



**UFOP**



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO

Universidade Federal de Ouro Preto

Escola de Minas – Departamento de Engenharia de Minas

Curso de Graduação em Engenharia de Minas

---



**Filipe Augusto Rodrigues Pereira**

**COMPARAÇÃO DOS VALORES DA MASSA LAVRADA FORNECIDA PELA  
TOPOGRAFIA COM OS REGISTROS DO SMARTMINE EM UMA MINA DE  
MINÉRIO DE FERRO**

Ouro Preto

2022

“Comparação dos valores da massa lavrada fornecida pela topografia com os registros do SmartMine em uma mina de minério de ferro”

Filipe Augusto Rodrigues Pereira

Trabalho Final de Curso apresentado como parte dos requisitos para obtenção do Grau de Engenheiro de Minas na Universidade Federal de Ouro Preto.

Data da aprovação: 24 de março de 2022

Área de concentração: Engenharia de Minas

Orientador: Prof. Dr. Ivo Eyer Cabral – UFOP

Ouro Preto

2022



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO  
REITORIA  
ESCOLA DE MINAS  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE MINAS



## FOLHA DE APROVAÇÃO

**Filipe Augusto Rodrigues Pereira**

**Comparação dos valores da massa lavrada fornecida pela topografia com os registros do SmartMine em uma mina de minério de ferro**

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro de Minas

Aprovada em 24 de março de 2022

Membros da banca

Dr. Ivo Eyer Cabral - Orientador(a) - Universidade Federal de Ouro Preto  
Dr. Hernani Mota de Lima - Universidade Federal de Ouro Preto  
Dr. Felipe Ribeiro Souza - Universidade Federal de Ouro Preto

Ivo Eyer Cabral, orientador do trabalho, aprovou a versão final e autorizou seu depósito na Biblioteca Digital de Trabalhos de Conclusão de Curso da UFOP em 31/03/2022

---

Documento assinado eletronicamente por **Ivo Eyer Cabral, PROFESSOR DE MAGISTERIO SUPERIOR**, em 31/03/2022, às 16:07, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do



[Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015.](#)



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site [http://sei.ufop.br/sei/controlador\\_externo.php?acao=documento\\_conferir&id\\_orgao\\_acesso\\_externo=0](http://sei.ufop.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0), informando o código verificador **0303615** e o código CRC **289A5E78**.

**Referência:** Caso responda este documento, indicar expressamente o Processo nº 23109.004031/2022-41

SEI nº 0303615

R. Diogo de Vasconcelos, 122, - Bairro Pilar Ouro Preto/MG, CEP 35400-000  
Telefone: 3135591590 - [www.ufop.br](http://www.ufop.br)

*"Faça o que puder, com o que tiver, onde estiver".*

*Theodore Roosevelt*

## **AGRADECIMENTO**

Primeiramente, à Deus, que sempre me conduziu e me abençoou durante toda esta jornada.

Também gostaria de agradecer e dedicar este trabalho à toda minha família e amigos, em especial à minha mãe Rosemére, ao meu pai Aroldo, ao meu irmão André Luiz e à minha namorada Ana Gabriela, por todo apoio, amor e companheirismo durante estes anos.

Ao meu orientador Prof. Dr. Ivo Eyer Cabral, pelo suporte durante o desenvolvimento do trabalho.

E, por fim, a todos os professores da Universidade Federal de Ouro Preto, em especial aos do Departamento de Engenharia de Minas, por todo aprendizado, experiências e inspiração.

## RESUMO

A indústria da mineração tem como objetivos principais a otimização de lucro e a redução de custos. Por tratar-se de um empreendimento que possui algumas incertezas e depende de um alto investimento, é fundamental que sejam elaborados planejamentos de lavra adequados para o alcance de metas. Assim, o seguinte trabalho busca comparar os dados da massa lavrada indicado por *softwares*, a fim de corrigir possíveis erros e encontrar soluções para otimizar o plano diário de mina e aumentar a precisão da qualidade das pilhas, de uma mina de ferro localizada no Quadrilátero Ferrífero. A metodologia baseou-se na comparação da massa lavrada por meio da topografia calculada no Deswik, seguida da coleta de dados referentes à massa lavrada fornecida pelo SmartMine, que permitiram a análise da compatibilidade dos dados do SmartMine com o lavrado pela topografia. Dessa forma, foram notadas diferenças significativas entre as massas lavradas. Essas diferenças influenciam a qualidade estimada do *blend* da pilha, refletindo na aderência entre a qualidade planejada e a qualidade realizada do produto final. Então, é fundamental a conferência da precisão dos métodos utilizados como sistema de registro em uma mina, pois afetam a eficiência do planejamento de lavra e, conseqüentemente, o lucro do empreendimento.

Palavras-chave: Planejamento de Lavra, Deswik, SmartMine, Topografia.

## **ABSTRACT**

The mining industry's main objectives are profit optimization and cost reduction. As this is an enterprise that has some uncertainties and depends on high investment, it's essential that adequate mining plans are prepared to achieve goals. Thus, the following work seeks to compare the mined mass data indicated by softwares, in order to correct possible errors and find solutions to optimize the daily mine plan and increase the precision of the quality of the piles, of an iron mine located in the Cuadrilátero Ferrífero. The methodology was based on the comparison of the plowed mass through topography in Deswik, followed by data collection related to the plowed mass in SmartMine, which allowed the analysis of the compatibility of SmartMine data with that mined by topography. Then, significant differences were noted between the plowed masses. These differences influence the estimated quality of the pile blend, reflecting on the adherence between the planned quality and the realized quality of the final product. Therefore, it's essential to check the accuracy of the methods used as a registration system in a mine, as they affect the efficiency of mine planning and, consequently, the profit of the enterprise.

Keywords: Mine Planning, Deswik, SmartMine, Topography.



## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> – Fluxograma representativo do funcionamento do sistema de despacho SmartMine.....	17
<b>Figura 2</b> – Localização geográfica do Quadrilátero Ferrífero. ....	18
<b>Figura 3</b> – Frentes de lavras avaliadas na Mina Norte.....	20
<b>Figura 4</b> – Frentes de lavras avaliadas na Mina Sul .....	20
<b>Figura 5</b> – Relatório de Produção por Origem/Destino com Subárea/Qualidade. .....	25
<b>Figura 6</b> - Lavrado pela Topografia x SmartMine, no período de 15/10 a 19/10. .....	28
<b>Figura 7</b> - Lavrado pela Topografia x SmartMine, no período de 19/10 e 20/10. .....	29
<b>Figura 8</b> - Lavrado pela Topografia x SmartMine, no período de 20/10 e 21/10. .....	30
<b>Figura 9</b> - Lavrado pela Topografia x SmartMine, no período de 21/10 e 22/10. .....	31
<b>Figura 10</b> - Lavrado pela Topografia x SmartMine, no período de 22/10 a 25/10. .....	32
<b>Figura 11</b> - Lavrado pela Topografia x SmartMine, no período de 25/10 e 26/10. .....	33
<b>Figura 12</b> - Lavrado pela Topografia x SmartMine, no período de 26/10 e 27/10. .....	34
<b>Figura 13</b> - Lavrado pela Topografia x SmartMine, no período de 27/10 a 29/10. .....	35
<b>Figura 14</b> - Lavrado pela Topografia x SmartMine, no período de 29/10 a 04/11. .....	36
<b>Figura 15</b> - Lavrado pela Topografia x SmartMine, no período de 04/11 a 08/11. .....	37

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b> – Massas lavradas por frente fornecidas via topografia no período de 15/10 a 26/10. ....	23
<b>Tabela 2</b> – Massas lavradas por frente fornecidas via topografia no período de 26/10 a 08/11. ....	24
<b>Tabela 3</b> – Massas lavradas por frente conforme registro do SmartMine no período de 15/10 a 26/10. ....	26
<b>Tabela 4</b> – Massas lavradas por frente conforme registro do SmartMine no período de 26/10 a 08/11. ....	27

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO .....	9
2	OBJETIVOS .....	11
2.1	Objetivo Geral.....	11
2.1.1	Objetivos Específicos.....	11
3	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	12
3.1	Planejamento de lavra .....	12
3.1.1	Planejamento de lavra de curto prazo.....	13
3.2	Softwares na mineração .....	14
3.2.1	Deswik.....	14
3.2.2	SmartMine.....	15
4	METODOLOGIA .....	18
4.1	Área de estudo .....	18
4.2	Cálculo da massa lavrada no Deswik.....	19
4.3	Coleta de dados da massa lavrada no SmartMine .....	21
4.4	Causas de erros previamente observadas .....	21
4.5	Comparação entre os dados da massa lavrada Deswik x Smartmine...22	
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES .....	23
5.1	Cálculo da massa lavrada no Deswik.....	23
5.2	Coleta de dados da massa lavrada no SmartMine .....	24
5.3	Comparação entre os dados da massa lavrada Deswik x Smartmine...28	
6	CONCLUSÃO .....	39
7	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	40

# 1 INTRODUÇÃO

A indústria da mineração tem como objetivos principais a otimização de lucro e a redução de custos. Por tratar-se de um empreendimento que possui algumas incertezas e depende de um alto investimento, é fundamental que sejam elaborados projetos e planos de mina, de maneira adequada e precisa, garantindo a maximização do lucro (CAMPOS, 2017).

Atrelado a isso, existe o planejamento de lavra, que visa o melhor aproveitamento dos recursos minerais disponíveis, otimizando a recuperação do bem mineral e o lucro, por meio dos planos de lavra (CAMPOS, 2017). O plano de lavra é uma programação das atividades da mina nas frentes de lavra capaz de informar sobre a produção a ser implementada. Com isso, o planejamento de lavra possibilita antecipar a ocorrência de problemas, para evitá-los no futuro ou para minimizar as suas consequências (BORGES, 2013).

O planejamento de lavra deve ser feito levando em consideração um determinado intervalo de tempo, que seja necessário para cumprir os processos envolvidos nos seus planos de longo, médio e curto prazo (CHIMUCO, 2010). O planejamento de curto prazo é aplicado para intervalos de tempo menores, para garantir as especificações do material lavrado, a liberação de minério e assegurar a meta de produção e relação estéril-minério para cada frente de lavra (XIMENES, 2018). Assim, o planejamento de curto prazo pode fornecer a alimentação correta à usina de beneficiamento, além de determinar os equipamentos de carga e transporte (COSTA, 2005).

Para auxiliar nas atividades de planejamento de lavra, existem diversos *softwares* que são utilizados a nível operacional e aplicados em tempo real, permitindo que o plano de lavra seja modificado com o intuito de ser cada vez mais lucrativo e assertivo (SILVA, 2014). Para o trabalho em questão serão abordados e utilizados dois *softwares*: o Deswik e o SmartMine.

O Deswik consiste em uma combinação de ferramentas e extensões, com funções distintas, mas que se complementam, desde geração de imagens e levantamentos topográficos até determinação de metas de qualidade/quantidade do material (DESWIK, 2021). Já o SmartMine é um sistema de despacho

dinâmico, que combina técnicas de otimização e simulação nos processos da mineração, para traçar as rotas dos diversos equipamentos da empresa, conforme especificações referentes ao ritmo de lavra (COSTA et al., 2010).

A partir da adoção desses *softwares* durante a elaboração de planos de mina diários e de longo prazo, referentes à uma mina de ferro, dividida em Mina Norte e Mina Sul, localizada no Quadrilátero Ferrífero, foram observadas diferenças entre os dados da massa lavrada fornecida pelo SmartMine e os dados da massa lavrada pela topografia no Deswik. Dessa forma, e sabendo da importância da realização de um planejamento de lavra adequado para o alcance de metas, o seguinte trabalho busca comparar os dados da massa lavrada indicado pelos *softwares*, a fim de corrigir possíveis erros e encontrar soluções para otimizar o plano diário de mina e aumentar a precisão da qualidade das pilhas.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo Geral**

O objetivo do presente trabalho é comparar os dados de massa lavrada registrados no sistema de despacho SmartMine com a massa lavrada fornecida pela topografia em uma mina de ferro, dividida em Mina Norte e Mina Sul, localizada no Quadrilátero Ferrífero.

#### **2.1.1 Objetivos Específicos**

- Coletar os dados de massa lavrada por meio da topografia no Deswik;
- Coletar os dados referentes à massa lavrada no SmartMine;
- Verificar a compatibilidade dos dados do SmartMine com o lavrado pela topografia;

### 3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

#### 3.1 Planejamento de lavra

A indústria da mineração tem como objetivo econômico maximizar a sua riqueza durante a vida útil da mina, visando o aproveitamento econômico de recursos naturais exauríveis e não renováveis, sendo necessários projetos de mina, que envolve o planejamento de lavra (CURI, 2014). O planejamento de lavra consiste na aplicação de técnicas para a tomada de decisão e adoção da melhor alternativa para a vida útil da mina, para alcançar, então, a melhor meta para o empreendimento mineiro (CHIMUCO, 2010).

Dessa forma, o planejamento de lavra busca o melhor aproveitamento dos recursos minerais disponíveis, otimizando a recuperação do bem mineral útil em função da maximização do lucro, por meio dos planos de lavra (CAMPOS, 2017). O plano de lavra é uma programação das atividades da mina nas frentes de lavra, ao longo de um determinado período, capaz de informar sobre a produção a ser implementada em cada uma dessas frentes. Ele ainda contribui para as atividades de planejamento e controle da produção, pois prevê as quantidades de minério e estéril lavradas, além de determinar a qualidade do ROM (*run-of-mine*) e monitorar as questões de segurança e manutenção da vida útil da mina por conta da interação estéril-minério adequada (BORGES, 2013).

Cada frente de lavra possui características distintas referentes à qualidade, como a percentagem de minério em determinada granulometria ou o teor de algum elemento químico. Sendo assim, cada frente contribui com uma quantidade, de forma que o produto final esteja de acordo com as exigências e especificações da planta de beneficiamento (COSTA et al., 2010).

Por tratar-se de uma prévia do cotidiano da mina, possibilita a identificação dos fatores que influenciam a qualidade do material, além da determinação do melhor aproveitamento dos equipamentos de desmonte, carga e transporte, e de um cronograma de geração/disposição de estéril de mina e rejeito de beneficiamento, proporcionando um melhor aproveitamento e a minimização do impacto ambiental. Com isso, o planejamento de lavra permite a identificação de possíveis problemas, possibilitando minimizar suas consequências ou evitá-los posteriormente (CHIMUCO, 2010). Assim, a fase de

planejamento possui as melhores oportunidades para minimizar os custos operacionais e de investimento de um projeto de mina (CURI, 2014).

### 3.1.1 Planejamento de lavra de curto prazo

A importância do planejamento de lavra está atrelada às etapas das operações de uma mina, englobando desde as pesquisas de viabilidade econômica até o encerramento das atividades minerárias. Os planos de lavra podem ser classificados em longo, médio e curto prazo, variando conforme o horizonte de tempo e seus objetivos (CHIMUCO, 2010).

O planejamento de curto prazo pode ser realizado em intervalos semanais, quinzenais ou mensais, com o objetivo de garantir as especificações do material lavrado, a liberação de minério e assegurar a meta de produção e relação estéril-minério. É responsável por determinar as frentes de minério e estéril que serão lavradas, além de identificar a massa lavrada de cada frente (XIMENES, 2018). Ao determinar o andamento de lavra de cada frente, o planejamento de curto prazo é capaz de fornecer a alimentação correta à usina de beneficiamento, além de determinar os equipamentos de carga e transporte (COSTA, 2005).

Assim, o planejamento de curto prazo visa a elaboração de planos de lavra para períodos menores, controle de pilhas de ROM e do produto, controle de qualidade do produto, programação das pilhas de ROM para atingir metas de qualidade do beneficiamento, programação da disposição de estéril no dia a dia, suporte à programação de embarques, estudos de acessos temporários, estudos estatísticos da qualidade da produção, atualização topográfica das minas, quantificação de estoques, atualização do banco de dados, dentre outras atividades (CHIMUCO, 2010).

Além disso, como o horizonte projetado é pequeno, deve-se atentar para possíveis problemas na execução do plano, pois influenciam diretamente as operações das plantas de beneficiamento e o cumprimento de prazos de entrega previstos em contratos, afetando o cumprimento dos requisitos de produção, de qualidade e de redução dos custos de operação da mina (AMARAL, 2008).



## 3.2 Softwares na mineração

Os *softwares* são utilizados diariamente na mineração, tornando-se ferramentas importantes e fundamentais que auxiliam no planejamento de lavra da mina e na execução das operações (SILVA, 2014). Os *softwares* possuem diversas funções, mas as principais, que contribuem na elaboração das atividades de planejamento são: a visualização tridimensional da mina, a construção do modelo de blocos, o gerenciamento de bancos de dados geológicos e históricos de produção, a estimativa da reserva mineral, o projeto de cava final ótima, além do sequenciamento da produção (AMARAL, 2008).

### 3.2.1 Deswik

A Deswik é uma empresa de tecnologia e consultoria multinacional que oferece soluções eficientes em todos os setores da mineração – Lavra a Céu Aberto e Subterrânea de carvão e de metais. Responsável por desenvolver *softwares* voltados para a mineração, atende diferentes setores (lavra a céu aberto ou subterrânea) e funções de planejamento (*operational geology*, projeto, sequenciamento, perfuração e desmonte, levantamentos). Além disso, o pacote de *software* possui diversas ferramentas e extensões, onde as principais são o Deswik.CAD, Deswik.Sched, Deswik.IS e Deswik.Blend (DESWIK, 2021).

O Deswik.CAD conta com um mecanismo de geração de imagens desenvolvido para processar grandes volumes de dados, por meio da união de ferramentas do estilo GIS aos dados de mina 3D, e executar comandos booleanos. Além disso, permite a realização de cálculos de planilhas para análise e geração de informações. O Deswik.Sched propõe uma interface para o gráfico de Gantt, com funcionalidade de lavra incorporada, projetada para grandes volumes de dados. Com isso, integra atividades produtivas, auxiliares e de projeto, por meio do sequenciamento baseado nas taxas ou duração de lavra (DESWIK, 2021).

O Deswik.IS consiste na integração direta do ambiente de projeto em 3D do Deswik.CAD com o Deswik.Sched. Utilizado para definir processos de lavra complexos através de atividades derivadas, tais como perfuração e desmonte ou passes de reprocessamento da dragline, para ajustar a rota dos recursos de

maneira gráfica para obter maior controle sobre o sequenciamento de equipamentos, além de atualizar os planos de lavra e atividades do sequenciamento com dados de levantamentos. Com isso, a junção de projetos facilita o planejamento de diferentes áreas de lavra ou a criação de cronogramas para integração de todo o projeto (DESWIK, 2021).

Por fim, o Deswik.Blend, utilizado para otimizar o valor do produto a partir da modelagem de fluxo de materiais tanto para carvão, como para metais. Por essa extensão, é possível realizar a tomada de decisão sobre quando extrair e qual o destino do material depois de minerado, além de elaborar planos considerando restrições de mineração, capacidade e blendagem para alcançar as metas de produtos em cada período. Assim, também possibilita determinar metas de quantidade e qualidade/teor com taxas de fluxo, movimentação da pilha de produto e transformação de materiais, agregando economia aos fluxos ao modelar a mineração, processamento, transporte, custos de venda e receitas (DESWIK, 2021).

### 3.2.2 SmartMine

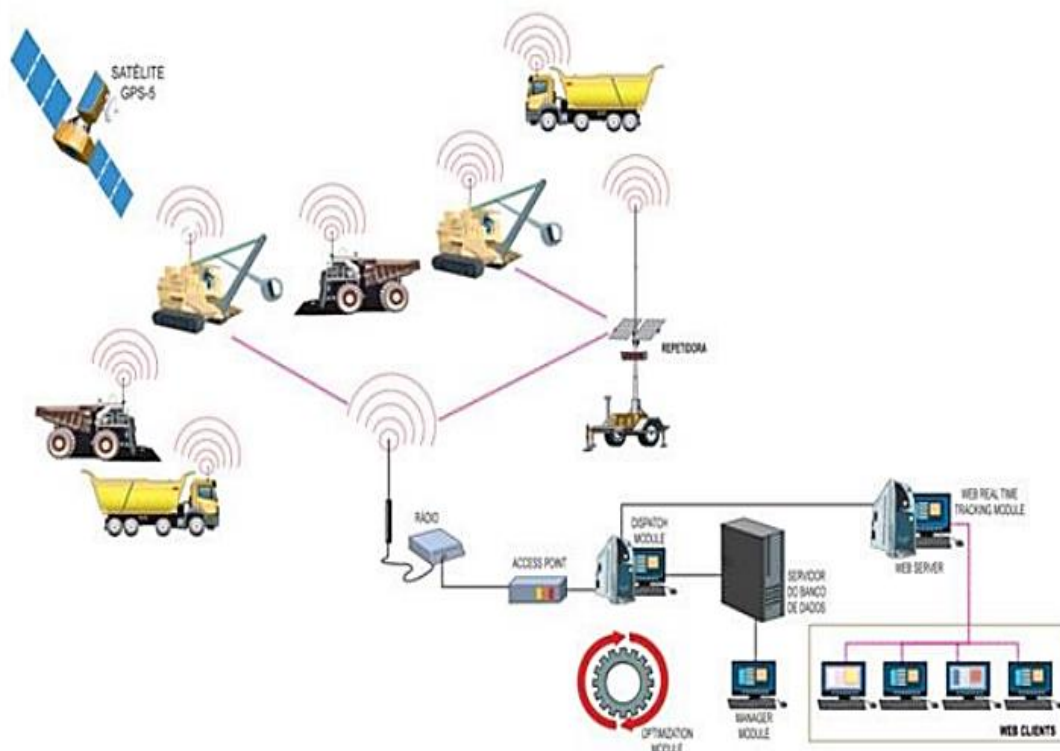
Como dito anteriormente, o principal objetivo do planejamento de lavra é a determinação do ritmo de lavra implementado em cada frente, concedendo uma alimentação adequada e correta à usina de beneficiamento. A partir daí, as empresas de mineração utilizam sistemas de roteirização para traçar as rotas dos diversos equipamentos da empresa, conforme especificações referentes ao ritmo de lavra (COSTA et al., 2010). Para que os caminhões sejam alocados de maneira adequada, cumprindo os critérios de lavra, as empresas de mineração adotam sistemas de despacho, podendo ele ser estático ou dinâmico (COSTA, 2005).

Um sistema de despacho possui diversos benefícios, tais como: a redução de custos de operação da mina; a garantia da produção de minério de acordo com as especificações; melhoria da aderência de lavra (planejada x realizada), e, por fim, o controle e otimização da operação de mina em tempo real (TEIXEIRA et al., 2019).

O SmartMine é um *software* de gerenciamento de mina em tempo real e é considerado um sistema de despacho dinâmico. O sistema consiste em uma solução integrada em *software* e *hardware*, e baseia-se em técnicas de simulação orientada a eventos e métodos estocásticos de otimização (TEIXEIRA, 2005). Desenvolvido pela empresa DEVEX, o SmartMine garante que todos os acontecimentos na mina, desde troca de estados operacionais dos equipamentos, tempos de ciclo, até carregamentos e filas, sejam entregues e armazenados em um banco de dados com o registro de tempo preciso. Por meio de simulações, o *software* determina as melhores decisões para a alocação dos equipamentos, de acordo com a produtividade e a qualidade (PEREIRA, 2016).

O *software* faz o gerenciamento das viagens dos equipamentos e também dos carregadores das correias na mina, registrando a origem e o destinos dos materiais carregados, além das massas. A coleta é feita como mostrado na **(Figura 1)**. Através de sinal de rádio e GPS as informações são coletadas por um ponto de acesso e registrados em um servidor do banco de dados, onde são feitas as consultas das informações sobre as movimentações da mina. A sala de controle das operações da mina realiza a comunicação com os operadores dos equipamentos caso haja necessidade de trocar a frente de lavra a ser lavrada devido a inúmeros fatores, além de monitorar se os registros do Smartmine estão alinhados com as operações em andamento.

**Figura 1** – Fluxograma representativo do funcionamento do sistema de despacho SmartMine.



Fonte: DEVEX, 2012.

O SmartMine utiliza técnicas de otimização e simulação nos processos para atingir o objetivo principal da indústria da mineração, o aumento do lucro e a redução de custos. Com isso, o *software* possui diferentes vantagens, tais como a redução de atrasos, o estabelecimento de caminhos mais adequados, a utilização do menor número possível de equipamentos, a economia de combustível, o atendimento aos critérios de qualidade do minério, eliminação de filas e, conseqüentemente, melhoria do resultado global das operações da mina (PEREIRA, 2016).

## 4 METODOLOGIA

### 4.1 Área de estudo

A área de estudo do presente trabalho consiste em uma mina de ferro, dividida em Mina Norte e Mina Sul, localizada no Quadrilátero Ferrífero. O Quadrilátero Ferrífero, uma das principais províncias minerais existentes, ocupa uma área de aproximadamente 7.000 km<sup>2</sup> na região centro-sudeste do Estado de Minas Gerais (**Figura 2**). A região é internacionalmente reconhecida como um importante terreno pré-cambriano com significativos recursos minerais, em especial ouro e ferro.

**Figura 2** – Localização geográfica do Quadrilátero Ferrífero.



Fonte: RUCHKYS, 2015.

Desde a descoberta do ouro no final do século XVII até os dias atuais, a região do Quadrilátero Ferrífero possui a maior concentração urbana do Estado de Minas Gerais, correspondendo em torno de 22% da população. É composto por 34 municípios, incluindo a capital mineira, Belo Horizonte, além de ser o limite ocidental da Mata Atlântica no centro de Minas Gerais (QFe – UFOP, 2021).

Com isso, a região tem grande importância socioeconômica, onde sua produção chega a atingir 26,8% do PIB de Minas Gerais, ressaltando, ainda mais, a importância da mineração como uma das principais atividades industriais

do estado. Além disso, o Quadrilátero Ferrífero é a região que mais se destaca com relação às jazidas de ferro do país (QFe – UFOP, 2021).

Devido aos altos teores de ferro em seus minérios, as reservas brasileiras se destacam mundialmente, fazendo do Brasil o segundo maior produtor mundial. Em 2020, a sua produção correspondeu a 19% do que foi produzido no mundo sendo que cerca de 70% veio das minas do Quadrilátero Ferrífero (IBRAM, 2009).

#### **4.2 Cálculo da massa lavrada no Deswik**

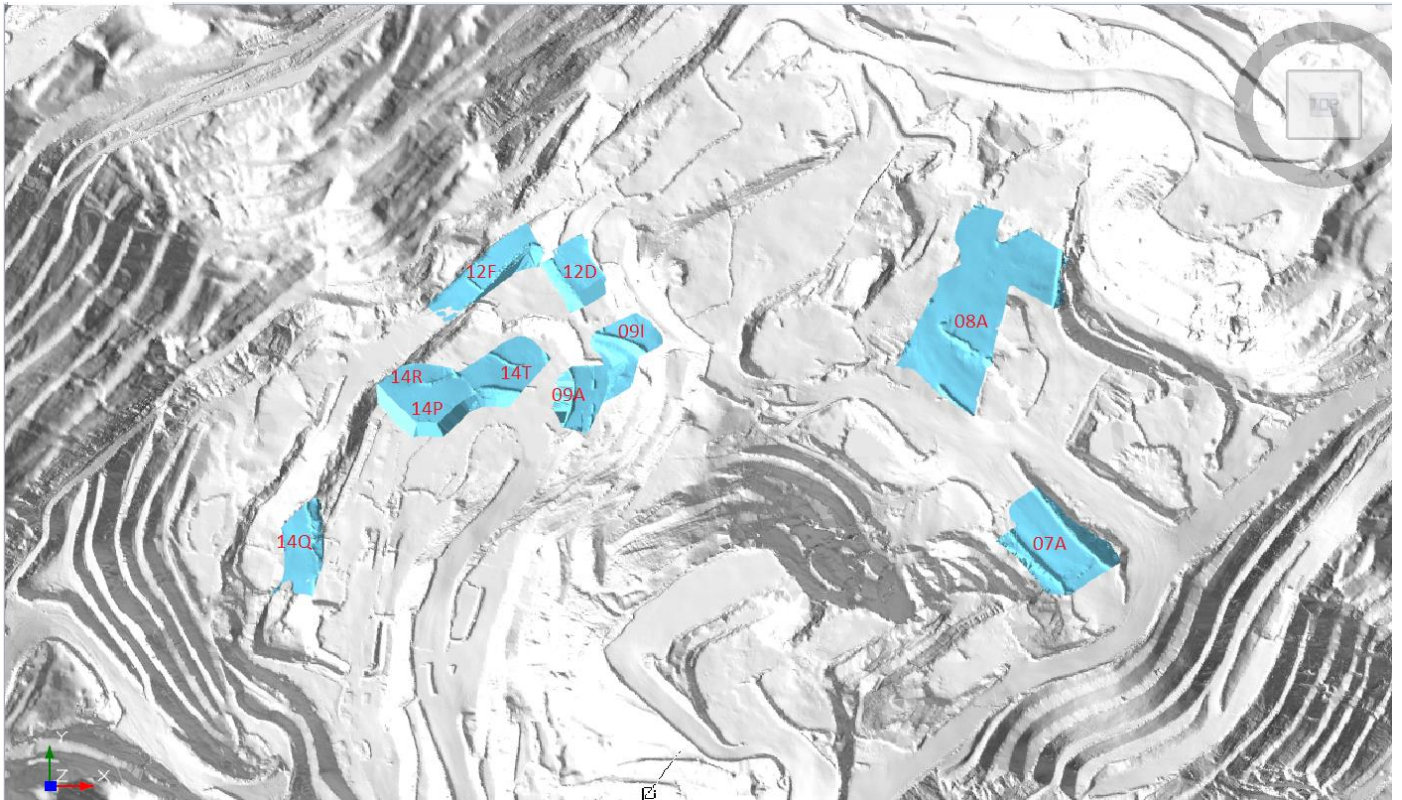
O processo se inicia com a realização do levantamento topográfico da mina, que é realizado utilizando equipamento a laser acoplado a uma caminhonete que circula pela mina coletando uma nuvem de pontos. Após a coleta dos pontos, é realizado o tratamento dos dados para obtenção da topografia da mina. Os pontos são coletados no período de 6 horas e 30 minutos às 7 horas para a Mina Norte e no período de 9 horas e 30 minutos às 10 horas para a Mina Sul.

Após este processo, utilizando o *software* Deswik, calculou-se a massa lavrada nas frentes de lavra através da diferença topográfica. O método utilizado para encontrar os valores de massa em toneladas foi a operação booleana “*keep rest above*”, que fornece o volume movimentado na cava no intervalo topográfico, que, posteriormente, é multiplicado pela densidade média de cada sólido, obtendo-se, assim, a massa em toneladas.

Este processo foi realizado no período entre 15 de outubro de 2021 e 08 de novembro de 2021, nos dias onde ocorreram levantamento topográfico da cava. Na Mina Norte foram avaliadas as lavras nas frentes expostas na **Figura 3**, enquanto na Mina Sul foram avaliadas as lavras nas frentes expostas na **Figura 4**.

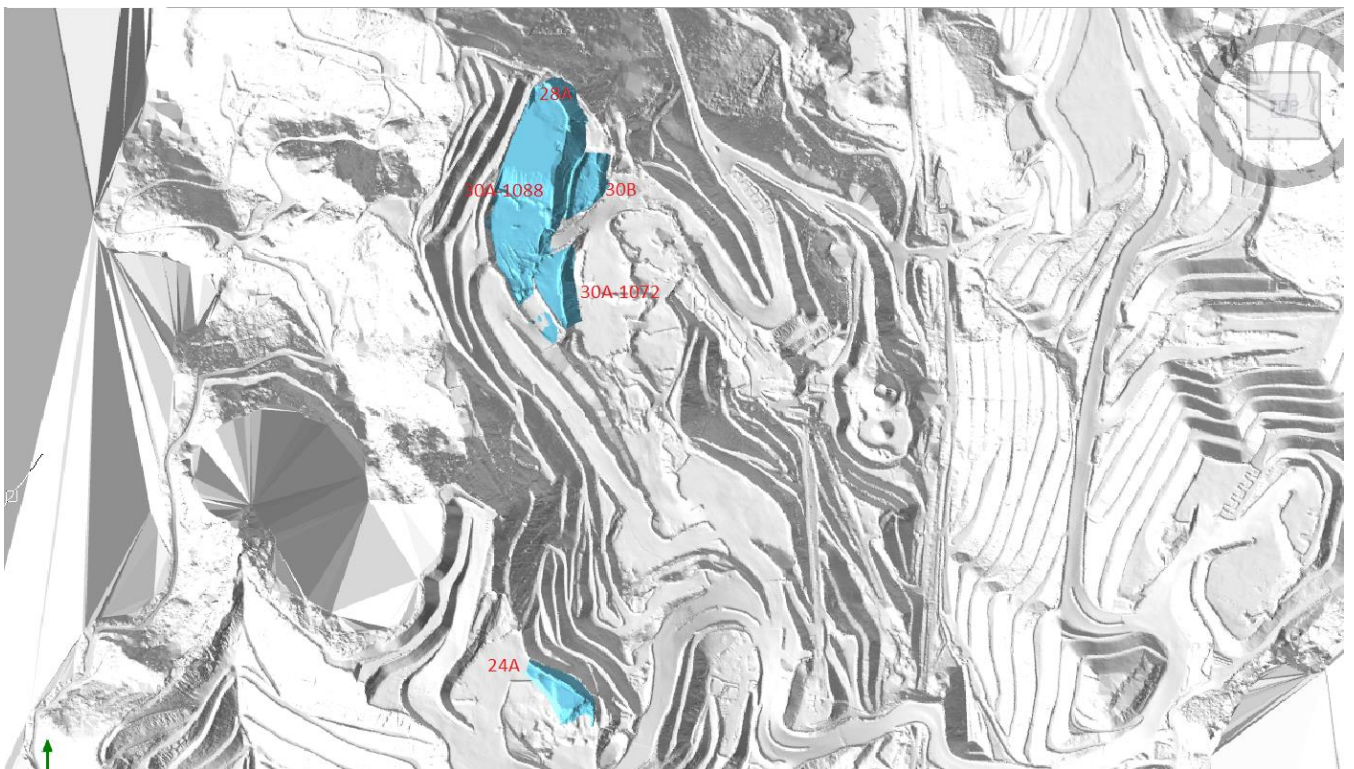


**Figura 3 – Frentes de lavras avaliadas na Mina Norte.**



Fonte: Deswik, 2021.

**Figura 4 – Frentes de lavras avaliadas na Mina Sul**



Fonte: Deswik, 2021.

### **4.3 Coleta de dados da massa lavrada no SmartMine**

Posteriormente, no sistema de despacho SmartMine foram coletados os dados das massas lavradas por frentes de lavra entre os horários de levantamento topográfico, de 7 às 7 horas da manhã para as frentes da Mina Norte e de 10 às 10 horas da manhã para as frentes da Mina Sul.

### **4.4 Causas de erros previamente observadas**

É possível notar uma série de erros que talvez não influenciem de forma expressiva quando considerados individualmente, porém, em conjunto, poderiam gerar um erro considerável.

A calibração das balanças dos caminhões é feita de 3 em 3 meses, um período longo, e o descalibramento das balanças gera pequenos erros que em períodos longos de análise podem formar um grande erro acumulado. Devido a esse problema será considerado como aceitável um erro de até 6% da massa lavrada.

A obtenção da massa lavrada através da topografia é feita utilizando a densidade média do sólido lavrado, porém partes diferentes do sólido podem ter densidades diferentes, e assim, na hora da transformação do volume para massa é possível gerar um pequeno erro devido a esse fator, porém esse erro não será considerado.

Outro problema é a coleta de dados no SmartMine, que só pode ser feita em horas inteiras, logo, em frentes onde a coleta de pontos da topografia é realizada entre 6 horas e 30 minutos às 6 horas e 59 minutos, só é possível comparar com o registro do SmartMine das 6 horas ou das 7 horas. Neste caso, será analisado o registro das 7 horas, devido a uma maior proximidade de tempo. Para este caso um erro de até 400 toneladas será aceitável.

Outro problema é o erro do GPS dos equipamentos, que pode passar uma localização errônea dentro de um raio de 25 metros do local em que o equipamento realmente se encontra, o que pode causar para frentes de lavra muito próximas um erro de registro, registrando a massa lavrada em uma frente como lavrada na frente vizinha.



#### **4.5 Comparação entre os dados da massa lavrada Deswik x Smartmine**

Após a coleta de todos os dados, aferiu-se a diferença entre a massa lavrada pela topografia e a massa registrada no SmartMine, com intuito de checar a confiabilidade dos dados do SmartMine, que interferem diretamente no cálculo da qualidade das pilhas.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 5.1 Cálculo da massa lavrada no Deswik

De acordo com a metodologia apresentada foram obtidos os resultados referentes as massas lavradas em cada frente nos períodos e horários citados anteriormente, para dias em que ocorreram levantamento topográfico, como mostrado nas **Tabela 1** e **Tabela 2**.

**Tabela 1** – Massas lavradas por frente fornecidas via topografia no período de 15/10 a 26/10.

Período	15/10 a 19/10	19/10 a 20/10	20/10 a 21/10	21/10 a 22/10	22/10 a 25/10	25/10 a 26/10
Frentes de lavra	Massa lavrada com base na topografia (t)					
MI-210914Q-1104-R0	15,529.00	1,559.00	-	1,843.00	3,981.00	162.00
MI-210808A-1132-R0	2,033.00	10,279.00	631.00	302,8	10,054.00	6,434.00
MI-211007A-1140-R0	-	-	180.06	-	21,446.94	
MI-210809I-1120-R0	7,657.00	1,562.00	4,274.00	200	4,290.00	389.00
MI-210914P-1104-R0	14,213.00	-	-	-	-	-
AM-211012D-XXXX-R0	-	-	-	-	-	-
MI-211014R-1104-R0	19,702.00	-	-	-	-	-
MI-211014T-1104-R0	12,831.00	11,062.00	13,893.00	1959,73	27,904.00	-
MI-211028A-1088-R0	-	-	-	-	-	20,166.16
MI-210824A-1152-R1	7,949.00	3,520.00	-	-	12,309.00	-
MI-210830A-1088-R2	64,354.00	15,128.00	10,083.00	16,773.71	35,581.00	8,186.00
Massa lavrada total (t)	144,268.00	43,110.00	29,061.06	18,616.71	115,565.94	35,337.16

Fonte: Autor, 2021.

**Tabela 2** – Massas lavradas por frente fornecidas via topografia no período de 26/10 a 08/11.

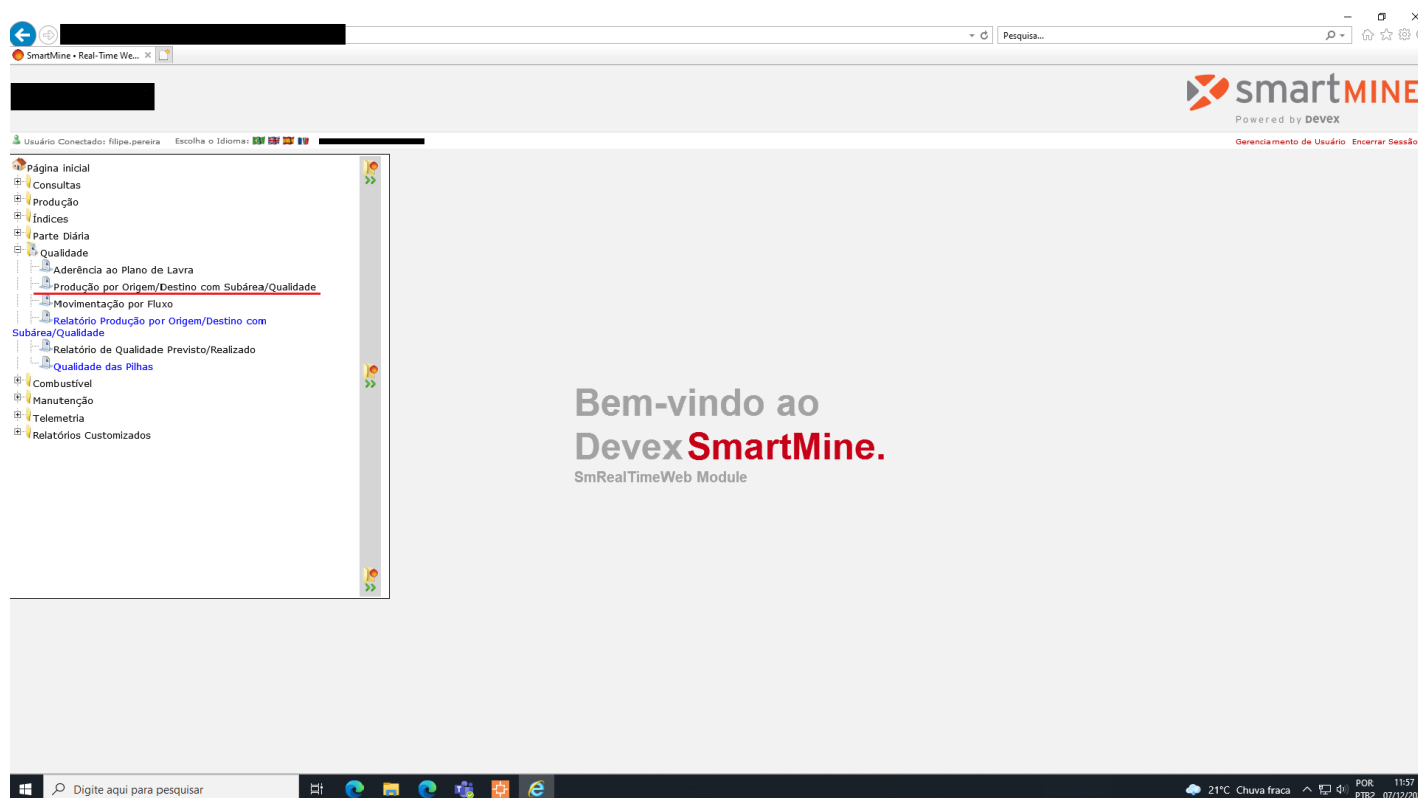
Período	26/10 a 27/10	27/10 a 29/10	29/10 a 04/11	04/11 a 08/11
<b>Frentes de lavra</b>	<b>Massa lavrada com base na topografia (t)</b>			
<b>MI-210914Q-1104-R0</b>	1,204.00	-	1,764.00	-
<b>MI-210808A-1132-R0</b>	862.34	3,703.00	10,677.00	8,301.14
<b>MI-211007A-1140-R0</b>	1,953.33	8,880.00	18,614.00	22,541.00
<b>MI-210809I-1120-R0</b>	2,496.00	2,800.00	2,385.00	-
<b>MI-211009A-1104-R0</b>	-	-	2,916.00	42,753.00
<b>AM-211012D-XXXX-R0</b>	-	11,608.00	8,515.00	4,799.00
<b>MI-211012F-1120-R0</b>	-	-	46,882.94	-
<b>MI-211014R-1104-R0</b>	-	-	-	-
<b>MI-211014T-1104-R0</b>	-	4,065.00	23,774.00	-
<b>MI-210824A-1152-R1</b>	5,852.00	2,649.00	-	-
<b>MI-211028A-1088-R0</b>	7,428.00	30,409.00	65,930.00	3,888.00
<b>MI-211030A-1072-R0</b>	-	4,191.00	34,377.84	32,277.00
<b>MI-211030B-1072-R0</b>	-	-	-	24,887.72
<b>MI-210830A-1088-R2</b>	-	-	5,589.00	5,127.00
Massa lavrada total (t)	19,795.67	68,305.00	221,424.77	144,573.86

Fonte: Autor, 2021.

## 5.2 Coleta de dados da massa lavrada no SmartMine

A massa lavrada registrada no sistema de despacho SmartMine foi coletada na aba “Qualidade” no Relatório de Produção por Origem/Destino com Subárea/Qualidade, como mostrado na **Figura 5**.

**Figura 5 – Relatório de Produção por Origem/Destino com Subárea/Qualidade.**



Fonte: SmartMine, 2021.

Os dados registrados nos períodos foram coletados de acordo com o horário da coleta da nuvem de pontos pela topografia. No entanto, como mencionado na metodologia, o SmartMine fornece apenas a opção de hora em hora. Dessa forma, quando a topografia realizava o levantamento em horas, como 6 horas e 45 minutos, foram coletados os dados do SmartMine de 7 horas às 7 horas do período analisado. Os dados coletados estão expressos nas **Tabela 3 e Tabela 4.**

**Tabela 3 – Massas lavradas por frente conforme registro do SmartMine no período de 15/10 a 26/10.**

<b>Período</b>	<b>15/10 a 19/10</b>	<b>19/10 a 20/10</b>	<b>20/10 a 21/10</b>	<b>21/10 a 22/10</b>	<b>22/10 a 25/10</b>	<b>25/10 a 26/10</b>
<b>Frentes de lavra</b>	<b>Massa lavrada segundo o SmartMine (t)</b>					
<b>MI-210914Q-1104-R0</b>	14,863.73	3,515.00	309.00	2,398.00	4,855.00	379.06
<b>MI-210808A-1132-R0</b>	16,711.53	4,283.00	2,017.00	386.00	14,183.00	5,578.00
<b>MI-210809I-1120-R0</b>	8,588.00	5,183.00	6,553.00	204.00	389.00	1,613.00
<b>MI-210914P-1104-R0</b>	207.00	-	-	-	-	-
<b>MI-211007A-1140-R0</b>	-	-	4,890.00	-	13,261.00	-
<b>MI-211014R-1104-R0</b>	57,326.85	-	-	-	-	-
<b>MI-211014T-1104-R0</b>	4,050.00	14,092.83	17,587.72	2,392.00	40,191.00	-
<b>MI-210824A-1152-R1</b>	7,910.00	4,719.00	-	-	13,055.36	-
<b>MI-210830A-1088-R2</b>	85,763.17	29,200.58	29,984.00	23,806.50	69,693.12	12,173.71
<b>MI-211028A-1088-R0</b>	-	-	-	-	-	22,369.61
<b>Massa lavrada total (t)</b>	<b>195,420.27</b>	<b>60,993.41</b>	<b>61,340.72</b>	<b>29,186.50</b>	<b>155,627.48</b>	<b>19,743.77</b>

Fonte: Autor, 2021.

**Tabela 4** – Massas lavradas por frente conforme registro do SmartMine no período de 26/10 a 08/11.

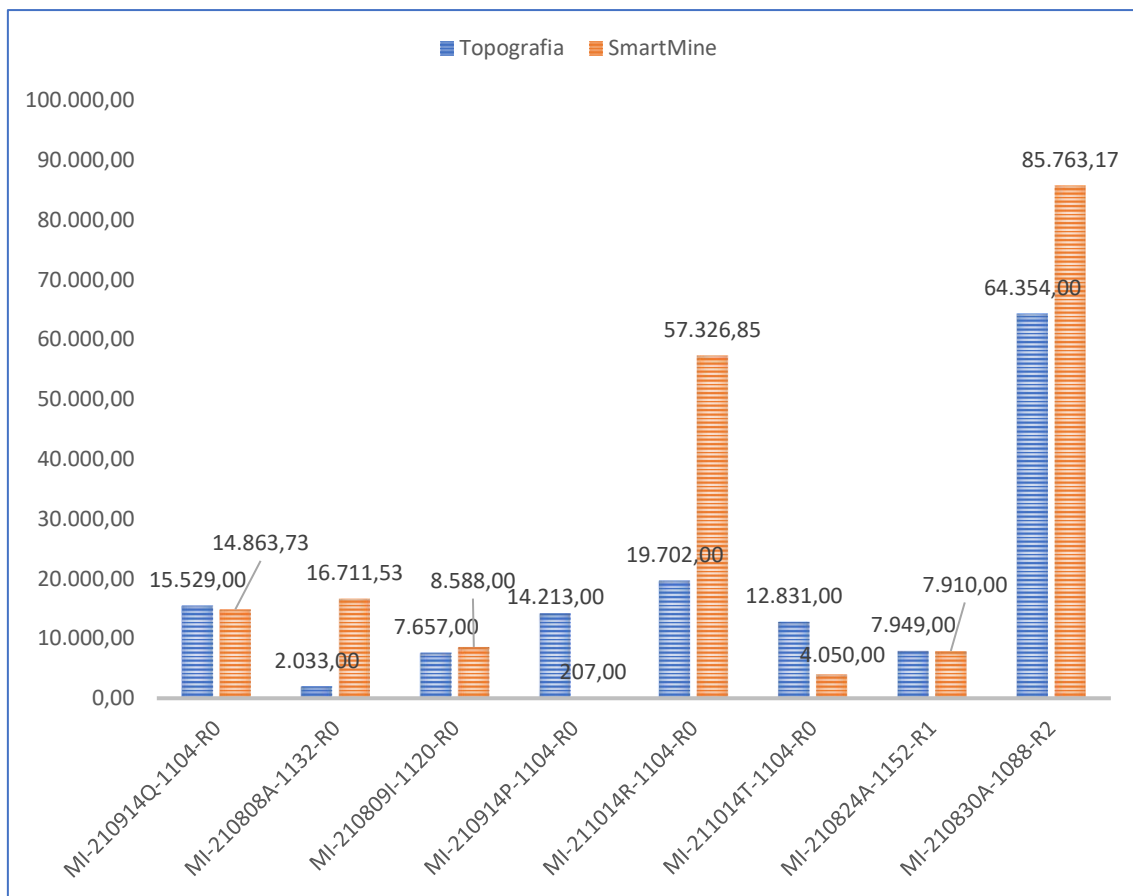
<b>Período</b>	<b>26/10 a 27/10</b>	<b>27/10 a 29/10</b>	<b>29/10 a 04/11</b>	<b>04/11 a 08/11</b>
<b>Frentes de lavra</b>	<b>Massa lavrada segundo o SmartMine (t)</b>			
<b>MI-210914Q-1104-R0</b>	2,157.00	-	1,638.00	-
<b>MI-210808A-1132-R0</b>	1,596.00	6,215.00	12,915.00	14,289.00
<b>MI-211007A-1140-R0</b>	2,404.00	13,756.42	26,993.72	28,678.38
<b>MI-211009A-1104-R0</b>	-	-	4,210.00	71,973.67
<b>MI-210809I-1120-R0</b>	2,377.00	4,372.00	3,032.00	-
<b>MI-210914P-1104-R0</b>	-	-	-	-
<b>MI-211012F-1120-R0</b>	-	-	82,849.17	3,877.00
<b>AM-211012D-XXXX-R0</b>	-	12,833.00	17,871.83	16,895.00
<b>MI-211014R-1104-R0</b>	-	-	-	-
<b>MI-211014T-1104-R0</b>	-	4,055.00	40,122.28	-
<b>MI-210824A-1152-R1</b>	1,585.00	4,112.11	-	-
<b>MI-211028A-1088-R0</b>	13,295.00	41,491.61	84,539.83	2,226.00
<b>MI-211030A-1072-R0</b>	-	1,227.92	54,428.00	46,586.28
<b>MI-211030B-1072-R0</b>	-	-	-	33,959.17
<b>MI-210830A-1088-R2</b>	-	-	1,219.00	8,096.00
Massa lavrada total (t)	23,414.00	88,063.06	329,818.83	226,580.49

Fonte: Autor, 2021.

### 5.3 Comparação entre os dados da massa lavrada Deswik x SmartMine

Após a obtenção de todos os dados, é possível fazer uma comparação entre as massas lavradas em cada período e averiguar a precisão dos dados do SmartMine utilizando gráficos de coluna com ambos os dados. O primeiro período analisado foi do dia 15/10/21 ao dia 19/10/21, como apresentado na **Figura 6**.

**Figura 6** - Lavrado pela Topografia x SmartMine, no período de 15/10 a 19/10.



Fonte: Autor, 2021.

É possível notar que há um resultado próximo para as frentes 14Q,09I e 24A em que o pequeno erro, provavelmente, provém de um descalibramento das balanças dos caminhões e carregadores.

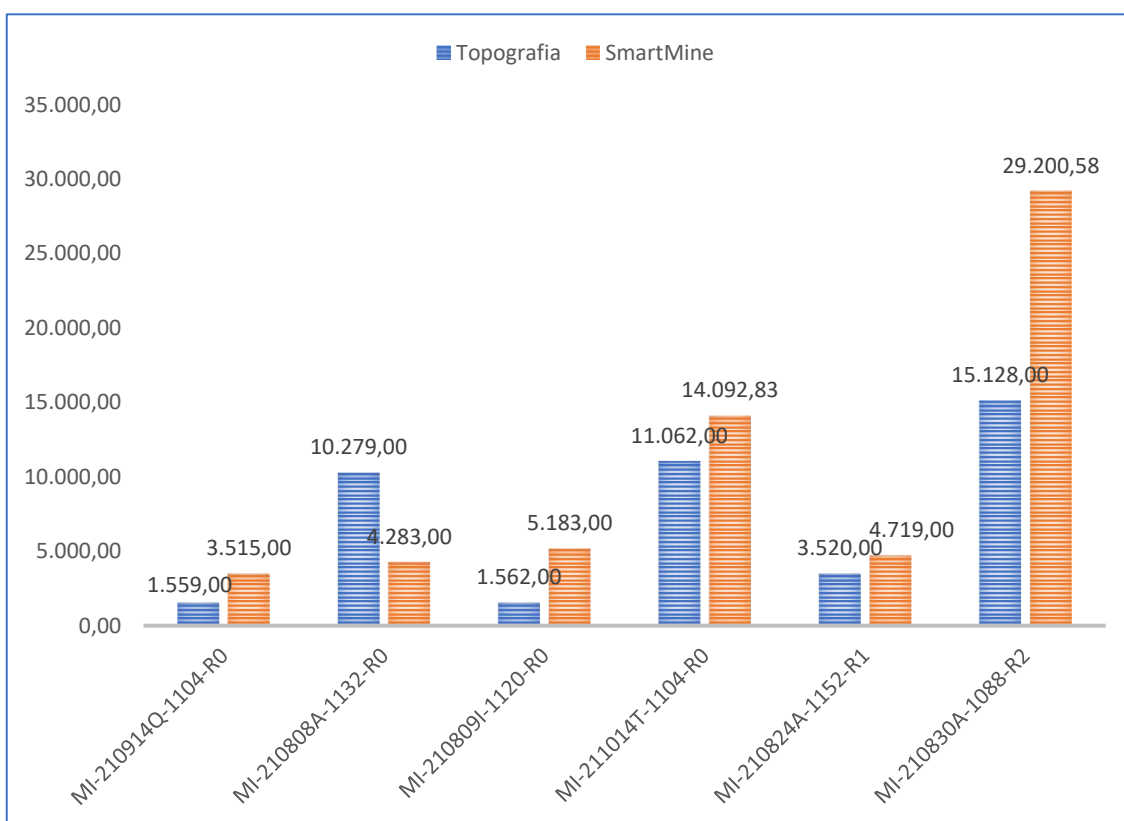
Já as frentes 14P e 14R, que são frentes que se encontram lado a lado como mostrado anteriormente na **Figura 3**, é provável que devido ao erro de raio do sistema de GPS dos equipamentos o material lavrado na frente 14P tenha sido contabilizado no SmartMine com 14R. O mesmo parece ter ocorrido para a

frente 14T, mas, apesar disto, ainda há um erro considerável mesmo comparando as massas das 3 frentes somadas.

Na frente 8A ocorreu um avanço de limite da planta de lavra, e o material lavrado fora da liberação foi contabilizado como material lavrado dentro da planta, o que não é correto, pois a qualidade do material fora da planta de lavra pode ter qualidade completamente diferente que o material da planta 8A.

Em seguida, a **Figura 7** apresenta o período analisado nos dias 19/10/21 e 20/10/21.

**Figura 7** - Lavrado pela Topografia x SmartMine, no período de 19/10 e 20/10.



Fonte: Autor, 2021.

Neste período nota-se que, com exceção das frentes 24A e 14Q, há um grande erro envolvido nos registros do SmartMine.

Na frente 08A foram registradas apenas 4283 toneladas lavradas, enquanto a massa real lavrada foi de 10279 toneladas, um erro de aproximadamente 140%. Este erro de registro inferior ao que realmente foi

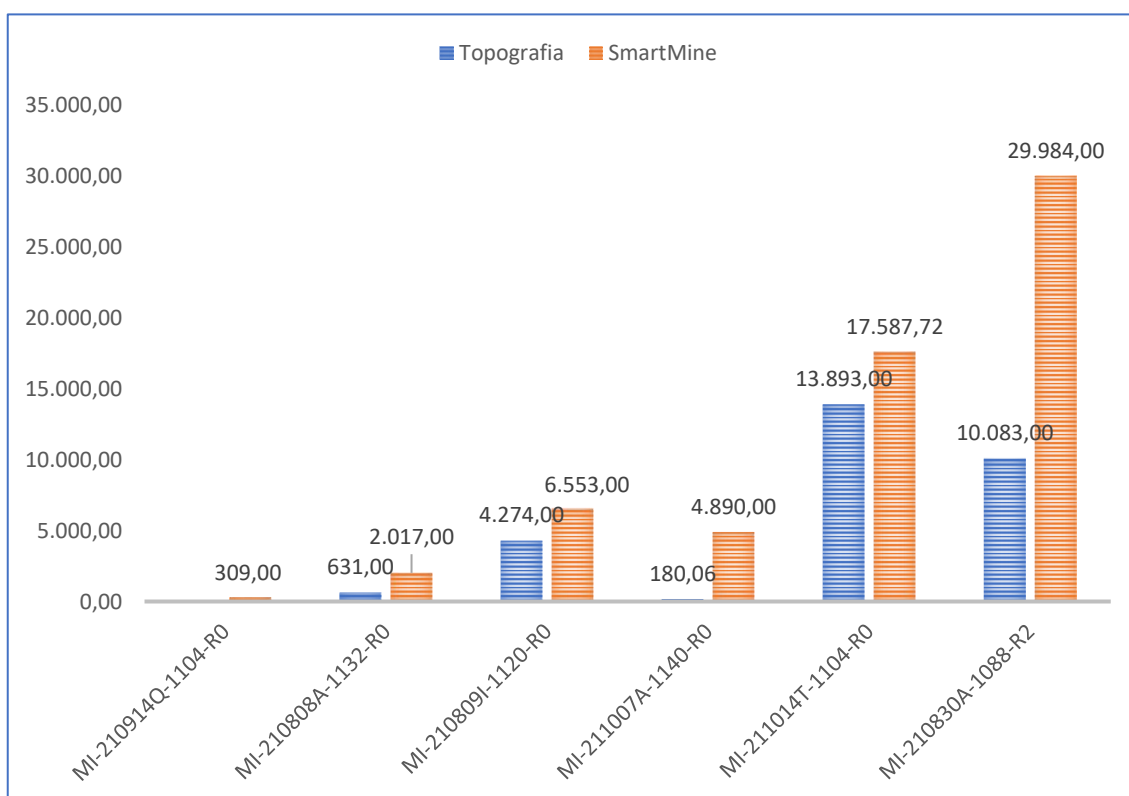


lavrado é incomum, de forma que seria necessário realizar uma investigação mais detalhada para descobrir a causa deste erro. Uma possível causa poderia ser uma falha na comunicação via rádio dos equipamentos com o sistema.

Nas frentes 09I e 30A-1088 também é possível observar um erro grande, porém mais comum, pois o sistema SmartMine aferiu uma massa maior que a massa lavrada. Um erro tão exacerbado como este também necessita de uma investigação maior, pois não se trata apenas de um avanço de limite ou de um descalibramento de balanças, principalmente se tratando de um período de apenas 24 horas. Uma possível causa para o erro na frente 30A-1088 é provavelmente devido ao fato de que inicialmente a planta 28A se encontrava juntamente com esta planta, formando um único sólido chamado de S30-28. Neste caso o erro pode ser apenas de nomenclatura registrado no SmartMine.

Continuando, a **Figura 8** apresenta o período analisado nos dias 20/10/21 e 21/10/21.

**Figura 8** - Lavrado pela Topografia x SmartMine, no período de 20/10 e 21/10.



Fonte: Autor, 2021.

O material registrado no SmartMine para a frente 14Q trata-se de um material que se encontrava disposto em uma praça de carga proveniente da frente 14Q.

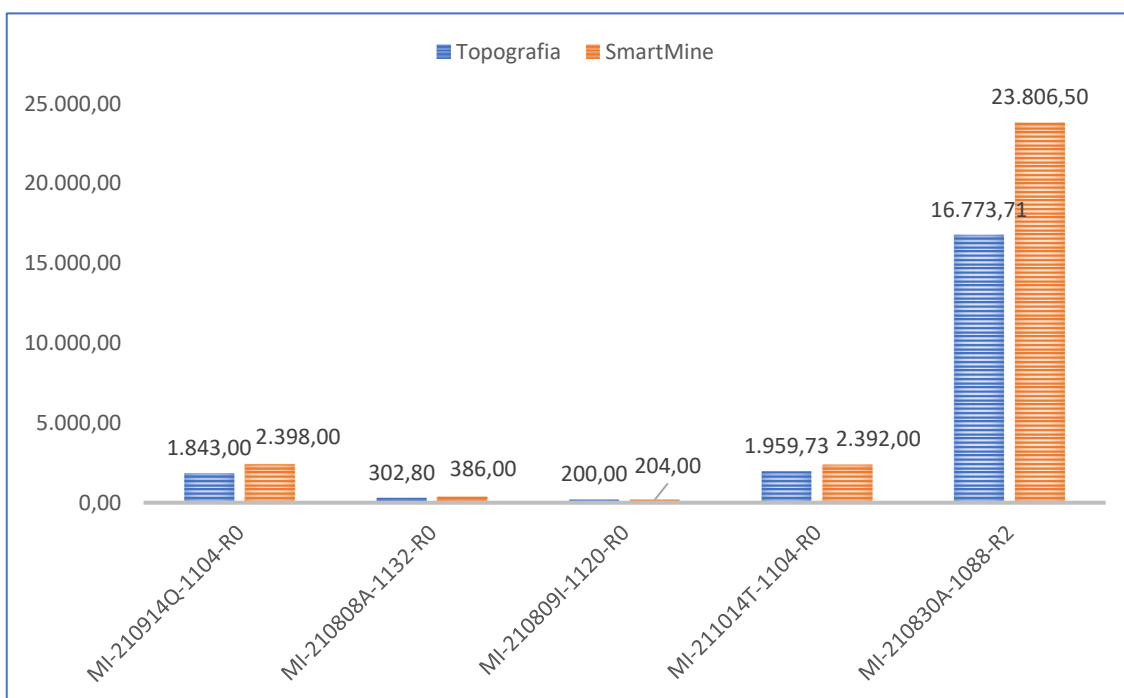
A frente 30A-1088 novamente apresenta um erro alto, provavelmente devido ao mesmo fato descrito no período anterior.

As frentes 08A,09I e 14T, erros novamente provenientes possivelmente de descalibramento de balanças e avanços de limite.

Na frente 07A não houve atualização da topografia, o que não permitiu uma análise da massa lavrada pela topografia, impossibilitando a comparação entre ela e a massa registrada pelo SmartMine.

Seguidamente, a **Figura 9** apresenta o período analisado nos dias 21/10/21 e 22/10/21.

**Figura 9** - Lavrado pela Topografia x SmartMine, no período de 21/10 e 22/10.



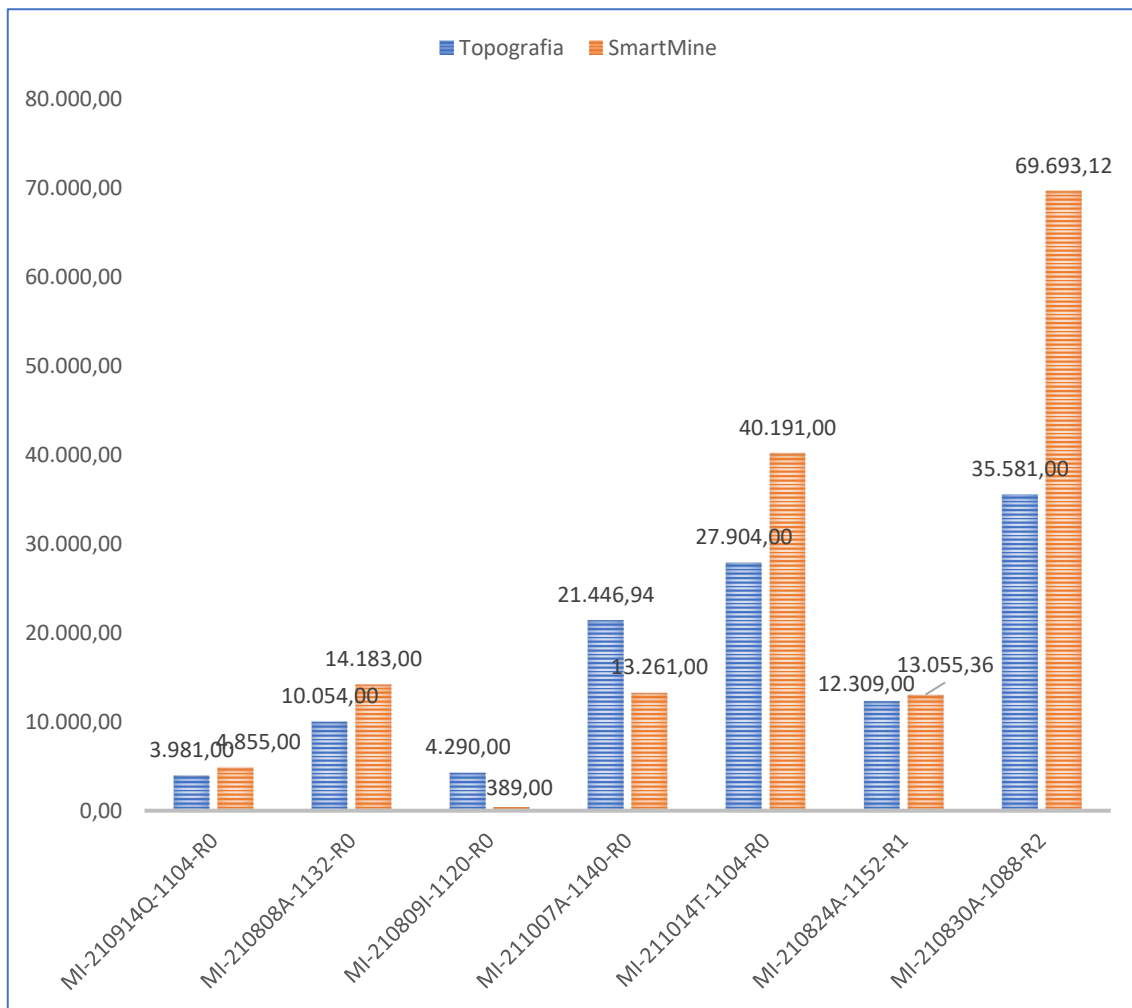
Fonte: Autor, 2021.

Neste período é possível observar que o registro feito foi aproximado da massa lavrada de acordo com a topografia para todas as frentes, com erros provenientes de descalibramento de balanças, com exceção da frente 30A-1088

que, novamente, pode ter ocorrido um erro de nomenclatura devido ao fato das plantas 30A e 28A formarem um mesmo sólido por um período de tempo.

Posteriormente, a **Figura 10** apresenta o período analisado entre os dias 22/10/21 a 25/10/21.

**Figura 10** - Lavrado pela Topografia x SmartMine, no período de 22/10 a 25/10.



Fonte: Autor, 2021.

Nas frentes 14Q e 24A os dados são considerados precisos, pois, novamente, há um pequeno erro devido a descalibramento de balanças, um erro que para um período de 72 horas, onde há um acúmulo de erros, pode ser considerado aceitável.

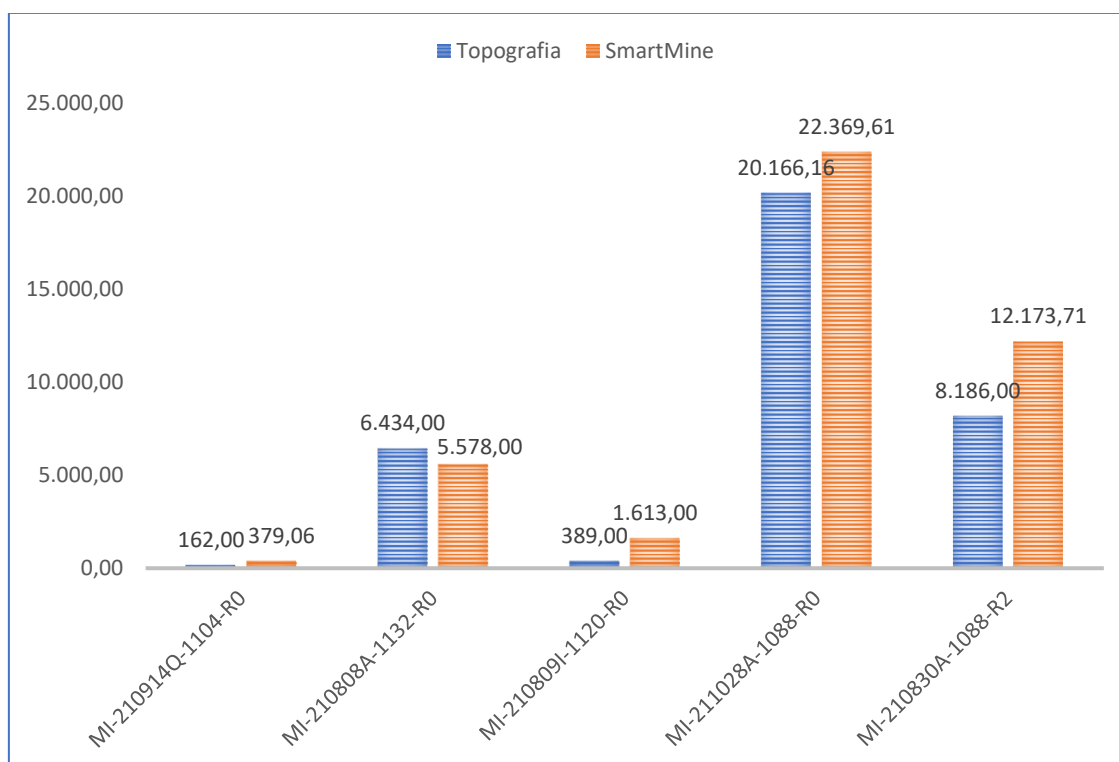
Na frente 08A é possível que tenha ocorrido um avanço do limite da planta. Na frente de lavra 30A-1088 ainda ocorre o mesmo problema de

nomenclatura, que só foi resolvido no próximo período analisado, quando houve a separação desta frente com a 28A.

Na frente 14T é possível que tenha ocorrido um avanço, além do erro de descalibramento de balanças.

Em seguida, a **Figura 11** apresenta o período analisado nos dias 25/10/21 e 26/10/21.

**Figura 11** - Lavrado pela Topografia x SmartMine, no período de 25/10 e 26/10.

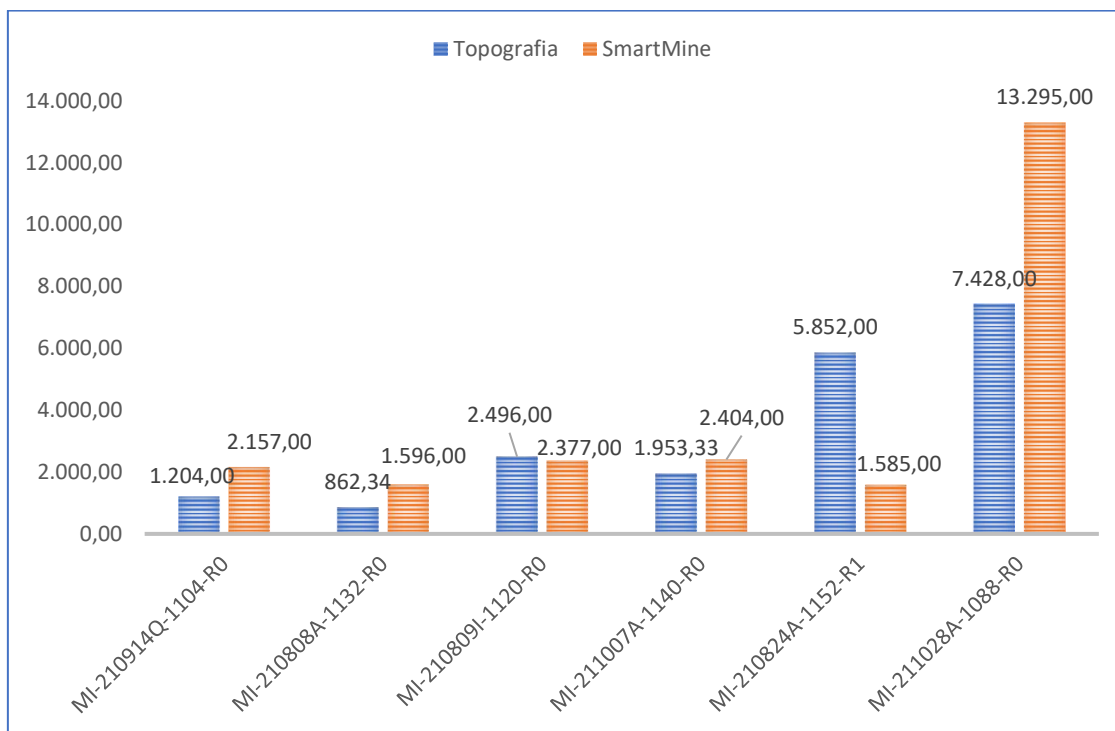


Fonte: Autor, 2021.

Agora é possível perceber o resultado da correção e divisão do sólido da frente 28A da frente 30A-1088, os erros deste período basicamente se encaixam nos erros de descalibramento das balanças. No caso das frentes 09I e 30A, provavelmente ocorreu também um pequeno avanço do limite da lavra, além dos erros de descalibramento de equipamentos.

Adiante, a **Figura 12** apresenta o período analisado nos dias 26/10/21 e 27/10/21.

**Figura 12** - Lavrado pela Topografia x SmartMine, no período de 26/10 e 27/10.



Fonte: Autor, 2021.

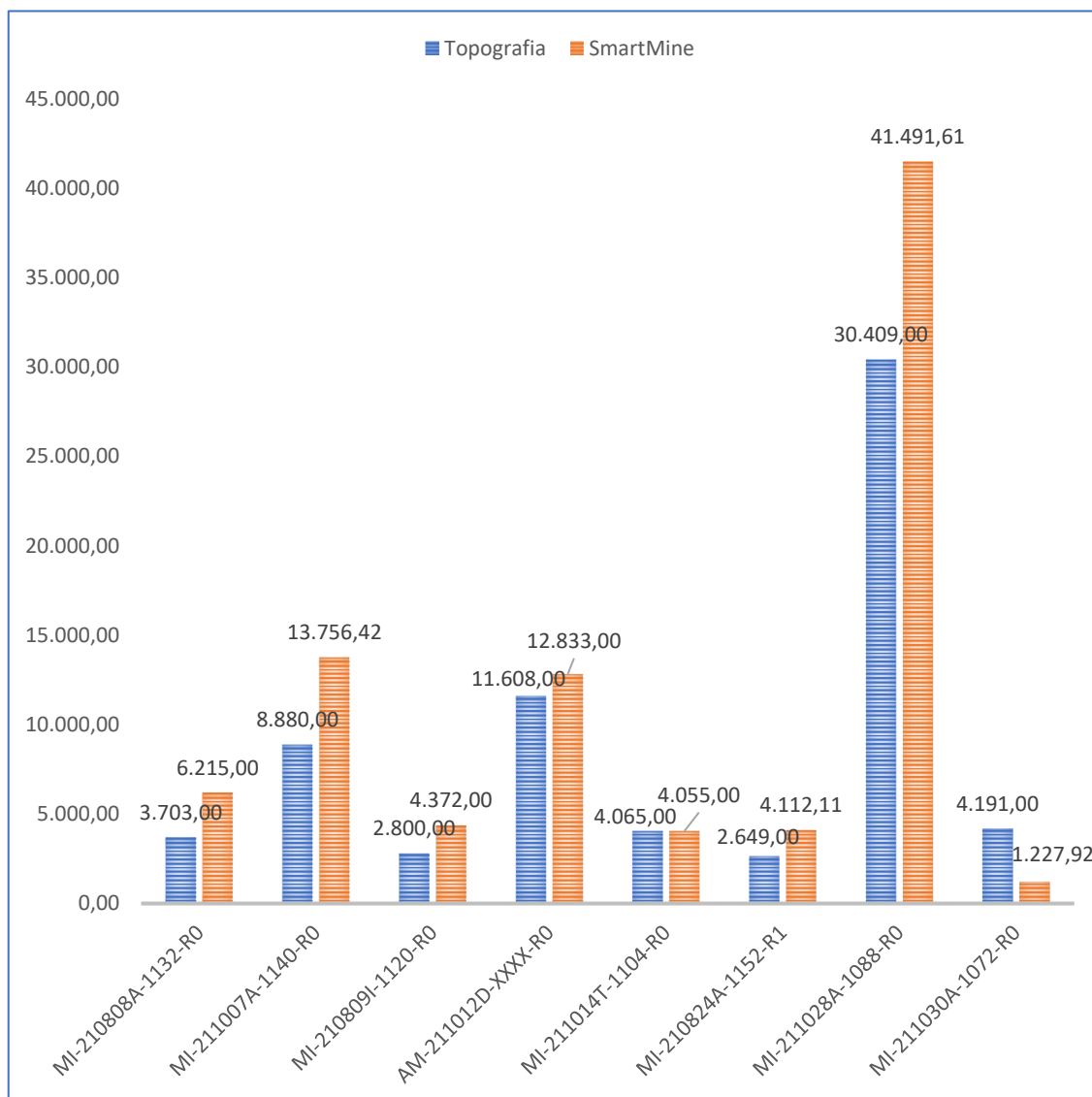
O material lavrado entre os dias 26/10 e 27/10 tem valores aproximados na mina Norte para a maioria das frentes. As frentes 08A e 14Q apresentaram uma diferença considerável, com características de pequenos avanços de limite.

Já na porção da mina Sul, os resultados não foram satisfatórios, tanto na frente 24A quanto na frente 28A houve uma disparidade entre as massas lavradas pela topografia e os registros do SmartMine.

No caso da frente 24A é possível que tenha ocorrido uma falha na comunicação dos equipamentos de envio de sinal de rádio para o SmartMine, pois boa parte do material lavrado não foi contabilizada pelo sistema de despacho. Para a frente 30A ocorre o contrário, mais uma vez a massa registrada é maior que a massa realmente lavrada dentro da liberação da planta de lavra, o que indica um provável avanço de limite, ocorrido frequentemente para esta planta de lavra.

Seguidamente, a **Figura 13** apresenta o período analisado entre os dias 27/10/21 a 29/10/21.

**Figura 13** - Lavrado pela Topografia x SmartMine, no período de 27/10 a 29/10.



Fonte: Autor, 2021.

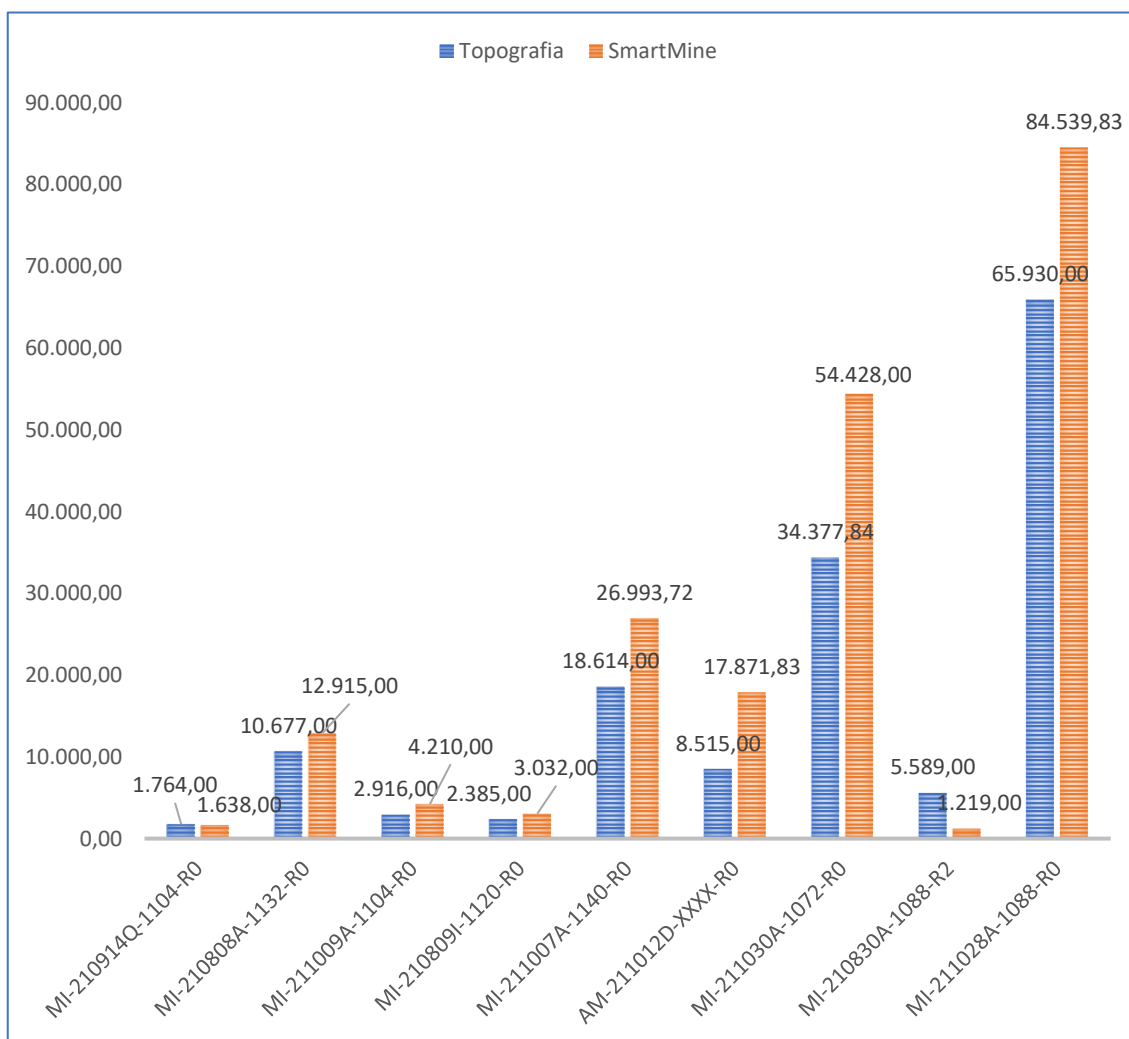
Entre os dias 27/10 e 29/10 nota-se valores semelhantes para as frentes 12D,14T, com erros provenientes de calibração de equipamentos, o que é inevitável no processo.

As frentes 08A, 07A, 09I, 24A, 28A tiveram registros maiores no SmartMine, o que se explica como prováveis avanços de limite nas plantas de lavra citadas, algo incomum de ocorrer para tantas frentes de lavra em um mesmo período.

Já a frente 30A expõe uma massa maior através da análise topográfica, provavelmente ocorreu uma falha de registro ou de captação de sinal pelo SmartMine, o que resulta nessa diferença entre as massas.

Posteriormente, a **Figura 14** apresenta o período analisado entre os dias 29/10/21 a 04/11/21.

**Figura 14** - Lavrado pela Topografia x SmartMine, no período de 29/10 a 04/11.



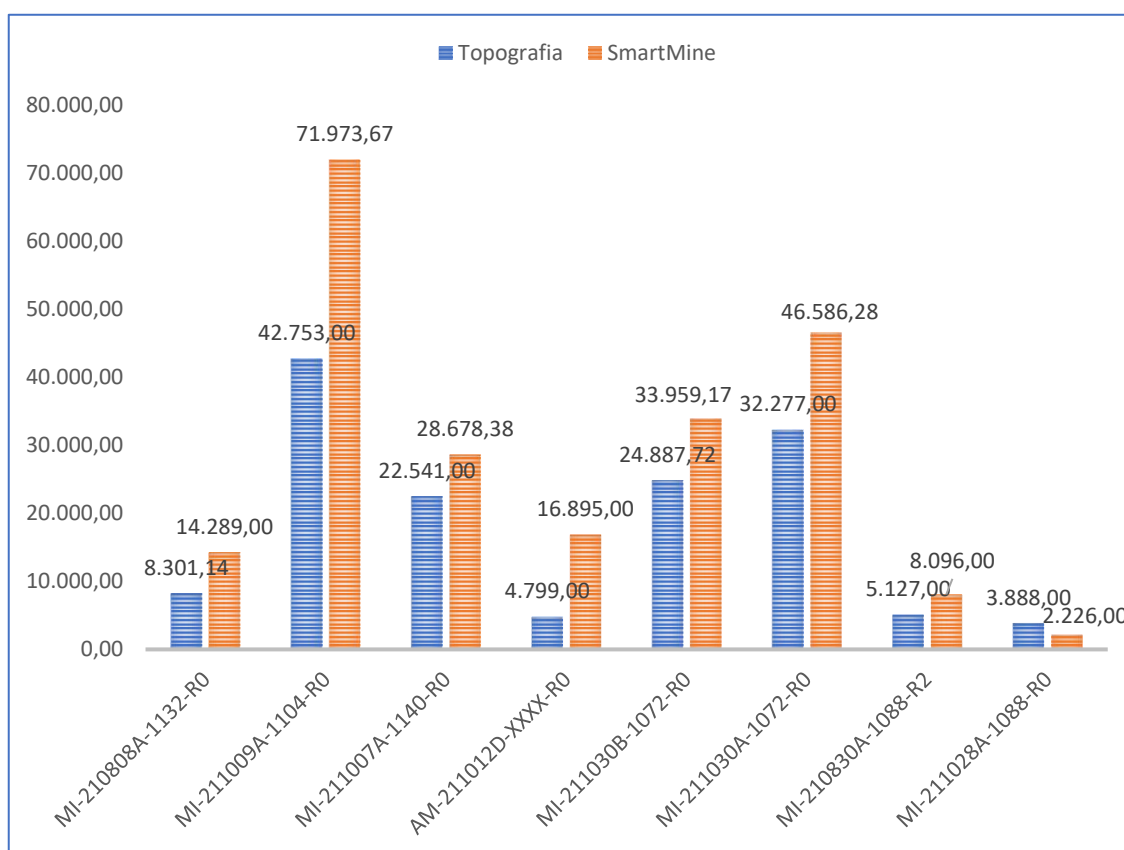
Fonte: Autor, 2021.

Entre os dias 29/10 e 04/11, um período considerado longo para as análises devido ao erro acumulativo, é possível notar que algumas frentes forneceram resultados semelhantes. As frentes 14Q, 08A, 09A, 09I mostraram massas muito próximas para ambas as análises, novamente com pequenos erros provenientes de erros de calibração de balanças.

Já nas frentes 07A, 12D, 30A-1072, 28A, mais uma vez, há uma diferença grande entre o valor registrado no SmartMine e o valor obtido através da análise topográfica da mina, apresentando novamente avanço de limite, com causa mais provável desta, a imprecisão dos dados.

A frente 30A-1088 tem como causa provável para o erro a imprecisão do sistema de GPS dos equipamentos. Devido à proximidade entre as frentes 30A-1088 e 28A é provável que o SmartMine contabilizou uma parte da massa lavrada na frente 30 como lavrada na frente 28, a imprecisão do GPS é de um raio de 25 metros, um valor que para frentes muito próximas é um sério problema. Por fim, a **Figura 15** apresenta o período analisado entre os dias 04/11/21 a 08/11/21.

**Figura 15** - Lavrado pela Topografia x SmartMine, no período de 04/11 a 08/11.



Fonte: Autor, 2021.

Neste período a massa registrada pelo SmartMine foi maior em todas as frentes, com exceção da frente 28A, que foi a única frente onde houve uma aproximação entre as massas aferidas nos dois métodos.



A análise deste período nos mostra a grande imprecisão do SmartMine, que apresentou um erro grande para a maioria das frentes, fator que interfere de forma drástica na qualidade das pilhas, apresentando uma qualidade diferente da real, o que proporciona um erro do plano para obter um concentrado adequado.

Apesar do descalibramento de balanças e possíveis avanços de limite, o SmartMine apresenta grandes erros na maioria das vezes, erros que em um balanço de massas movimentadas durante um ano poderiam gerar um erro extremamente grande.

## 6 CONCLUSÃO

Através deste trabalho é possível notar a importância da conferência da precisão dos métodos utilizados como sistema de registro em uma mina. Todo o planejamento das massas movimentadas na mina e das retomadas das pilhas de minério para a usina partem da informação da qualidade do material alocado nas pilhas de minério. Quanto mais precisa for essa informação, maior será a eficiência do plano diário de uma mina e com isso, maior a proximidade da qualidade real do produto final com a qualidade prevista, facilitando a adequação do material para a usina para atender a demanda do cliente.

A partir das análises dos resultados obtidos pode-se concluir que mesmo considerando os possíveis erros que podem ser atribuídos aos registros e aos processos realizados para obtenção dos resultados, há uma discrepância muito grande entre as massas lavradas segundo a análise da topografia e a massa registrada no SmartMine. Essa diferença influencia diretamente na qualidade estimada do *blend* da pilha, o que reflete diretamente na aderência entre a qualidade planejada e a qualidade realizada do produto final.

Para o problema de registro em frentes vizinhas devido ao erro de localização do GPS, uma solução simples seria que os operadores dos equipamentos informassem o operador da sala de controle qual a frente proveniente do material que está sendo transportado, para que ele corrija os registros falhos. Para minimizar o erro devido ao descalibramento das balanças uma solução seria a realização da calibração das balanças em um hiato menor de tempo.

Por falta de maiores recursos e tempo, não foi possível determinar com exatidão as causas das grandes diferenças nos valores determinados ao longo do trabalho. A identificação precisa das causas permitiria um melhor entendimento acerca dos fatores, possibilitando a determinação de mais soluções para os problemas envolvidos. Dessa forma, sugere-se a continuidade ou, até mesmo, a elaboração de novos estudos que proporcionem uma determinação segura das possíveis circunstâncias quanto as diferenças dos valores, e assim, permita que o plano diário de mina seja eficiente, favorecendo a qualidade do produto final.

## 7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMARAL, M. **Modelos matemáticos e heurísticas para auxílio ao planejamento de operações de lavra em minas a céu aberto.** 2008. 108 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Metalúrgica, Materiais e de Minas) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2008.

BORGES, T. C. **Análise dos custos operacionais de produção no dimensionamento de frotas de carregamento e transporte em mineração.** 2013. 98 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mineral) – Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2013.

CAMPOS, P. H. A. **Um comparativo de metodologias no planejamento de lavra: sequenciamento direto de blocos vs. planejamento tradicional.** 2017. 80 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mineral) – Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2017.

CHIMUCO, J. P. J. **Metodologia de planejamento de mina para retomada das operações de lavra das jazidas de Kassinga Norte-Angola.** 2010. 110 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mineral) – Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2010.

COSTA, B., et al. **Benefícios da implantação de um sistema de despacho: estudo de caso em uma empresa de mineração.** XXX Encontro Nacional de Engenharia de Produção. São Carlos: 2010.

COSTA, F. P. **Aplicações de Técnicas de Otimização a Problemas de Planejamento Operacional de Lavra Em Minas A Céu Aberto.** 2005. 140 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mineral) – Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2005.

CURI, A. **Minas a Céu Aberto: Planejamento de Lavra.** São Paulo: Oficina de Textos, 2014.

**DESWIK - Software,** 2021. Disponível em: <https://www.deswik.com/pt-br/software/>. Acesso em: 24 nov. 2021

DEVEX. **SmartMine: o controle da mina em suas mãos.** Vol.4. 2012.

PEREIRA, R. M. **O uso da simulação na análise de cenários em operações de carregamento e transporte na Mineração Usiminas S.A.** 2016. 64 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mineral) - Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2016.

QFe – UFOP. **Centro de Estudos Avançados do Quadrilátero Ferrífero** – Departamento de Geologia, Escola de Minas – Universidade Federal de Ouro Preto, 2021. Disponível em: <https://qfe2050.ufop.br/>. Acesso em: 15 dez. 2021.

RUCHKYS, U.; et al. Oficinas de sensibilização para conservação de sítios geológicos do Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brasil. **Terrae Didatica**, Campinas, SP, v. 8, n. 1, p. 24–33, 2015. Disponível em: <https://periodicos.sbu.unicamp.br/ojs/index.php/td/article/view/8637424>. Acesso em: 16 dez. 2021.

SILVA N. H. C., **Uma Abordagem Sobre O Planejamento De Lavra De Curto Prazo Com Ênfase Na Metodologia Da Programação Diária (Line-Up) Da Mina De Salobo.** 2014. 18 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em Sistemas Mínero-Metalúrgicos) – Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2014.

TEIXEIRA, R. L. P, et al. Avaliação da melhoria de desempenho da frota de transporte e carregamento de uma mineradora aliando ferramentas estatísticas ao software de despacho eletrônico. **Brazilian Journal of Development**, 2019.

TEIXEIRA, U. R. **Remodelagem do banco de dados de um sistema em tempo real com grande volume de informações: Estudo de Caso - SmartMine. Lavras/MG.** 2005. 47 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Ciência da Computação) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2005.

XIMENES, G. F. **Plano mensal de lavra de uma mina de ferro localizada no quadrilátero ferrífero: um estudo de caso.** 2018. 41 f. (Graduação em Engenharia de Minas) – Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2018.