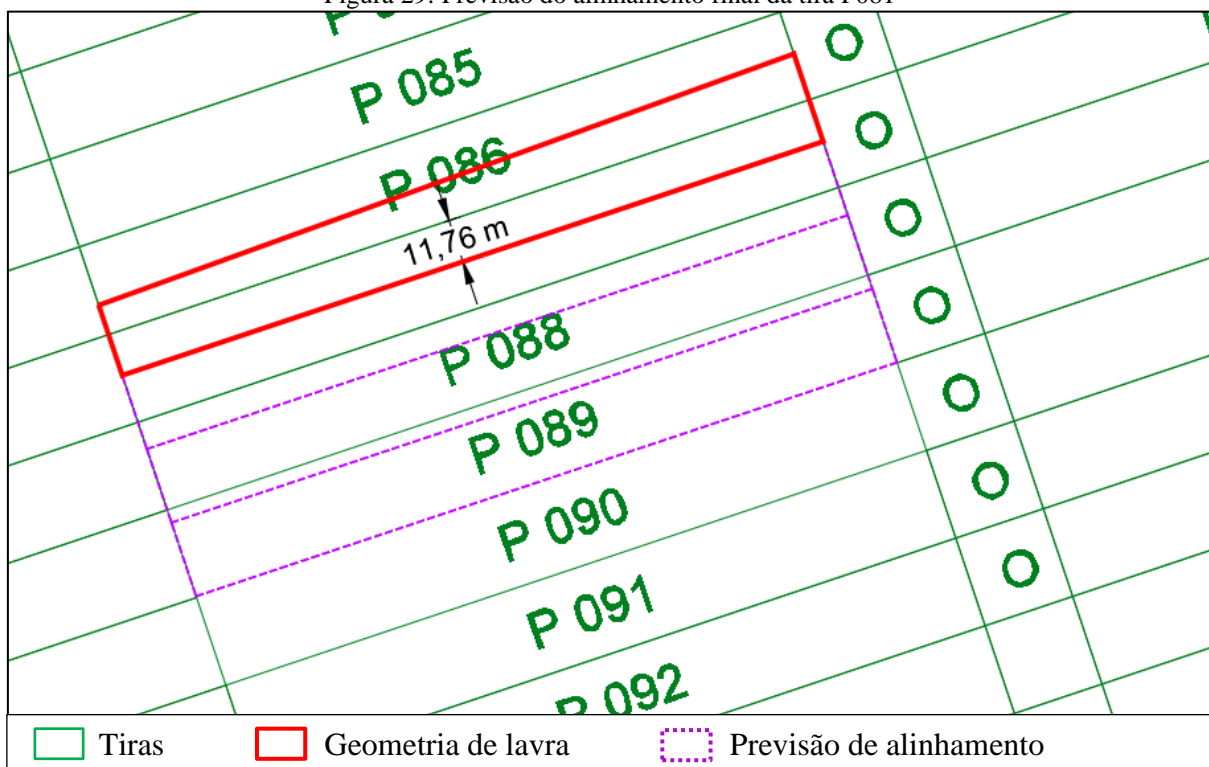
Depois de corrigida a inclinação, foi aplicada a metodologia do caso 1 para que o alinhamento da tira pudesse ser finalizado. Dessa forma, foram previstos 3 avanços de 21m, a partir do avanço 086. A Figura 29 ilustra a previsão de alinhamento da tira P, depois de aplicada a metodologia do caso 1.

Figura 28: Previsão do alinhamento paralelo da tira P081



Fonte: Alcoa

Figura 29: Previsão do alinhamento final da tira P081



Fonte: Alcoa

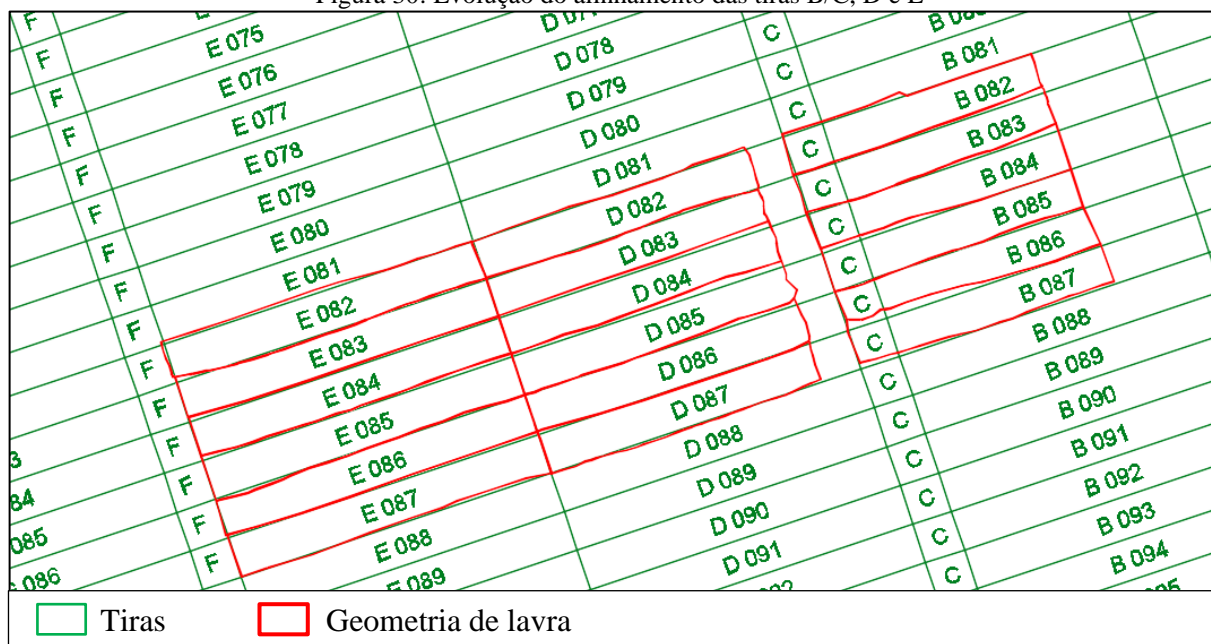
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 GEOMETRIA DA MINA

As figuras a seguir apresentam a geometria de lavra dos últimos avanços das tiras durante o processo de alinhamento. Observa-se que os resultados não foram obtidos com total precisão, entretanto, a lavra ficou mais regular com a geometria planejada.

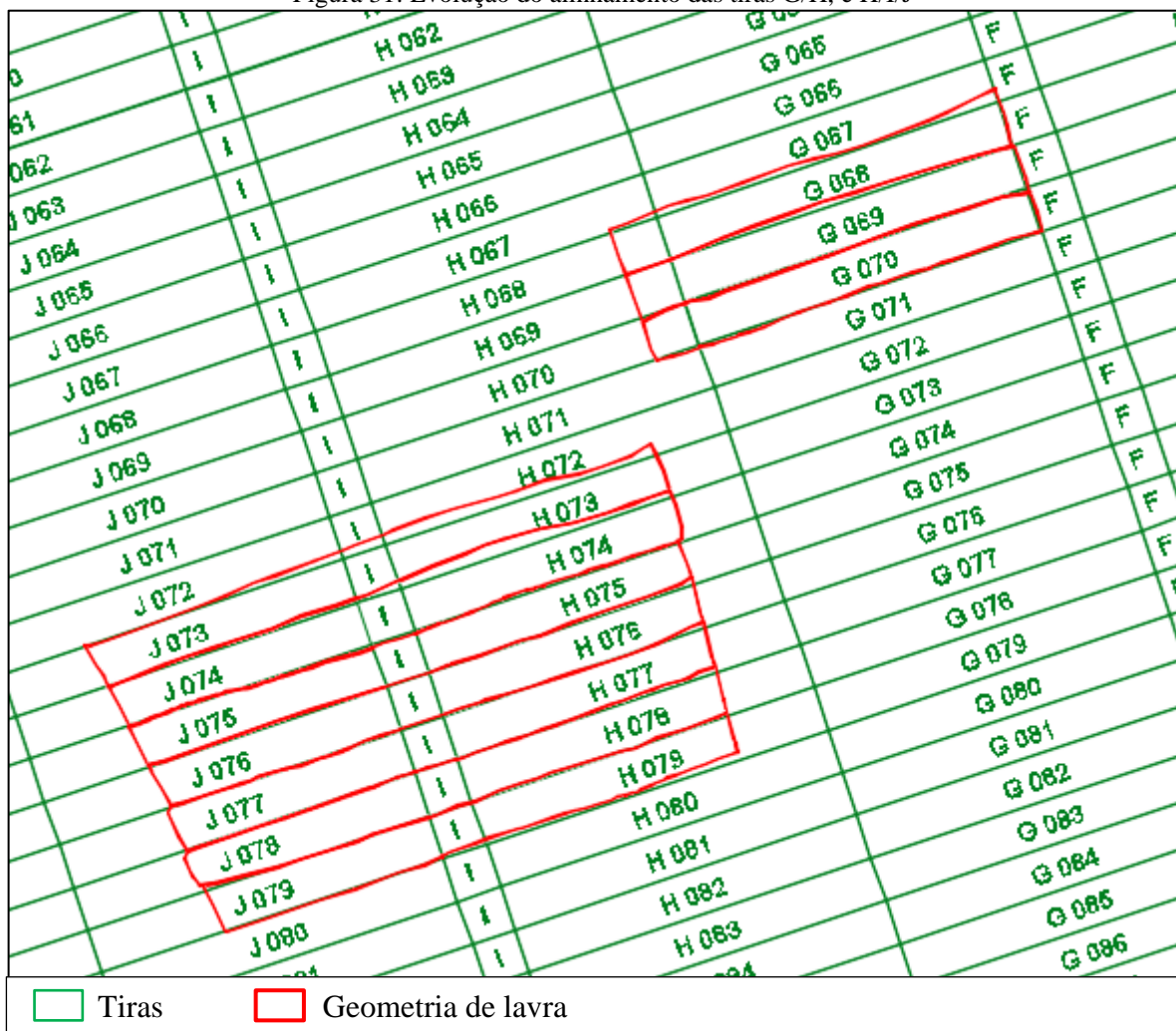
As tiras que se encontravam no caso 3 foram as mais complexas para a realização do trabalho. Com isso, foi possível notar que devido ao estado de desalinhamento dessas tiras que se encontravam inclinadas, foi demandado um período maior para a obtenção de resultados satisfatórios.

Figura 30: Evolução do alinhamento das tiras B/C, D e E



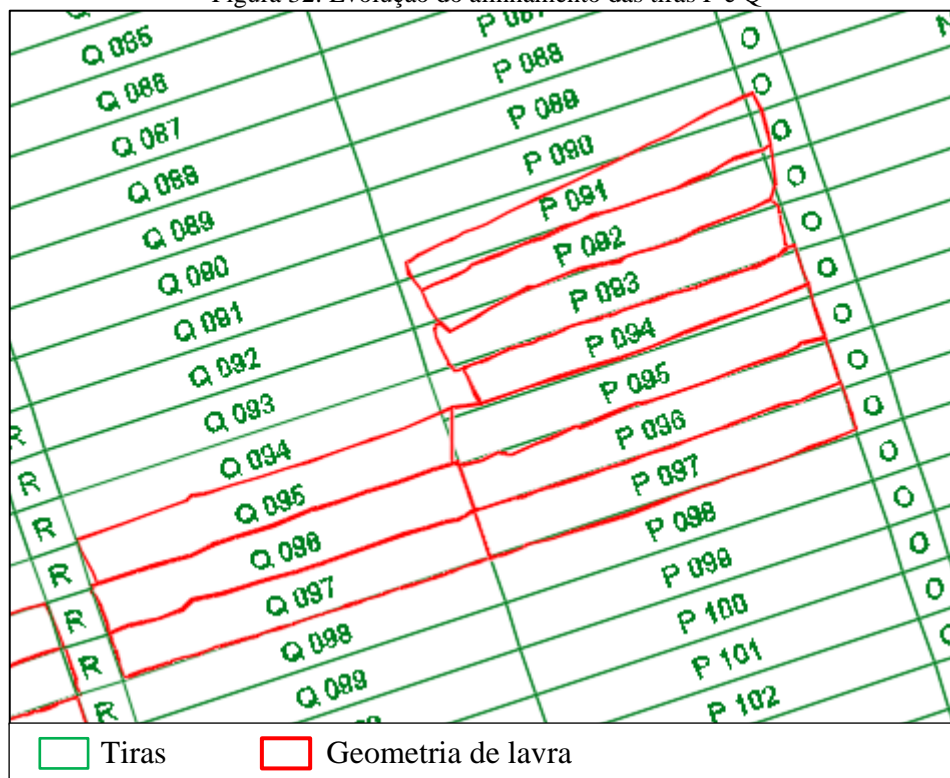
Fonte: Alcoa

Figura 31: Evolução do alinhamento das tiras G/H, e H/I/J



Fonte: Alcoa

Figura 32: Evolução do alinhamento das tiras P e Q



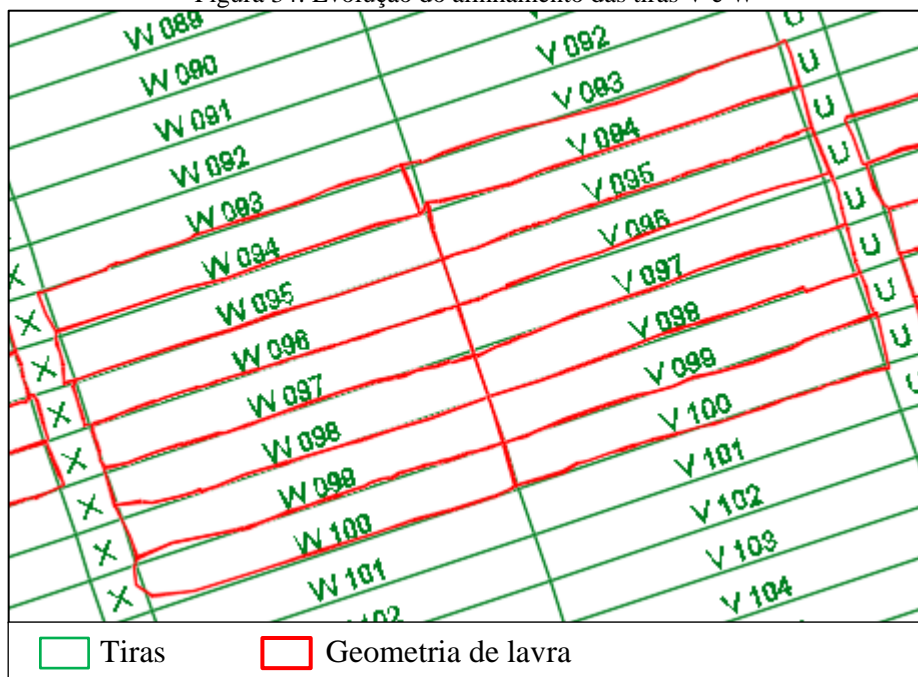
Fonte: Alcoa

Figura 33: Evolução do alinhamento das tiras S e T



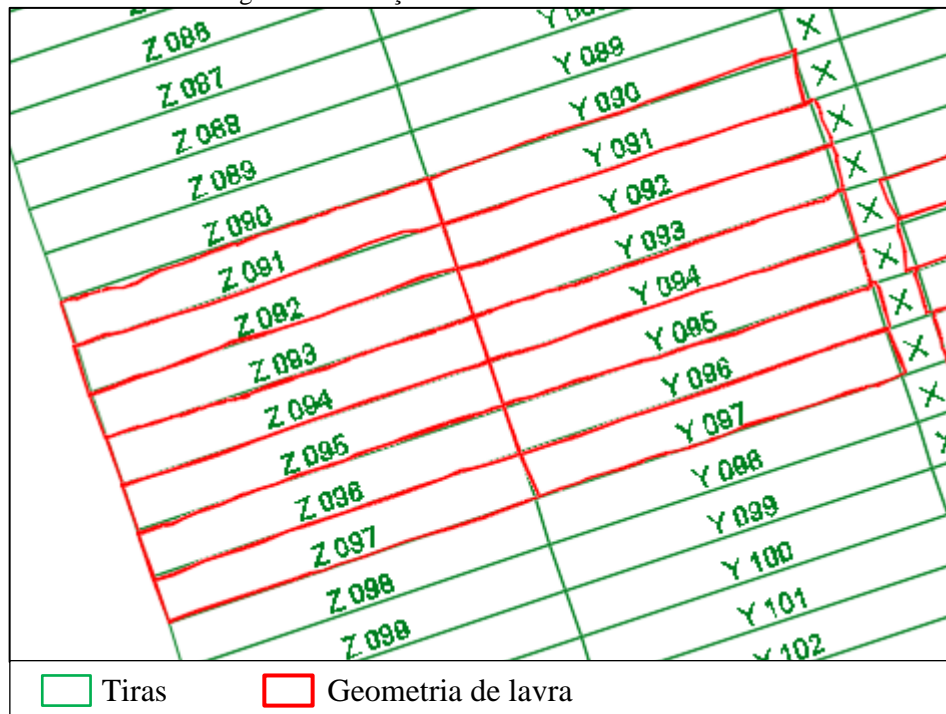
Fonte: Alcoa

Figura 34: Evolução do alinhamento das tiras V e W



Fonte: Alcoa

Figura 35: Evolução do alinhamento das tiras Y e Z

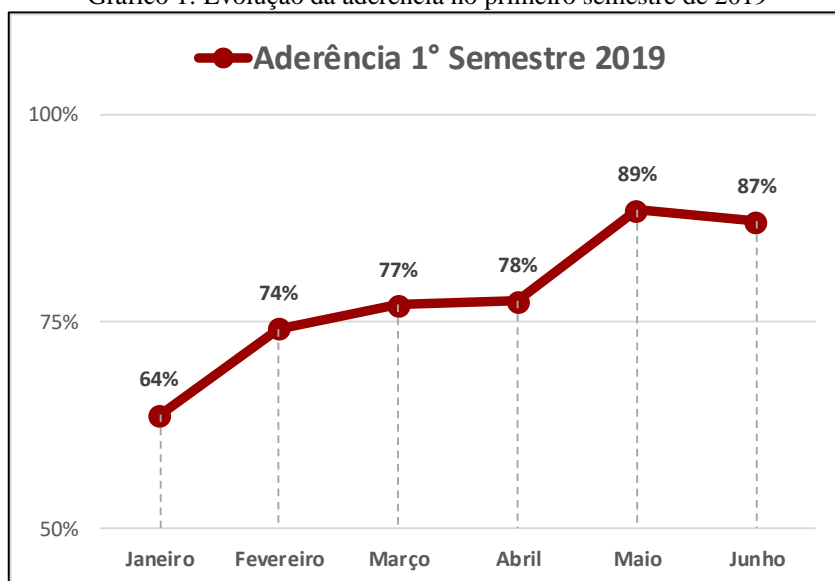


Fonte: Alcoa

5.2 ADERÊNCIA GEOMÉTRICA E ÍNDICE DE CUMPRIMENTO

Com o alinhamento das tiras, foi possível observar que a aderência geométrica e o índice de cumprimento obtiveram progresso no último semestre e conseqüentemente, o índice de efetividade de lavra. Os Gráficos 1, 2 e 3 mostram a evolução desses índices nos meses de janeiro a junho, os quais são relacionados ao plano mensal de lavra.

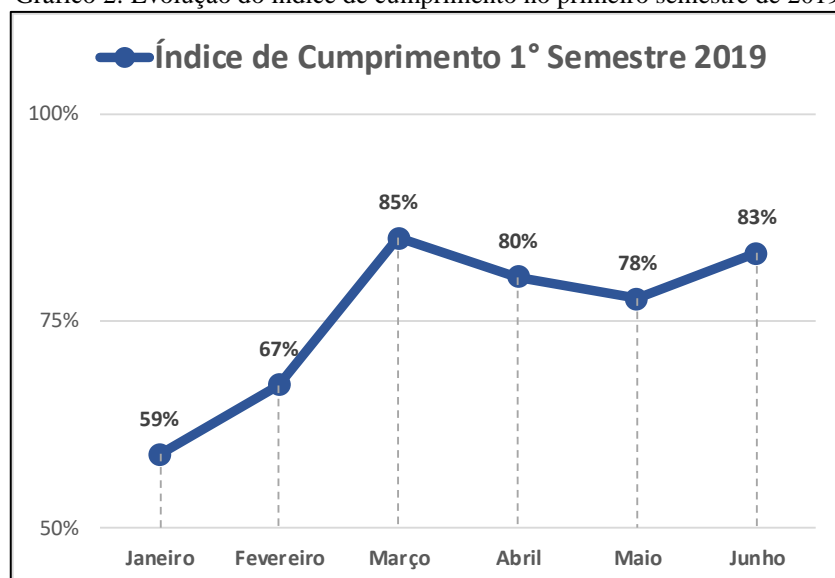
Gráfico 1: Evolução da aderência no primeiro semestre de 2019



Fonte: Alcoa

Observou-se que a aderência geométrica apresentou crescimento ao longo dos meses, manifestando crescimento aproximadamente linear entre os meses de março e abril e um pequeno declínio no mês de junho.

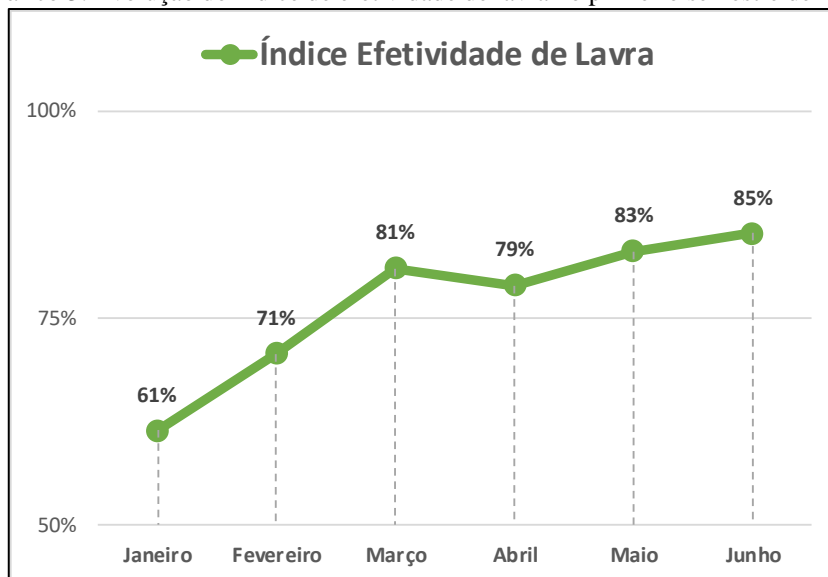
Gráfico 2: Evolução do índice de cumprimento no primeiro semestre de 2019



Fonte: Alcoa

Verificou-se que o índice de cumprimento demonstrou crescimento acentuado nos primeiros três meses e nos meses de abril e maio observou-se um pequeno declínio. Já no último mês esse indicador voltou a apresentar crescimento.

Gráfico 3: Evolução do índice de efetividade de lavra no primeiro semestre de 2019



Fonte: Elaborado pela autora

Para os valores do índice de efetividade de lavra notou-se crescimento ao longo dos meses, de modo que o crescimento nos três primeiros meses foi mais acentuado. Além disso, evidenciou-se uma pequena redução no mês de abril.

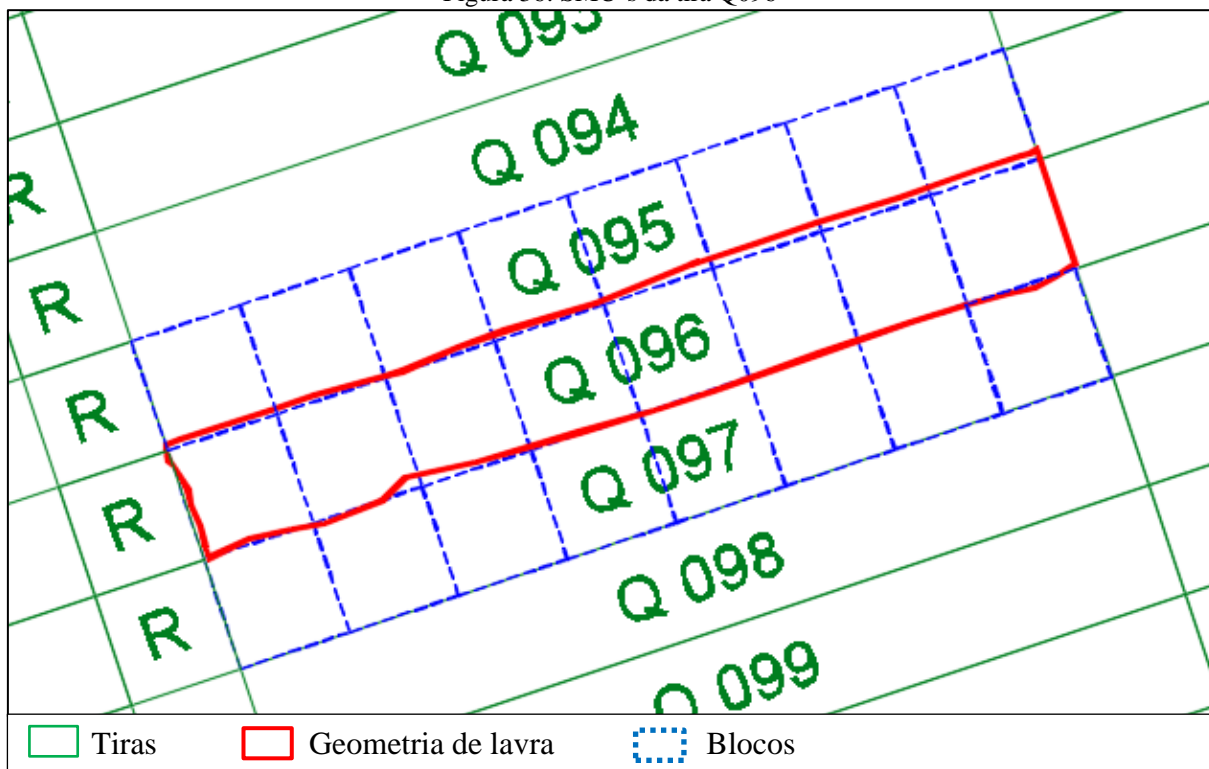
De modo geral, nota-se um crescimento com pequenas oscilações, que pode ser justificado pois a aderência geométrica e o índice de cumprimento ao plano de lavra não dependem apenas da geometria da mina. Existem outros fatores que contribuem para que esses índices disponham de bons percentuais, como por exemplo problemas operacionais que impedem que o plano seja totalmente cumprido.

5.3 RASTREABILIDADE

Com o alinhamento das tiras, foi possível elaborar os planos de lavra com maior previsibilidade das informações do teor, do volume de estéril e da massa de minério. Nesse sentido, a unidade seletiva de lavra, responsável por prever rigorosamente essas informações, pôde ser utilizada para a tira correta, uma vez que o avanço da lavra obedece mais precisamente as tiras planejadas e não abrange geometricamente grande parte de outros avanços.

A Figura 36 exemplifica isso, onde mostra o avanço 096 da tira Q. É possível notar que geometria de lavra desse avanço alcança pequenas partes dos blocos dos avanços anterior e seguinte. Entretanto, a maior parte da lavra se encontra no avanço 096 e assim, para o planejamento de lavra dessa tira foram utilizados os blocos do avanço 096.

Figura 36: SMU's da tira Q096



Fonte: Alcoa

6 CONCLUSÃO

Dado o exposto, observa-se que o decapeamento de lavra é uma etapa imprescindível para atingir o alinhamento das tiras. Com a definição das novas medidas de decapeamento, foi possível obter uma geometria de lavra mais próxima da geometria planejada. Verificou-se que não foi possível obter resultados com perfeita exatidão, entretanto, isso se deve a utilização de equipamentos de grande porte para essa etapa de decapeamento que impossibilita seguir as medidas de forma exata.

Por conseguinte, aponta-se que a aderência geométrica e o índice de cumprimento dependem consideravelmente da geometria da mina. Uma vez que as geometrias das tiras planejada e lavrada não coincidiam, o controle de efetividade de lavra tornava-se incerto. Felizmente, observou-se um crescimento considerável nos valores desses índices de desempenho de lavra durante o trabalho de alinhamento. Logo, compreende-se que o alinhamento das tiras permite um controle de efetividade de lavra mais confiável.

Paralelamente, a rastreabilidade dos valores de teor, massa de minério e volume de estéril também necessitam demasiadamente de uma geometria alinhada, pois percebe-se que os blocos das tiras se tornam difíceis de ser identificados devido o avanço de lavra abranger mais de uma tira. Assim, os planos de lavra elaborados possuem valores duvidosos quando as tiras não são lavradas na geometria correta. Nesse âmbito, infere-se que a confiabilidade dos planos de lavra melhorou, uma vez que possibilitou a distinção dos blocos das tiras com maior clareza.

Por fim, acredita-se que é necessário acompanhar periodicamente a geometria de lavra, uma vez que erros operacionais na medida de decapeamento em campo podem ocasionar um novo desalinhamento das tiras. Desse modo, sugere-se a realização de um novo trabalho de alinhamento das tiras sempre quando for percebido que a geometria da lavra não está seguindo a geometria planejada, pois assim o processo torna-se mais simples e demanda menos tempo para obtenção dos resultados.

REFERÊNCIAS

- ABAL. Associação Brasileira do Alumínio. *Bauxita no Brasil: mineração responsável e competitividade*. São Paulo: FSC, 04 de 2017.
- ABREU, G. F. *Estudo da produtividade de tratores D11T CD no método de lavra por tiras variando os ângulos do pit em uma mina de bauxita*. 2017. 54 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Minas) – Departamento de Engenharia de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto (MG), 2017.
- ALMEIDA, W. E. *Uma análise da importância do plano de aproveitamento econômico no processo de tomada de decisão na mineração*. 2017. 118 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mineral) – Programa de Pós-Graduação do Departamento de Engenharia de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto (MG), 2017.
- AMARAL, M. *Modelos matemáticos e heurísticas para auxílio ao planejamento de operações de lavra em minas à céu aberto*. 2008. 108 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Programa de Pós-Graduação do Departamento de Engenharia de Produção, Universidade Federal de Minas Gerais, 2017.
- ARAÚJO, C. B. *Contribuição ao estudo do comportamento de barragens de rejeito de mineração de ferro*. 2006. 136 f. Dissertação (Mestrado em Ciências em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação de Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro (RJ), 2006.
- BETTENCOURT, J. S.; MORESCHI, J. B. Recursos Minerais. In: TEIXEIRA, W. et al. *Decifrando a Terra*. São Paulo: Oficina de Textos, 2003. p. 446-470.
- CÂMARA, T. R. *Sistematização do cálculo de diluição de perdas operacionais para reconciliação de teores e massas em lavra a céu aberto*. 2013. 88 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas Metalúrgica e de Materiais, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre (RS), 2013.
- CAMPELO, A. C. M. M. *Estimativa de indicadores de desempenho da lavra para integração entre sistema de despacho e programação diária*. 2018. 103 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Programa de Pós-Graduação da Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo (SP), 2018.
- CAMPOS, V. M. *Estudo comparativo sobre a operacionalização da lavra em tiras para um depósito hipotético de carvão mineral*. 2018. 68 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Minas) – Departamento de Engenharia de Minas, Universidade Federal de Minas Gerais, 2017.
- CARVALHO, A. et al. *Brazilian Bauxites*. São Paulo: FAPESP, 1997. 331 p.
- CARVALHO, A. *As Bauxitas no Brasil*. São Paulo: USP, 1989. 130 p.
- CURI, A. *Minas a céu aberto: planejamento de lavra*. São Paulo: Oficina de Textos, 2014. 376 p.

- DAGDELEN, K. *Open Pit Optimization - Strategies for Improving Economics of Mining Projects Through Mine Planning*. In: INTERNATIONAL MINING CONGRESS AND EXHIBITION OF TURKEY, 17., 2001, Ankara. *Anais...* Ankara: [s.n.], 2001. p. 117-121.
- DARLING, P. *Mining Engineering Handbook*. 3 ed. United States: Society for Mining, Metallurgy and Exploration, 2011.
- DNPM. Departamento Nacional de Produção Mineral. *NRM 17: Topografia de Minas*. [s.l.]: 2001.
- DNPM. Departamento Nacional de Produção Mineral. Plano Diretor de Mineração para a Região Metropolitana de Curitiba. In: DNPM. *Planejamento na Mineração*. Curitiba: MINEROPAR, 2004. p. 135-184.
- DUTRA, R. *Mineração - Atividades e Responsabilidades*. Disponível em: <http://www.apemi.eng.br/mineracao-atividades-e-responsabilidades.pdf>. Acesso em: 27 set. 2019.
- FERREIRA, L. A. *Excavação e Exploração de Minas a Céu Aberto*. 2013. 118 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia, Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora (RJ), 2013.
- GIRODO, A. C. *Projeto APA Sul RMBH - Estudos do Meio Físico: Mineração*. Vol. 2. Belo Horizonte: CPRM, 2005. 169 p.
- HARTMAN, H. L. *Introductory Mining Engineering*. Tuscaloosa: John Wiley & Son, 1987. 591 p.
- HARTMAN, H. L.; MUTMANSKY, J. M. *Introductory Mining Engineering*. 2 ed. New Jersey: John Wiley & Son, 2002. 592 p.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Vocabulário básico de recursos naturais e meio ambiente*. 2 ed. Rio de Janeiro: [s.n.], 2002. 289 p.
- KLEIN, C.; DUTROW, B. *Manual de Ciências dos Minerais*. 23 ed. Porto Alegre: Bookman, 2012. 724 p.
- KUZVART, M.; BOHMER, M. *Prospecting and Exploration of Mineral Deposits*. 2 ed. Czechoslovakia: Elsevier, 1986. 508 p.
- LUZ, A. B.; SAMPAIO, J. A.; FRANÇA, S. C. *Tratamento de Minérios*. 5 ed. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2010. 963 p.
- MADUREIRA, J. B.; ATENCIO, D.; McREATCH, I. Minerais e Rochas: constituintes da terra sólida. In: TEIXEIRA, W. et al. *Decifrando a Terra*. São Paulo: Oficina de Textos, 2003. p. 29-42.
- MÁRTIRES, R. A. C. *Alumínio*. Disponível em: <http://www.dnpm.gov.br/dnpm/publicacoes/serie-estatisticas-e-economia-mineral/outras-publicacoes-1/4-1-aluminio>. Acesso em: 30 set. 2019.
- MCCARTER, M. K. et al. *Open Cast (Strip) Mining*. Disponível em: https://minersmansion.weebly.com/uploads/2/4/8/5/24858079/strip_mining_2.pdf. Acesso em: 05 ago. 2019.

MEYER, F. M. Availability of Bauxite Reserves. *Natural Resources Research*, [s.l.], v.13, n.3, p.161-172, abr./jul. 2004.

NETO, J. C. *Topografia de Mina*. Disponível em: https://www.seduc.ce.gov.br/wp-content/uploads/sites/37/2012/06/mineracao_topografia_de_mina.pdf. Acesso em: 06 ago. 2019.

NETO, M. T. O. C.; ROCHA, A. M. R. *Noções de Prospecção e Pesquisa Mineral para Técnicos de Geologia e Mineração*. Natal: IFRN, 2010. 267 p.

OMNIA MINÉRIOS. *Plano Integado de Aproveitamento Econômico*. Projeto Juruti. 2005.

PEIXOTO, A.; FERREIRA, D.; MATTOS, I. *Catálogo de minerais do laboratório de mineralogia*. Disponível em: <https://geologia.ufc.br/wp-content/uploads/2017/05/catalogo-mineralogia.pdf>. Acesso em: 05 ago. 2019.

QUEVEDO, J. M. G. *Modelo de simulação para o sistema de carregamento e transporte em mina a céu aberto*. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Programa de Pós-Graduação do Departamento de Engenharia Industrial, Pontifícia Universidade Católica, Rio de Janeiro (RJ), 2009.

RICARDO, H. S.; CATALANI, G. *Manual Prático de Escavação: terraplenagem e escavação de rocha*. 3 ed. São Paulo: Pini, 2007. 655 p.

RODOVALHO, E. C.; TOMI, G. *Relação entre aspéctos geométricos do método de lavra por tiras e a produtividade das operações de decapeamento*. Disponível em: <http://www.ibram.org.br/sites/1300/1382/00005672.pdf>. Acesso em: 06 ago. 2019.

SAMPAIO, J. A.; ANDRADE, M. C.; DUTRA, A. J. B. Bauxita. In: LUZ, A. B.; LINS, F. A. *F. Rochas e Minerais Industriais*. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2005. p. 279-304.

SZNELWAR, J. J.; DOMPIERI, M.; SCALABRIM, R. *Relatório Técnico 84*. Belo Horizonte: JMendo Consultoria, 2009.

THOMPSON, R. J. *Surface Strip Coal Mining Handbook*. Johannesburg: South African Collieri Managers Association, 2005. 496 p.

THORLEY, U. *Open Pit Mine Planning: Analysis and System Modeling of Conventional and Oil Sands Applications*. Thesis (Doctor of Philosophy) – Robert M. Buchan Department of Mining, Queen's University, Kingston (CAN), 2012.

TINOCO, C. P. *Caracterização Geomecânica de um Rejeito de Mineração de Bauxita ."* *Dissertação de Mestrado*. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo (SP), 2017.

VALER. Educação Vale. *Curso de Mineração - Básico*. Disponível em: http://portaldamineracao.com.br/wp-content/uploads/2017/07/apo_cbm_modulo_1.pdf. Acesso em: 07 ago. 2019.