

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
Curso de Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica, Materiais e de Minas
Mestrado Profissional

Vilson Carlesso dos Reis

**INDICADORES DE DESEMPENHO E SUA IMPORTÂNCIA PARA UM EFICAZ
PLANEJAMENTO DE LAVRA DE CURTO PRAZO E OPERACIONAL**

Belo Horizonte

2019

Vilson Carlesso dos Reis

**INDICADORES DE DESEMPENHO E SUA IMPORTÂNCIA PARA UM EFICAZ
PLANEJAMENTO DE LAVRA DE CURTO PRAZO E OPERACIONAL**

Dissertação de Mestrado apresentada ao
Curso de Pós-Graduação em Engenharia
Metalúrgica, Materiais e de Minas – Mestrado
Profissional, da Universidade Federal de Minas
Gerais como parte dos requisitos necessários à
obtenção do título de Mestre em Engenharia
Metalúrgica, Materiais e de Minas

Área de concentração: Tecnologia Mineral

Orientador: Dr. Alizeibek Saleimen Nader

Belo Horizonte

2019

R375i

Reis, Vilson Carlesso dos.

Indicadores de desempenho e sua importância para um eficaz planejamento de lavra de curto prazo e operacional [recurso eletrônico] / Vilson Carlesso dos Reis. – 2019.

1 recurso online (77 f.: il., color.): pdf.

Orientador: Alizebeck Saleimen Nader.

Dissertação (mestrado profissional) - Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Engenharia.

Apêndices: f. 61-77.

Bibliografia: f. 54-60.

Exigências do sistema: Adobe Acrobat Reader.

1. Engenharia de minas - Teses. 2. Tecnologia mineral - Teses.
3. Mineração - Teses. 4. Lavra de minas - Planejamento - Teses.
5. Desempenho - Teses. I. Nader, Alizebeck Saleimen. II. Universidade Federal de Minas Gerais. Escola de Engenharia. III. Título.

CDU: 622(043)



ATA DA DEFESA DA DISSERTAÇÃO DO ALUNO VILSON CARLESSO DOS REIS

Realizou-se, no dia 25 de outubro de 2019, às 14:00 horas, Predio de engenharia de minas UFMG Sala 4413, da Universidade Federal de Minas Gerais, a defesa de dissertação, intitulada *INDICADORES DE DESEMPENHO E SUA IMPORTÂNCIA PARA UM EFICAZ PLANEJAMENTO DE LAVRA DE CURTO PRAZO E OPERACIONAL*, apresentada por VILSON CARLESSO DOS REIS, número de registro 2019660444, graduado no curso de ENGENHARIA DE MINAS, como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre em ENGENHARIA METALÚRGICA, MATERIAIS E DE MINAS, à seguinte Comissão Examinadora: Prof(a). Alizeibek Saleimen Nader - Orientador (UFMG), Prof(a). Roberto Galery (UFMG), Prof(a). Carlos Enrique Arroyo Ortiz (UFOP), Prof(a). Renan Collantes Candia (UFMG).

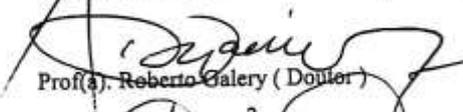
A Comissão considerou a dissertação:

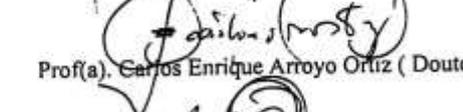
Aprovada

Reprovada

Finalizados os trabalhos, lavrei a presente ata que, lida e aprovada, vai assinada por mim e pelos membros da Comissão.
Belo Horizonte, 25 de outubro de 2019.


Prof(a). Alizeibek Saleimen Nader (Doutor)


Prof(a). Roberto Galery (Doutor)


Prof(a). Carlos Enrique Arroyo Ortiz (Doutor)


Prof(a). Renan Collantes Candia (Doutor)

À Dedicção de minha mãe em minha
educação, minha amada Renata, Alice, filha
linda e Arthur que está por chegar.

AGRADECIMENTOS

À Deus, à minha mãe por ser tão especial, minha irmã Tatiane e Meu pai Aristides, pelo amor, incentivo e apoio em todos os momentos, dos mais difíceis aos mais alegres;

À minha querida e amada Renata que, sempre esteve ao meu lado, e me motiva a superar todos os desafios;

À minha linda filha Alice, que com seu sorriso irradia minha vida de energia e força de vontade.

Ao Arthur que ainda nem chegou e já é tão querido e amado.

Ao meu orientador Beck, que sempre esteve presente, fornecendo todo o suporte e atenção necessários na realização dessa dissertação;

Ao Tales Bianchi pela confiança e apoio nesta jornada.

Aos colegas de Vale em especial, Allan, Francisco Aragão, Jorge e Wellington, que sempre me incentivaram cada um de sua forma a manter o foco.

Carlos Arroyo, que foi o primeiro professor a me dar oportunidade, me ensinado o caminho das pedras.

“A persistência é o menor caminho do êxito”.

(Charles Chaplin)

RESUMO

A mineração no Brasil é um dos pilares de sustentação do PIB (produto interno bruto). A sua execução exige técnica e perícia, pois, vários são os *stakeholders* envolvidos. Em um empreendimento mineiro, a cadeia de valor conduz esse negócio de forma a atingir os objetivos. O planejamento de lavra exerce grande influência no desempenho dessa, pois, é através dele que a organização se baseia para ofertar ao mercado seus produtos e conseqüentemente o baixo cumprimento das premissas estabelecidas trará transtornos indesejáveis. Dentro do planejamento, o de curto prazo se dedica a operacionalizar os planos viabilizados pelas equipes de longo e médio prazo, além de atender as variações do mercado. Os indicadores que controlam esse processo são de grande importância, pois uma identificação equivocada inserida nos diversos critérios que o compõe, podem orientar os gestores a tomadas de decisão ineficientes, fragilizando o negócio. O objetivo deste trabalho será estudar as variáveis inseridas no processo produtivo do plano de lavra de curto prazo que suportam a assertividade dos indicadores aderência e cumprimento. Utilizou-se para este objetivo o método *lean manufacturing empregando* suas ferramentas de gestão, controle e de análise de desvios, identificando as principais causas de não atingimento de 100% de aderência ao indicador efetividade de lavra. Neste trabalho, notou-se que com a metodologia aplicada alavancou o indicador efetividade de lavra, determinando as principais causas para o não atingimento de 100% de aderência deste indicador.

Palavras-chave: cadeia de valor; indicadores de desempenho; planejamento de lavra; planejamento de curto prazo; operacional.

ABSTRACT

Mining in Brazil is one of the pillars supporting the country's GDP (gross domestic product). Its execution requires technique and expertise, as there are several stakeholders involved. In a mining venture, the value chain conducts this business to achieve its objectives. The mine planning has a great influence on its performance, because it is through it that the organization is based to offer its products to the market and, consequently, a low compliance with the established premises will bring undesirable inconveniences. Within the planning, the short-term one is dedicated to operationalizing the plans made possible by the long- and medium-term teams, in addition to meeting market variations. The indicators that control this process are of great importance, because a misidentification inserted in the various criteria that compose it can guide managers to inefficient decision making, weakening the business. The objective of this work will be to study the variables inserted in the production process of the short-term mining plan that support the assertiveness of the adherence and compliance indicators.

The lean manufacturing method was used for this purpose, employing its management, control and deviation analysis tools, identifying the main causes of failure to reach 100% adherence to the mine effectiveness indicator. In this work, it was noted that with the applied methodology leveraged the mining effectiveness indicator, determining the main causes for not achieving 100% adherence of this indicator.

Key words: Performance indicators; mine planning; short-term planning; operational.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Cadeia de valor do minério de ferro.....	13
Figura 2: Geometria planejada.	14
Figura 3: Valores determinados de PR, PNR, RNP.	18
Figura 4: Perfil topográfico em seção vertical.....	19
Figura 5: Gráfico desmonta os valores históricos dos valores de IA e IC.....	20
Figura 6: Gráfico de tendência de IA e IC.....	21
Figura 7: Equipamentos utilizados para levantamento topográfico.	23
Figura 8: Estaca utilizada para marcação de campo.....	24
Figura 9: Material por tipo, minério ou estéril e dimensões dos blocos.....	26
Figura 10: Os sete desperdícios do sistema Toyota de Produção, segundo.	31
Figura 11: Diagrama da trilogia. Modificado.....	32
Figura 12: Três etapas de planejamento.	33
Figura 13: Sequenciamento de lavra de curto prazo.....	34
Figura 14: Indicadores de desempenho como elemento facilitador à operacionalização e à tomada de decisão.....	37
Figura 15: Fluxograma da metodologia. (Contribuição do autor, 2019).....	43
Figura 16: Localização e público participante.....	44
Figura 17: Gráfico de explosão solar, identificação do KRI.	46
Figura 18: Identificação do RI.....	49
Figura 19: Ilustração de gestão visual.	50
Figura 20: Ilustração geométrica dos valores de RP, PNR e RNP.....	50

LISTAS DE ABREVIATURAS E SIGLA

PIB – Produto interno bruto

PI – *Performance Indicator*

KPI – *Key Performance Indicator*

ROM – *Run of Mine*

REM – Relação Estéril Minério

KRI – *Key Result Indicator*

RI – *Result Indicator*

IA – Índice de Aderência

IC – Índice de Cumprimento

PR – Planejado Realizado

PNR – Planejado não Realizado

RNP – Realizado não Planejado

VPL – Valor Presente Líquido

DMT – Distância Média de Transporte

ISO – *International Organization for Standardization*

MFV – Mapa de Fluxo de Valor

JIT – *Just in Time*

ROR – *Rate of Return*

UF – Utilização Física

DF – Disponibilidade Física

OEE – *Overall Equipment Effectiveness*

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	13
2.	OBJETIVOS	16
2.1	Objetivo Geral	16
2.2	Objetivo específicos	16
3.	REVISÃO BIBLIOGRAFICA	17
3.1	Medição da aderência e cumprimento	17
3.1.1	Determinação dos parâmetros para o cálculo de IA e IC mensal e anual	17
3.1.2	Cálculo da aderência e cumprimento mensal e anual.....	18
3.2	Topografia	22
3.3	Geologia	24
3.4	Gerenciamento do negócio	27
3.5	Controle de qualidade.....	28
3.6	Planejamento de lavra.....	33
3.7	Indicadores de desempenho.....	36
3.8	Operações mineiras a céu aberto	38
4.	METODOLOGIA	41
4.1	Determinação dos indicadores de (IA), (IC) e efetividade de lavra.	41
4.2	Metodologia <i>lean manufacturing</i>	44
4.2.1	Mapa de fluxo de valor.	44
4.3	Medição dos resultados analises.....	46
5.	RESULTADOS E DISCUSSÕES	51
6.	CONCLUSÕES	52
7.	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	53
	REFERÊNCIAS	54
	APÊNDICES	61

1. INTRODUÇÃO

De acordo com Porter (1992) as empresas são compostas por atividades realizadas com o intuito de alcançar objetivos bem definidos, a saber, planejar, produzir, comercializar entre outras atividades.

Shank e Govindarajan (1995) pontuam sobre a estrutura da cadeia de valor como um método para se dividir o processo produtivo em cadeia. Essa divisão, permeará desde a matéria prima até o cliente, o que permite mapear tarefas estratégicas e relevantes bem como compreender suas variáveis de controle como custos, produtividade entre outros. Desse modo, pode-se definir cadeia de valor como o mapeamento das atividades primárias das empresas, com intuito de quebrar os silos formados e gerar um produto final único com maior produtividade e qualidade com menor custo. Na mineração, especificamente, a sua matéria prima, que se resume a extração de minério, insumo não renovável, gera uma necessidade de um estudo prévio para a determinação desta cadeia, diferentemente de outras atividades econômicas, garantindo assim o ótimo desempenho do empreendimento (Nader,2013). A cadeia de valor do minério de ferro envolve todos os processos necessários para a execução das atividades minerais. A figura 1 ilustra, de modo generalista, a sequência desses processos.

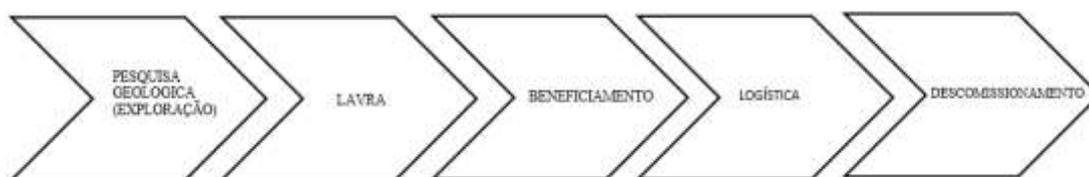


Figura 1: Cadeia de valor do minério de ferro (Nader, 2013) adaptado.

Inserido de forma protagonista nesta cadeia de valor, o planejamento de lavra exerce papel fundamental, sendo responsável pelo elo entre as diversas atividades e norteando cada um dos processos. Em geral, a indústria da mineração consolida seu processo de planejamento de lavra em três fases, sendo elas longo, médio e curto prazos (Campos, 2017). Buscou-se neste trabalho um direcionamento maior no planejamento de curto prazo, destacando suas fases e particularidades dentro da cadeia de valor da mineração.

O planejamento de curto prazo está necessariamente restrito aos requisitos pré-definidos pelo planejamento de longo e médio prazo. Desse modo, uma das tarefas é traduzir as metas elaboradas por estes, como bases operacionais do planejamento de curto prazo (Senhorinho, 2008), além de ser responsável por tornar o plano operacional, ao ponto de evitar a movimentação a todo custo, ou seja, exclusivamente para cumprir metas e indicadores.

A fim de atingir seus objetivos, que passa diretamente pelos objetivos da cadeia de valor, o planejamento de curto prazo elabora o seu plano de lavra e a partir dele determina o ROM (*Run of mine*). Nesse indicador são identificados os valores de massa e qualidade dos produtos e conseqüentemente se torna um dos pilares da REM (relação estéril/minério) necessária para a manutenção da saúde da cava.

Segundo Curi (2017), há uma grande dinâmica no planejamento de lavra, em que na fase da execução diversos processos estão diretamente envolvidos para o sucesso do plano. Para a elaboração de um plano de lavra de curto prazo é necessário seguir as premissas: cava final, topografia, parâmetros geotécnicos, modelo de blocos, indicadores chaves de desempenho (KPI's) de manutenção e operação, modelo hidrogeológico, legislação, interferências, premissas de massa e qualidade, dentre outras. De posse de todas as premissas, o planejador realiza os avanços em *software* adequado e determina os objetivos para o plano de lavra como demonstrado a figura 2.

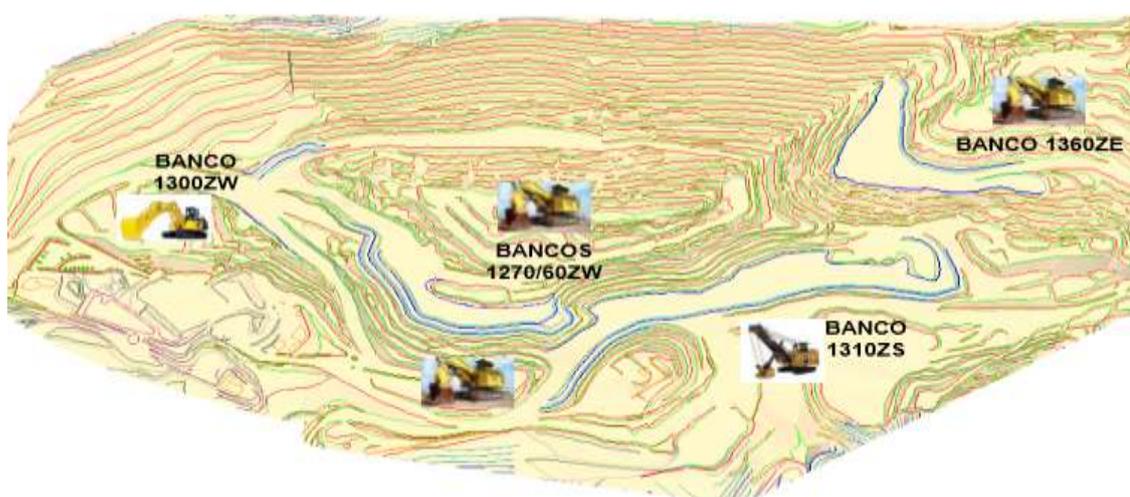


Figura 2: Geometria planejada (contribuição do autor, 2019).

Caso tenha ocorrido uma aderência e cumprimento adequados, a geometria proposta deverá atender necessariamente a todas as demandas da cadeia de valor. Nesse cenário, a definição adequada da forma de acompanhamento de todas as atividades percussoras das premissas pré-estabelecidas é essencial para o bom andamento do plano de lavra.

Nader (2013) definiu que as medidas de controle se dividem em indicadores chave de resultado (KRI), indicadores de resultado (RI), indicadores de performance (PI) e indicadores chaves de desempenho (KPI), sendo que KRI determina como devem ser realizadas as atividades, RI indicam o que foi realizado, o PI determina o que precisa ser realizado e por fim o KPI que informa quais parâmetros geram uma elevação expressiva de performance.

Posto isso, este trabalho tem como ponto de partida dois indicadores chaves de desempenho, a aderência e o cumprimento do plano de lavra que originam um único indicador a efetividade de lavra, sendo um dos desafios, integrar a cadeia de valor do planejamento de curto prazo ao da cadeia de valor da mineração. Conseqüentemente com isso, atender à velocidade de resposta que o mercado atual exige ao processo por meio de mapeamento dos indicadores de performance e a definição adequada dentro de critérios técnicos.

A necessidade de melhoria contínua nos processos mineiros na qual o planejamento de curto prazo por meio dos indicadores aderência e cumprimento se mostra muito sensível às variáveis operacionais, econômicas e licenciamento ambiental, justificam este trabalho.

Este trabalho visa por meio das técnicas da produção enxuta, identificar os critérios e como medi-los para aumentar a eficiência dos resultados do planejamento de curto prazo e conseqüentemente atender a toda cadeia de valor da mineração.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

O objetivo deste trabalho será testar a metodologia da produção enxuta no planejamento de curto de prazo de lavra, mapeando as variáveis inseridas no processo produtivo do plano de lavra de curto prazo onde a separação dos indicadores em PI's e KPI's tornam-se cada vez mais importantes para a garantia da cadeia de valor aqui representada pelos indicadores aderência (IA) e cumprimento (IC) de lavra.

2.2 Objetivo específicos

Seguindo o objetivo geral e com o mapeamento de todas atividades inseridas no processo do planejamento de curto prazo, busca-se neste, diagramar os principais indicadores do planejamento de curto prazo (KRI), como medi-los (RI) e conseqüentemente verificar quais os indicadores serão de monitoramento, ou seja, quais serão PI's e quais serão KPI's, dando a cada um à sua real importância dentro da cadeia de valor do minério de ferro, testando a metodologia da produção enxuta adaptada para a mineração, mais especificamente para o planejamento de curto prazo.

3. REVISÃO BIBLIOGRAFICA

Nesta revisão bibliográfica, procurou-se dentro da literatura disponível identificar o estado da arte dos itens de estudo deste trabalho.

3.1 Medição da aderência e cumprimento

O ato de confrontar o plano de lavra com o realizado traz ganhos significativos para o processo produtivo, pois, por meio desta ação, os possíveis desvios podem ser identificados e tratados (Souza, 2013). A verificação da efetividade do plano de lavra é realizada por meio da medição de aderência e cumprimento do plano do plano de lavra. Dentro deste contexto, o planejamento de curto prazo tem como responsabilidade o confronto dos planos semanais, mensais, trimestrais e anual, sendo a responsabilidade das comparações dos planos subsequentes a cargo dos planejamentos de médio e longo prazo.

3.1.1 Determinação dos parâmetros para o cálculo de IA e IC mensal e anual

Costa (2015) define em três os parâmetros a serem medidos a conhecer: planejado realizado (PR), planejado não realizado (PNR) e realizado não planejado (RNP). O PR sinaliza a fração que foi realizada pela operação dentro do plano confeccionado. O RNP mostra o que foi realizado pela operação que está fora do plano e por último o PNR aponta qual a massa não foi realizada e que estava dentro do plano de lavra.

A determinação dos valores de PR, PNR e RNP se dá pela comparação entre três topografias, a final, ou seja, a topografia após a execução do plano, a inicial, que se utiliza para a elaboração do plano e a topografia do plano elaborado.

Com os parâmetros em mãos, são definidas as massas de PR, PNR e RNP e conseqüentemente é realizado o cálculo da aderência e cumprimento do plano de lavra mensal e anual.

O resultado gerado está ilustrado na figura número 3.

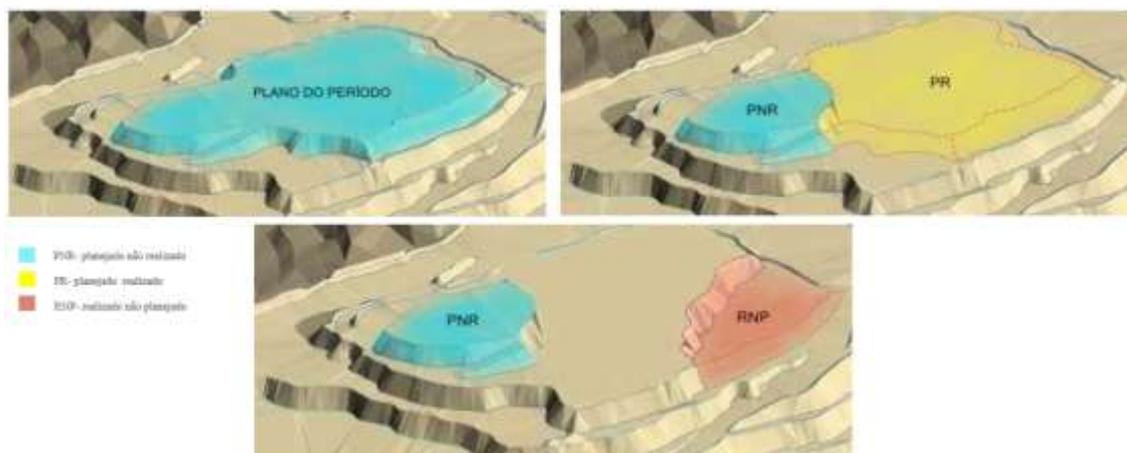


Figura 3: Valores determinados de PR, PNR, RNP (contribuição do autor, 2019).

3.1.2 Cálculo da aderência e cumprimento mensal e anual

A aderência do plano de lavra determina o quão foram assertivas as premissas preestabelecidas, a maturidade operacional para seguir a geometria pré-determinada e consequentemente a eficácia do planejamento em realizar a geometria do plano.

O cumprimento de lavra mede a assertividade em definir os parâmetros para a execução do plano, o quão disciplinado a operação é para a execução da geometria proposta, a assertividade do modelo de blocos, a topografia original para elaboração do plano e o OEE (*Overall Equipment Effectiveness*).

$$OEE = DF * UF * PROD \quad (1)$$

Com o entendimento de quais parâmetros serão utilizados para a definição do IA e do IC e consequentemente a efetividade de lavra, vamos aqui demonstrar a equação utilizada para este cálculo.

Costa (2015), sugere para o cálculo de índice de aderência (IA), índice de cumprimento (IC) e efetividade de lavra as fórmulas abaixo:

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

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

$$Efetividade\ de\ lavra = (IA + IC)/2 \quad (4)$$

$$Lacuna = melhor\ resultado - média\ dos\ resultados \quad (5)$$

De acordo com Costa (2015), a identificação de PNR e RNP se dá pelo confronto entre as topografias planejadas e realizadas, já para a determinação do PR se faz necessário as topografias inicial e realizada conforme a figura 4.

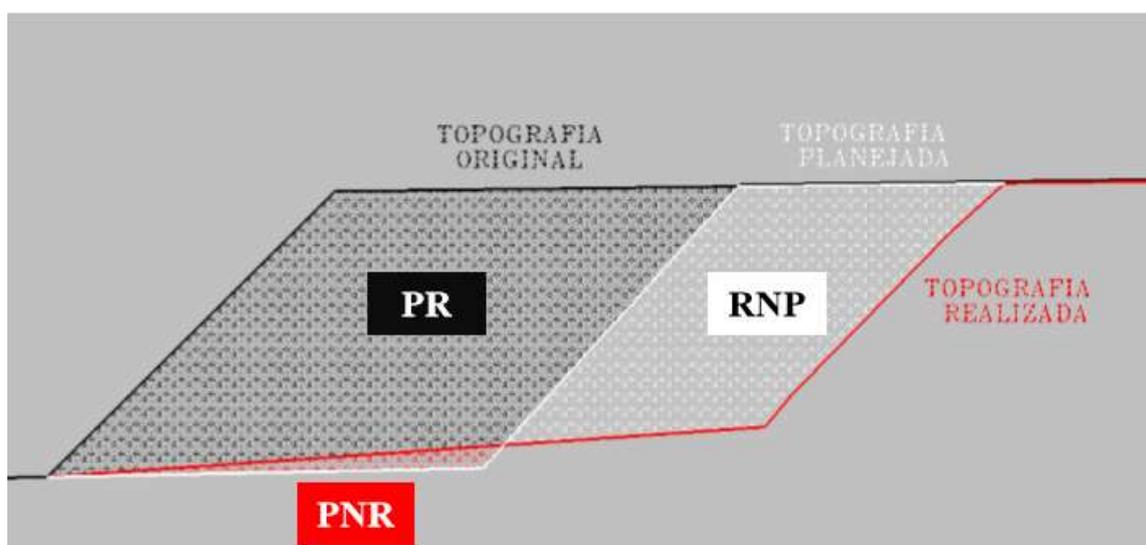


Figura 4: Perfil topográfico em seção vertical (Costa 2015).

Por meio de levantamentos de dados históricos da mina de ferro pesquisada e comparada com outras minas também de ferro, convencionou-se por meio do método da lacuna demonstrada na fórmula (5), mais um desafio interno, os valores de 80% de IA e 80% de IC, para este projeto. Estes valores seguem enumerados por mina na figura 5.

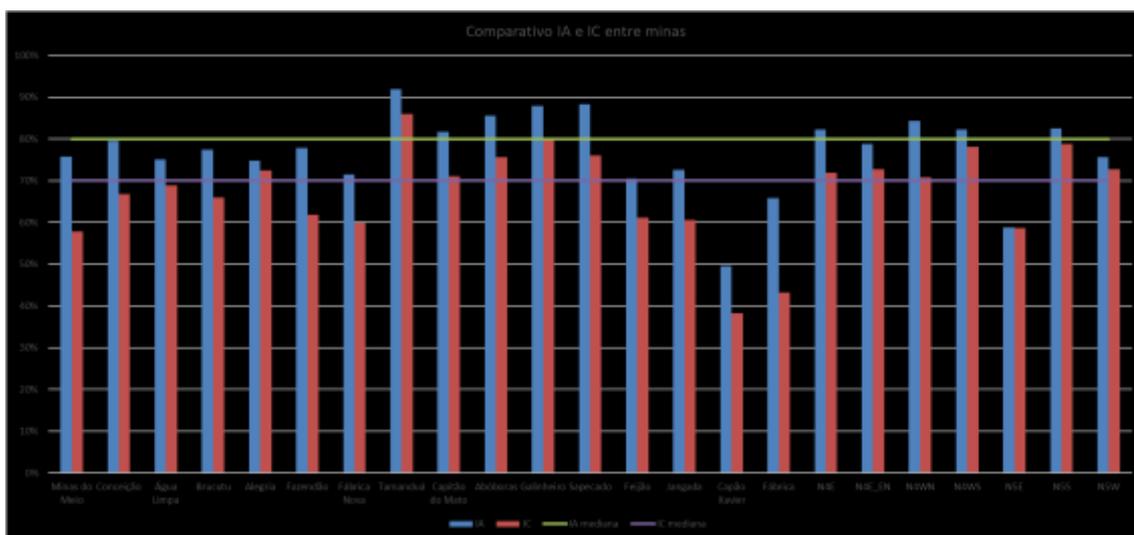
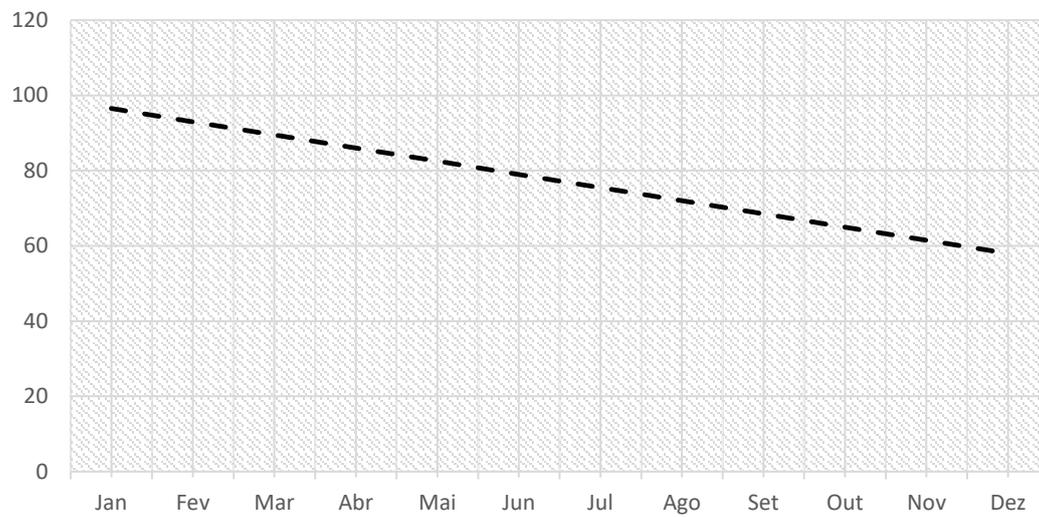


Figura 5: Gráfico desmonta os valores históricos dos valores de IA e IC. (Contribuição do autor, 2019).

De posse de todos os indicadores e das fórmulas são determinados os valores de IA, IC e consequentemente da efetividade de lavra. Sendo efetuados os cálculos, vale aqui ressaltar que as medidas de IA e IC possuem características bem particulares nos resultados observados. Enquanto a primeira possui uma tendência de resultado decrescente, ou seja, o plano inicia sua jornada de execução com 100% de IA, o segundo tem uma característica crescente, ou seja, o plano inicia com 0% de cumprimento e ao longo da jornada de operação do plano este tende a crescer. Importante aqui ressaltar que no caso do IA uma vez realizado uma lavra fora do projeto este indicador não tem a possibilidade de correção, ou seja, esse indicador não permite erros, pois uma área movimentada só poderá ser restabelecida caso haja um aterro, que trará mais transtornos do que benefícios.

Em se tratando de planejamento de curto prazo, a cada semana e mês, esses indicadores são renovados, ou seja, sempre são realizados planos mensais e semanais dentro de geometrias trimestrais e anuais, já os impactos no ano e trimestres já são medidos de forma acumulativa da perda até que a geometria estabelecida para estes seja completada. A figura 6 ilustra a ascendência e a descendência dos valores conforme discutido acima.

Aderência



Cumprimento

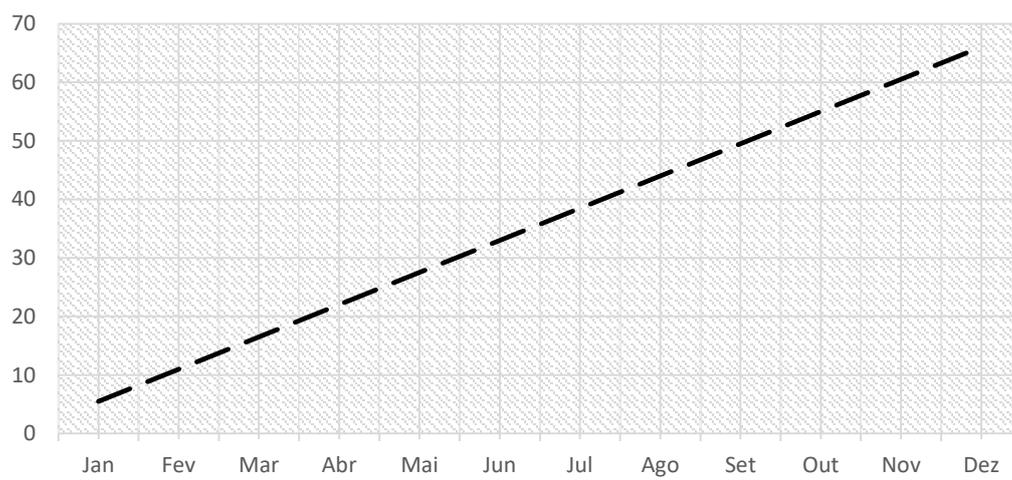


Figura 6: Gráfico de tendência de IA e IC (contribuição do autor, 2019).

3.2 Topografia

De acordo com Domingues (1979) a palavra topografia se origina do grego “*topos*” (lugar) e “*graphen*” (descrever), ou seja, topografia é o ato de representar de forma assertiva com o menor desvio possível um determinado lugar. A topografia tem como finalidade definir os limites, a grandeza e suas coordenadas de uma determinada região do globo terrestre, ignorando curvatura derivada de sua esfericidade.

Douebek (1989) afirma que topografia é a prática de, por meio de instrumentos e métodos representar graficamente a superfície plana da terra.

Também segundo Domingues (1979), é de responsabilidade da topografia a marcação em campo dos projetos de engenharia. É de suma importância o conhecimento prévio do terreno que um projeto de mineração será realizado, e conseqüentemente é primordial a assertividade do levantamento topográfico.

Assim como em todos os projetos de engenharia na mineração a topografia é a base para a elaboração do plano de lavra, sendo responsável pelas informações de entrada para esta atividade. Além de entrada através de mapas, as locações das atividades em campo bem como o acompanhamento e levantamento das atividades realizadas também está a cargo desta (Veiga, Zanetti, Faggion, 2012).

Brinker, Wolf (1977), discorrem que a prática da topografia se fragmenta em algumas partes, sendo:

- Decisão da gestão do processo;
- Levantamento de campo;
- Apuração e tratamento;
- Representação gráfica por meio de mapas;
- Locação, ou seja, a marcação em campo.

A decisão da gestão no processo, passa desde a determinação das áreas a serem levantadas, ou seja, o planejamento do trabalho em um determinado período, quanto, com quais ferramentas esta atividade será realizada. Essa definição de ferramentas de trabalho diz muito sobre a velocidade de resposta da topografia e também sobre a segurança que esta atividade será executada.

Várias são as ferramentas utilizadas para a realização do levantamento topográfico, desde as que tem um menor valor de investimento e conseqüentemente trazem um maior risco

operacional tanto de segurança para a execução da atividade, quanto para o erro do processo, e as ferramentas mais modernas que trazem uma maior segurança em sua execução e uma maior assertividade do resultado.

A figura 7 ilustra algumas ferramentas atuais utilizadas para o levantamento topográfico.



Figura 7: Equipamentos utilizados para levantamento topográfico (contribuição do autor, 2019).

O manuseio das informações é realizado geralmente por *softwares* específicos e seu resultado representado por meio de planta ou plano topográfico e a locação em campo geralmente por meio de estacas (Espartel, 1987).

A figura 8 demonstra a marcação topográfica utilizando estacas.



Figura 8: Estaca utilizada para marcação de campo (contribuição do autor, 2019).

Essas estacas geralmente são de madeira, onde as informações necessárias, como o corte, nível entre outros, é sinalizado na parte superior.

O acompanhamento da execução das atividades locadas em campo é uma parte clássica da topografia, pois, essa é responsável por guiar executores do projeto mitigando os possíveis desvios que ao longo do caminho acaba acontecendo por fatores diversos.

Cabe aqui ressaltar, que com o advento da indústria 4.0 os equipamentos de topografia também estão sendo automatizados, proporcionado ainda mais velocidade e qualidade no processo.

3.3 Geologia

Rasera (2014), afirma que as ocorrências naturais são agentes formadores de depósitos minerais e são regidos por mecanismos químicos, térmicos, biológicos e físicos.

A peculiaridade inerente ao processo de levantamento geológico se dá pela natureza da formação que ao contrário das outras ciências as formações geológicas ocorreram a tempos atrás, ou seja, sem que o pesquisador tivesse algum controle sobre este processo (Landim, 2003).

Dentro do processo do planejamento de lavra, o conhecimento das formações geológicas com seus teores e características são determinantes para uma boa elaboração do plano de lavra.

Assis (2016) explana que o teor de corte tem uma importância significativa para a determinação da movimentação de mina, representado pelo tempo de exploração da lavra e conseqüentemente pelo valor econômico dela. O teor de corte é o limiar para determinação da REM levando em consideração a característica do tratamento existente no empreendimento.

A determinação do teor de corte torna-se imprescindível para a potencialização da cava ótima, sendo um critério indispensável para o planejador na tomada de decisão de acompanhamento da produção e conseqüentemente em futuros investimentos nas diversas fases de um empreendimento mineiro (Kržanović, Kolonja, Stevanović, 2015).

Em se tratando de um empreendimento mineiro, o processo posterior ao da exploração o beneficiamento de minério, necessita conhecer não apenas as características químicas e granulométricas do ROM alimentado, mas também o comportamento deste nos processos de recuperação metalúrgica, sendo que minerais com as mesmas características químicas e físicas podem possuir composições mineralógicas diferentes tornando necessária a alteração da regulação da usina de tratamento de minérios (Arroyo Ortiz, 2014).

O modelo de blocos no planejamento de lavra torna-se importante, pois, a sua representação direciona o planejador para a uma elaboração de plano ótimo, levando em consideração o teor de corte, o comportamento geometalúrgico entre outros diversos parâmetros representados por esta ferramenta.

Johnson (1968) afirma que o manuseio de blocos se mostra muito útil devido às características da lavra e do desmonte de rocha.

A interpretação geológica torna-se uma ferramenta importante para a elaboração do modelo de blocos. A pesquisa geológica que está a todo momento acontecendo ao longo da vida de uma operação mineira, pesquisas estas que consistem em furos de sonda, amostragem por trincheiras, mapeamentos geológicos, etc, são parâmetros fundamentais para a definição do modelo de blocos. Por meio de secções, os profissionais conseguem delimitar os corpos geológicos e conseqüente elaborar o modelo de blocos (Campos, 2017).

Com isso, as características que influenciam na dimensão dos blocos são influenciadas por aspectos da altura da bancada, da frota de carga, transporte, perfuração e infraestrutura, a geologia, o método de lavra a diluição determinantes para definição dos parâmetros espaciais (Campos, 2017).

De forma intuitiva, quanto menor o tamanho do bloco mais assertivo será o resultado da lavra, atentando para que blocos muito pequenos também podem trazer consigo pouca acurácia pois os métodos de sondagem podem variar de forma muito grande devido sua malha (Johnson, 1968). Outro entrave, seria o tempo de processamento do modelo já que quanto menor é o tamanho do bloco maior é o número de blocos do modelo, tornando o processamento dos dados mais moroso, portanto a interpretação em cada caso se faz necessária neste processo (Campos, 2017).

A figura 9 representa por meio de modelo de blocos o tipo do material e as diversas dimensões que o bloco pode apresentar.

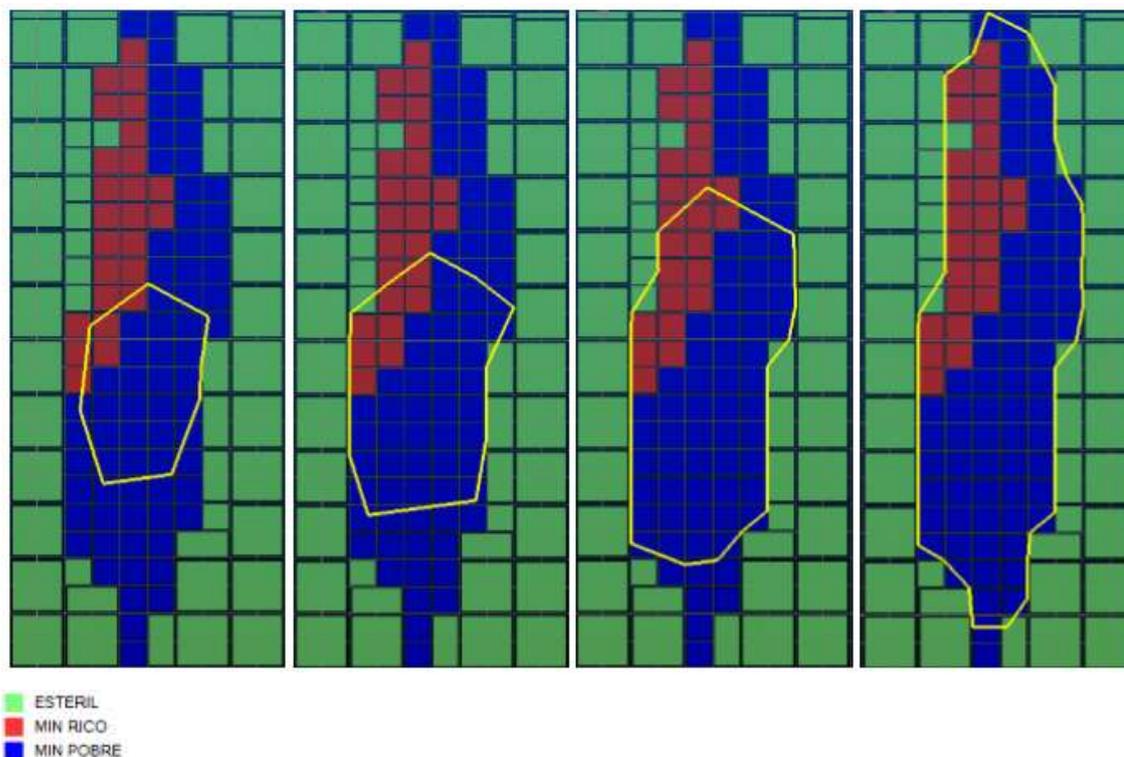


Figura 9: Material por tipo, minério ou estéril e dimensões dos blocos. (Contribuição do autor, 2019).

Enfim, uma estratégia importante para a elaboração do plano de lavra, passa pela aferição do modelo de blocos por meio de critérios minuciosos, onde os *inputs* como teores,

densidade, litologias, que são uma das entradas principais para que os algoritmos modernos determinem as cavas ótimas, faz com que o modelo de blocos se torne cada dia mais estudado utilizando métodos como simulação geoestatística, simulação sequencial gaussiana entre outros (Amaral, 2008).

3.4 Gerenciamento do negócio

De acordo com Medeiros (2003) a competitividade do mercado aliado à tecnologia, é um grande trunfo dos consumidores para que cada vez mais aumente a exigência sobre a qualidade do produto recebido. Com o advento da tecnologia e conseqüentemente com a velocidade da informação, as pressões sobre a indústria de recursos naturais não renováveis surgem de todos lados, a mídia, a comunidade, o governo entre outros e eleva o nível de pressão dentro do negócio.

O entendimento das fraquezas e fortalezas do negócio tornam-se aspectos importantes para a definição da estratégia do empreendimento (Porter, 1992).

As pressões internas e externas muitas vezes levam a decisões inadequadas, desconsiderando o planejamento pré-estabelecido gerando resultados inferiores ao esperado no início da jornada.

A definição de Bowditch, Buono (1992) de que os componentes não internos, ou seja, que extrapolam as fronteiras da empresa estabelecem o clima institucional está na vanguarda do processo.

As definições de Mintzberg (1987) ainda se mostram atualizadas mesmos nos tempos de hoje, onde o autor define estratégia em cinco partes, a conhecer:

- Plano;
- Truque;
- Modelo;
- Posição;
- Perspectiva.

Pensando em estratégia como plano, dois aspectos devem ser observados, a sua elaboração de forma preliminar à excussão da atividade para que essas sejam praticadas de maneira adequada com objetivos bem estabelecidos, e sua formalização, que é um passo de extrema importância para o processo.

Estratégia como truque, onde a declaração e finalidades sem o intuito de serem realizadas somente distração dos interessados.

Estratégia como modelo, está ligada à atitude da instituição, podendo resultar não de planos estabelecidos, mas sim de comportamentos, ou seja, surgindo sem planejamento. Em se tratando estratégia como posição está relacionado ao meio em que a companhia está estabelecida e por fim, a estratégia como perspectiva se dedica a entender qual o posicionamento da empresa ao mundo.

As informalidades nos relacionamentos entre os empregados da organização trazem resultados importantes nas atividades a serem executadas, onde estas disseminam conhecimento e ferramentas de trabalho, porém um ambiente adequado se mostra importante para que esta informalidade seja estabelecida (Mendes de Paula, 2003).

Na mineração o maior desafio para a gestão é eliminar a dependência de movimentação acima de qualquer coisa, ou seja, sem um prévio entendimento do sequenciamento de lavra e conseqüentemente encarecendo mais o processo em detrimento da lavra por intuição e não a lavra planejada (Silva, 2014).

3.5 Controle de qualidade

A palavra qualidade é derivada do latim *qualitate*, cujo o significado é a propriedade, atributo, condição das coisas, um termo que permite avaliar e determinar se é aceitável ou não, se aceita ou recusa (Pinto,1993), já de acordo com a ISO (organização internacional de normalização) define-se qualidade como “o conjunto das propriedades e características de um produto, processo ou serviço que lhe fornecem a capacidade de satisfazer as necessidades explícitas ou implícitas”.

Shiba, Graham, Walden (1993) afirmam que a qualidade evolui de acordo com a necessidade dos clientes, determinando assim os procedimentos a serem seguidos, sendo a gestão da qualidade um forte aliado das empresas para se enquadrarem no mercado, tendo esta ferramenta como uma das principais referências de atendimento ao consumidor, com o objetivo de criação de valor do seu produto.

Podemos interpretar valor como o objeto do desejo do consumidor, ou seja, o quanto ele deseja dispor de suas finanças para obter o produto da empresa.

Porter (1992), afirma que o poder de fogo de uma organização surge do conhecimento de suas atividades, em que uma análise sistemática se faz necessário para conhecer os indicadores que lhes trarão vantagens significativas. O conhecimento dessas atividades determina a cadeia de valor de organização, onde o exercício destas, demonstrará o quão a empresa será mais efetiva ou competente que seus concorrentes.

A escolha pelo controle e especialização de conhecimento de tarefas, adotados por diversas empresas, demonstrando um foco em objetivos funcionais, geram uma divisão no dinamismo local da empresa, desconsiderando as interdependências horizontais (Pearlson, Saunders, 2019).

Quando pensamos em cadeia de valor, verificamos que modelos como esse, são capazes de conter a sua efetividade, pois é possível que diversas funções alcancem o sucesso dentro da empresa, com um mal desempenho da companhia. Alguns exemplos interessantes são os dados por Porter (1992) e Mintzberg (1979), sendo que o primeiro destaca a relação entre qualidade e produção, onde a qualidade geralmente retarda a produção e o segundo demonstra a necessidade de uma junção entre algumas áreas como o marketing e a produção para atingir um objetivo único que seria o de atender a uma demanda do cliente.

A junção de mecanismos dedicados a atividade fim, a sua administração e a gestão definem o controle da produção (Slack, Chambers, Johnston, 2002).

Araujo (2014) discorre sobre que muitas empresas conseguem resultados interessantes com a utilização da ferramenta produção enxuta, mesmo sendo esta utilizada de forma incompleta ou sem conhecimento significativo da gestão do negócio.

A metodologia como a da produção enxuta, *lean manufacture*, exigem que para a sua implantação uma mudança de cultura nas organizações seja necessária, e isso acaba mexendo com as pessoas que se tornam mesmo que inconscientemente uma barreira para a sua implantação. O desconhecimento da técnica também é um fator determinante na dificuldade de implantação da ferramenta, sendo necessário o treinamento adequado onde certamente os adeptos das empresas tornarão a aceitação da ferramenta mais fácil, diminuindo assim a ansiedade para com esta mudança.

Womack, Jones, Ross (2004) discorrem sobre os cinco conceitos atribuídos pela Toyota sempre objetivando o aumento da produtividade e conseqüentemente o aumento da produção sempre suprimindo os desperdícios, são eles:

- Especificar o valor;
- Fluxo de valor;
- Fluxo contínuo;
- Produção puxada;
- Perfeição.

A união entre os métodos tempo propício (*just-in-time* - JIT) e de automação (*jidoka*) são considerados a alma do sistema de produção enxuto. Trabalhar com estoque quase sempre zerados ou no mínimo possível além de manter uma boa relação de parceria com os fornecedores são características marcantes do JIT. Já o *Jidoka* nada mais é do que a melhoria operacional por meio de automatização propiciando aos equipamentos e aos executores uma maior velocidade de resposta diante as adversidades produtivas (Ohno, 1997).

Ao longo do tempo, vários estudiosos definiram desperdício na visão organizacional, Ohno (1997), definiu desperdício como as atividades realizadas, que necessitam de recurso e não geram resultado, De Oliveira et al. (2017), classificam os sete desperdícios do Sistema Toyota de Produção nas etapas conforme a figura 10.



Figura 10: Os sete desperdícios do sistema Toyota de Produção, segundo (De Oliveira et al., 2017)

Esses conceitos exigem das empresas um novo olhar sobre o seu papel, cargos e carreiras a fim de direcionar toda a cadeia de valor desde o início desta até o consumidor final.

O mapa de fluxo de valor (MFV) tem um ótimo apelo visual quando necessitamos observar dentro dos métodos industriais. Por meio de uma análise do processo atual o MFV é utilizado com o intuito de alcançar a realidade do processo, para a partir deste ponto propor melhorias (Rother, Shook, 1999).

Segundo Saurin, Ribeiro, Marodin (2010), conhecer os indicadores ao qual está submetido as operações é de suma importância para o sucesso da companhia, indicadores como produtividade, controle de estoques, satisfação do cliente, são alguns deste que devem ser identificados e medidos de forma que, o seu gerenciamento seja possível, ou seja, ele deve ser medido de forma proativa, com possibilidade de mudança ao longo do processo produtivo e não reativamente, sendo uma simples medição de resultado ao final do processo sem possibilidades de intervenção.

Neste contexto segundo Juran (1992), existe uma trilogia quando discutimos sobre o controle de qualidade do plano de lavra, o planejamento, o controle e a melhoria da qualidade. A figura 11 demonstra esta trilogia.

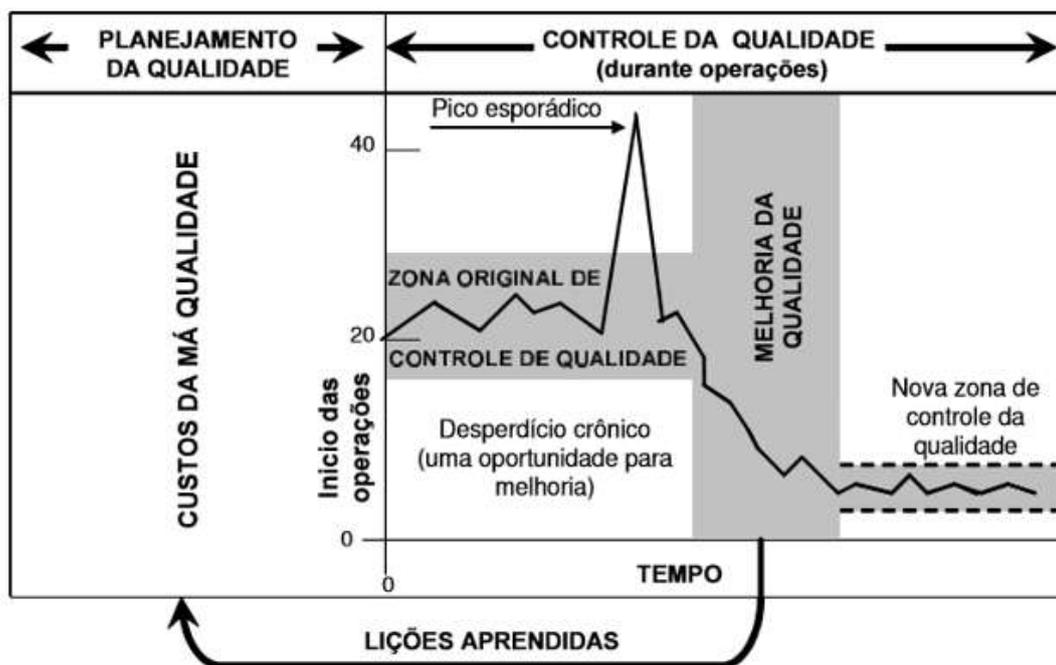


Figura 11: Diagrama da trilogia. Modificado (Juran, 1992), p.17.

Faria Junior (2010), discorre sobre o papel do planejador, em que esse é responsável pela elaboração do plano e entrega para a operação onde a função deste será realizar o plano da forma mais adequada com o objetivo de entrega do produto final.

Segundo também Faria Junior (2010) de acordo com o diagrama de trilogia de Juran (2009) exibido na figura 13, a execução tem uma deficiência em torno de 20% em relação ao planejado, sendo necessárias medidas mitigadoras no processo, gerando o desperdício e conseqüentemente o aumento do valor agregado do produto.

3.6 Planejamento de lavra

Todo empreendimento tem um objetivo, a forma como alcançá-lo necessita de técnicas. Chiavenato (2003) sugere que a função inicial para o empreendimento é o planejamento, pois este é um dos pilares para o bom andamento no alcance dos objetivos traçados pelas empresas. Ele é um prototipo do que deverá ser realizado pelas operações. Detalhando o máximo possível todas as disciplinas necessárias para a sua execução.

Corrêa, Giansesi, Caon (2001), divide o planejamento em três etapas, onde entre elas existem marcos obrigatórios para que uma boa aderência seja obtida.

Essas etapas estão ilustradas na figura 12.

PLANEJAMENTO	CONTEÚDO	EXTENSÃO DE TEMPO	AMPLITUDE
Estratégico	Genérico, sintético e abrangente.	Longo Prazo	Macro-orientado: Aborda a empresa como uma totalidade.
Tático	Menos genérico e mais detalhado.	Médio Prazo	Aborda cada unidade da empresa separadamente.
Operacional	Detalhado, específico e analítico.	Curto Prazo	Micro-orientado: Aborda cada tarefa ou operação apenas.

Figura 12: Três etapas de planejamento, (Corrêa, Giansesi, Caon, 2001).

O planejamento de mina, ou planejamento de lavra segue esse critério dividindo seu processo em planejamento de longo prazo, médio prazo e curto prazo (Campos, 2017).

O planejamento de lavra tem como objetivo principal determinar um plano ideal com VPL (valor presente líquido) rentável levando em consideração todas as interferências existentes no contexto. Algumas considerações devem ser observadas com o intuito de seguir critérios técnicos necessários para o bom andamento do planejamento de lavra, sendo o primeiro uma questão importante para todo o planejador, qual bloco deve ser lavrado? Em qual tempo deve ser lavrado e por fim, tomada a decisão de lavrar, qual o tipo de processo ele deverá ser submetido ou destinado.

Um planejamento bem implantado onde dentro deste haja um sistema de controle da produção eficiente, pode significar em um meio de aumento da competitividade das organizações, garantindo uma aderência do que foi planejado de massa de qualidade com os recursos adequados ao longo do tempo (Cacceta, Hill, 2003).

De acordo com Campos (2017) um planejamento bem feito, seguindo critérios cuidadosos, pode minimizar riscos e trazer retornos significativos para os investidores.

A necessidade de mercado, leva as grandes e médias companhias de mineração a realizar um planejamento de lavra, necessitando para isso conhecer todos as premissas que cercam a realização deste plano (Araújo, 2008).

A viabilidade econômica de um depósito mineral é de responsabilidade do planejamento de lavra, sendo este encarregado de avaliar o projeto em vários aspectos principalmente o aspecto econômico, definido assim a realização ou não da lavra, caso seja viável dar-se início as etapas de realização do plano de lavra iniciando por desenvolvimento, lavra, recuperação de área degradada e finalmente o fechamento da mina (Hustrulid, Kuchta, 1995).

Segundo Hustrulid, Kuchta (1995), executar uma aderência satisfatória mantém a saúde da cava por intermédio do minério liberado, atingindo os objetivos da empresa mitigando o risco do negócio.

Neste contexto uma sequência ótima se faz necessária para que a operação de mina siga uma estratégia de teor e massa pré-determinados para que os blocos sejam aproveitados se não em sua totalidade, mas sim em sua grande maioria, desta forma o melhor do teor de corte pode ser obtido (Lane, 1998).

A figura 13 demonstra um sequenciamento de lavra de curto prazo.

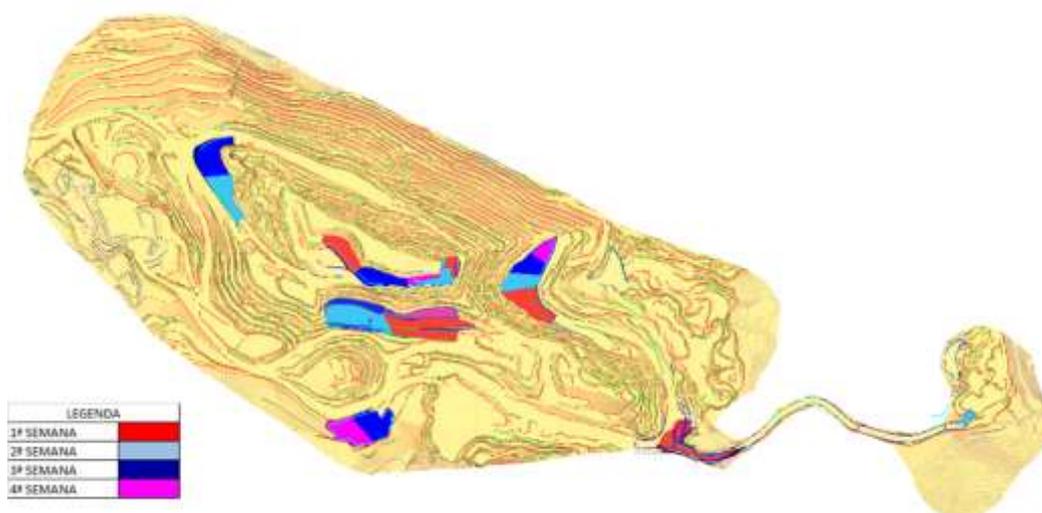


Figura 13: Sequenciamento de lavra de curto prazo (contribuição do autor, 2019)

O sequenciamento ótimo de uma cava propicia uma produção com marcos bem definidos onde estes demonstram as condições de exploração no decorrer de sua existência. Características como a geologia, aspectos da lavra, processamento são algumas das condições determinantes (Halatchev, 2002).

Curi (2017), difere o planejamento em quatro etapas por meio de fatores ligados ao processo, as características geológicas e naturais, os fatores econômicos, os fatores tecnológicos e os legais. Curi (2017) também discorre sobre a necessidade de o planejamento se dividir em etapas bem distintas, a determinação da cava ótima, a definição de *pushbacks* e a programação da produção

O planejamento de lavra de longo prazo é definido por Almeida (2017), como uma maneira com que as organizações exprimem seus objetivos, também segundo Johnson (1968), cabe ao planejamento de longo prazo a determinação da cava final, possibilitando assim o conhecimento de variáveis imprescindíveis para o empreendimento mineiro como a avaliação econômica estimada, a definição de áreas de implantação, de estruturas administrativas e plantas de beneficiamento entre outros fatores relevantes para o processo.

O planejamento de médio prazo é responsável pela transição entre os planejamentos de longo e de curto prazo. Campos (2017), traz que o planejamento de médio prazo tem como meta a elaboração de um plano mais tático e menos estratégico, já com uma preocupação maior com a produção maximizando o VPL, determinando processos e equipamentos necessários, viabilizando a lavra e a liberação de minério garantindo a subsistência da lavra.

O planejamento de curto prazo que é o foco deste trabalho, é o responsável pela garantia da exequibilidade do ROM (*run of mine*) que contempla entre outras variáveis a massa e as características químicas e físicas, sempre obedecendo os planos de longo e médio prazo (Curi, 2017).

Campos (2017), colabora com este tema definindo que o planejamento de curto prazo comumente compreende um período de um ano, sua diretriz é determinar as áreas a serem lavradas atingindo as metas de médio e longo prazo.

Senhorinho (2008) atribui ao planejamento de curto prazo a responsabilidade de concretizar os objetivos traçados pelo planejamento de longo prazo, sinalizando também

que o planejamento de curto prazo se divide em planejamento anual, mensal, semanal e diário.

Costa (2005), define planejamento de curto prazo como planejamento operacional, atribuindo a este a responsabilidade de definir as frentes a serem lavradas com objetivos de manter uma REM (relação estéril minerio) pré determinada.

Silva (2014) afirma que o planejamento de curto prazo é o responsável pela ligação entre o plano de longo prazo e a operação, diminuindo assim o grande “*gap*” existente entre estes processos. Segundo Silva (2014), cabe ao planejamento de curto prazo a interface entre as diversas disciplinas como a usina de beneficiamento, geotecnia, perfuração e desmonte entre outras.

A falta de aderência na realização do plano de lavra de curto prazo acarreta diversos transtornos atingindo momentaneamente a meta traçada para a operação, mas, contribuindo com correções significativas na nova caminhada para o atingimento dos objetivos traçados (Silva, 2014).

3.7 Indicadores de desempenho

Ângelo (2005), discorre que as organizações para alcançar objetivos estabelecem estratégias que baseiam a criação de indicadores de desempenho, porém a forma que estes são permeados pela empresa que definem o impacto gerado.

Segundo Ferreira (2018) as pessoas que compõe a organização são muito impactadas pelos indicadores de desempenho. A utilização dos indicadores de desempenho para uma maior compreensão dos acontecimentos atuais e futuros são essenciais para o sucesso da organização.

Ferreira (2018) também afirma que indicadores de desempenho sustentam o desempenho da empresa por meio de uma maior clareza de seus resultados, propiciando um negócio equilibrado e resguardado, sendo cobiçado por um maior número de investidores.

De posse dos controle proporcionados pelos indicadores de desempenho os gestores utilizam estes para fortalecer seus resultados utilizando a experiência de seus colaboradores para atingir seus objetivos (Kaplan, Norton, 1997).

De acordo com Carvalho (1991), um indicador de desempenho só faz sentido quando utilizado por profissionais que de alguma forma exercem atividades associadas a eles. Ele

tem que de forma objetiva determinar os fatos ocorridos comparados com os preestabelecidos.

Gerir uma organização é monitorar agindo de forma correta os indicadores de desempenho, pois sem um correto monitoramento não há uma gestão competente e sem acompanhamento deste indicadores não há controle (Juran, 1992).

Comparado como o termômetro da empresa, indicadores de desempenho é a mensuração de como estão se desenvolvendo as tarefas estabelecidas em um processo (Hronec, 1994). Mafra (1999) indica que a amplitude dos indicadores de desempenho na organização deve ser examinada com ênfase dada por diversos autores como na figura 14.

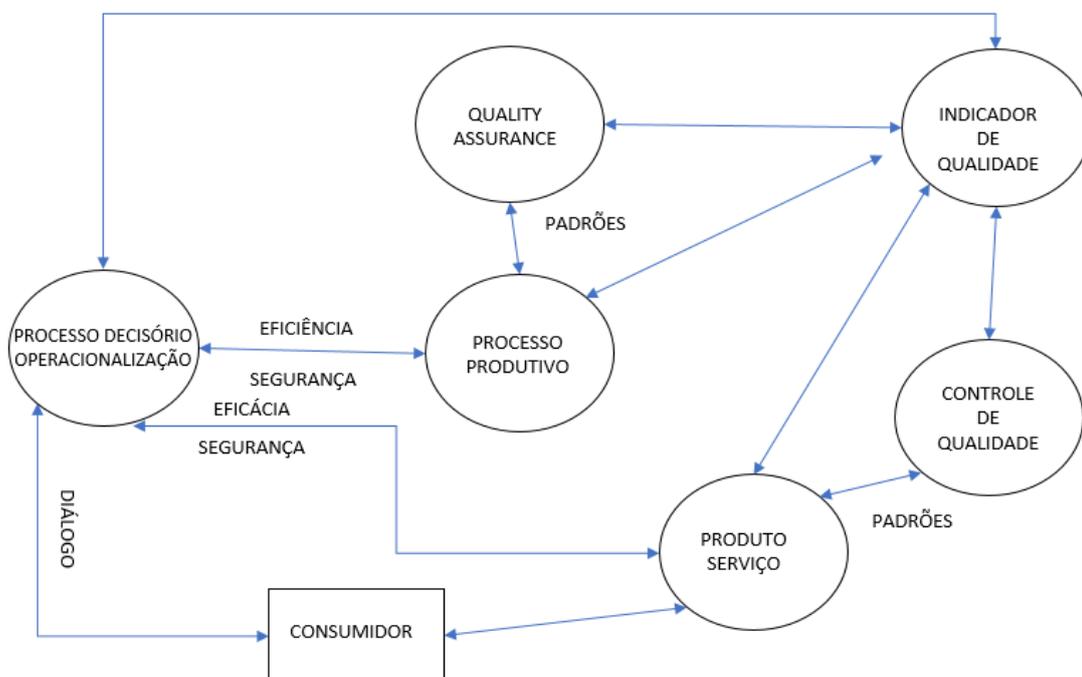


Figura 14: Indicadores de desempenho como elemento facilitador à operacionalização e à tomada de decisão (Gil, 1992)

Indicadores de performance são parâmetros imprescindíveis para a gestão, eles se tornam importantes devido a sua capacidade de proporcionar a constatação de falhas ou desvios entre objetivos programados e realizados (Nader, 2013).

Parmenter (2015) sugere que os indicadores de performance podem auxiliar as empresas a tornar suas tarefas mais assertivas alcançando os objetivos traçados.

Nader (2013), também afirma que os indicadores de desempenho podem ser divididos em quatro categorias, sendo elas:

- KRI;
- RI;
- PI;
- KPI.

Em que o KRI sugere como é a forma de fazer, RI sinalizam o que necessita ser realizado, PI sinaliza como foi realizado e por último KPI mostra qual dos indicadores leva a um ganho significativo de performance.

Segundo Nader, De Tomi, Passos (2012) os indicadores chave de desempenho (KPI), se dividem em duas categorias indicadores chaves de desempenho quantitativos e qualitativos.

3.8 Operações mineiras a céu aberto

Qing-Xia (1982) sugere que o ciclo operacional contém quatro ações:

- Perfuração;
- Desmonte;
- Carga;
- Transporte.

Qing-Xia (1982), também afirma que este ciclo é responsável por cerca de 30 a 40% dos custos em um empreendimento mineiro.

O plano de lavra é o norte para que o ciclo operacional ocorra, por intermédio deste, a programação dos avanços em cada frente é estabelecida juntamente com o período necessário para que esta movimentação ocorra. Esta junção de o que fazer e em quanto tempo fazer possibilitam prognósticos mais precisos de condições de segurança e ambiental, da relação estéril minério (REM), da qualidade do *run of mine* (ROM) entre outros aspectos, como o controle do custo operacional, e a saúde da cava, (Amaral, 2008). Segundo Pinto, Merschmann (2001), múltiplas frentes são necessárias para atender a necessidade do *blending*, ou seja, a mistura do minério, com o objetivo de atender as especificações previamente definidas de alimentação da usina de beneficiamento. Dito

isso, o conhecimento do ritmo de cada frente de trabalho é primordial para que o bom atendimento da usina seja realizado.

Costa (2005) sugere que os desvios ocorridos nesta fase de *blending* podem acarretar em descumprimentos de massa produzida, na qualidade do ROM e na REM devido a desvios nas fases do ciclo operacional.

De acordo com Macêdo, Bazante, Bonates (2001), alguns propósitos devem ser observados para a escolha correta do método de lavra, escolha esta que mitigará problemas como o de descumprimento de acordos pré-estabelecidos de alimentação de usina, de REM, entre outros. Estes propósitos estão relacionados com as questões de segurança, ambientais, sociais e econômicas.

Dentro do ciclo produtivo a carga é um dos destaques, responsável pela extração da massa da frente de lavra podendo ser realizada por meio de massa previamente desmontada ou no material *in situ* isto definido de acordo com a compacidade do material na frente de lavra. Vários são os tipos de equipamentos de carga, daremos evidência às escavadeiras a cabo, escavadeira hidráulicas, retroescavadeiras hidráulicas, carregadeiras sobre pneus e moto scrapers, que são equipamentos com maior frequência de uso na mineração (Borges, 2013).

No transporte, os caminhões estão em ênfase, podendo ser considerados em alguns casos as correias transportadoras. Nos caminhões os métodos de alocação das frentes seguem duas abordagens, sendo a alocação estática e a dinâmica. A alocação dinâmica segue determinações de algoritmos adequados para a mineração cujo o objetivo é o de otimizar o processo enviando os caminhões para as frentes que trarão maior produtividade e atenderão também a pré-requisitos estabelecidos como o de qualidade, DMT (distância média de transporte), entre outros. Já na alocação estática geralmente utilizada em minerações de menor porte os equipamentos recebem um comando de frente fixa, levando sempre em consideração apenas um ou dois parâmetros desconsiderando assim a melhor otimização para a operação (Costa, 2015).

De acordo com Bascetin, Oztas, Kanli (2006), a seleção dos equipamentos sofre algumas influências como as características da lavra, aspectos de segurança, ambiental, social e econômicos. Quando esta seleção leva apenas em consideração os conhecimentos prévios dos responsáveis pela tomada de decisão das operações, esta escolha está fadada a não respeitar algumas das interferências previamente sinalizadas.

Amaral (2008) sugere que a determinação de frotas a serem utilizadas em minerações não seguem um padrão pré-definido.

Amaral (2008) também afirma que as características do material a ser extraído, as circunstâncias do clima, a localização dos destinos das movimentações, os aspectos de segurança e sócias, são características que devem ser levadas em consideração para determinação da frota adequada para a operação mineira. De acordo com Srajer *et al.* (1989), as seleções dos equipamentos de transporte recebem mais atenção do que a seleção de equipamentos de carga.

Já Borges (2013) corrobora que os equipamentos de carga geralmente são selecionados para atender as necessidades de capacidade de carga, as condições climáticas e as necessidades de mobilidades entre as frentes de trabalho. Contudo para a seleção do equipamento de transporte, mais especificamente caminhões, os fornecedores geralmente participam do processo decisório, levando em consideração a capacidade, as características da topografia e climáticas do local.

Alguns requisitos devem ser considerados nesta escolha de equipamentos conforme sinalizado abaixo:

- O par ideal entre carga e transporte;
- A capacidade produtiva dos equipamentos ligadas as necessidades de atendimento ao programa produtivo;
- A necessidade de treinamento tanto operacional quanto de manutenção;
- Os custos como um todo, sendo o investimento inicial, o custo operacional e o de manutenção;
- A vida útil do equipamento.

Silva (2009) contribui com o tema identificando alguns aspectos importantes para a tomada de decisão na seleção de frota, são eles:

- As características geológicas;
- Os propósitos de produção;
- Tempo de vida do empreendimento;
- Capital de investimento;
- A geotecnia do local;
- ROR (*rate of return*) retorno do investimento;
- As interferências ambientais.

Silva (2009) também corrobora com o tema, sinalizando que além da seleção do equipamento também é necessário a determinação do porte dele. Várias são as condições que servem de parâmetros da definição do porte dos equipamentos, entre elas estão à altura da bancada no caso da carga e a DMT no caso do caminhão.

Nader (2013), sugere diversos indicadores de desempenho para a operação de lavra, dentre eles podemos citar: a utilização física (UF), a largura a rampa, a DMT, o fator de enchimento, a produtividade do efetivo, a aderência aos custos, o controle de CO₂, disponibilidade física (DF) dentre outros.

4. METODOLOGIA

Como método nesse trabalho, utilizou-se as técnicas da produção enxuta (metodologia *lean manufacturing*), para mitigar e identificar as variáveis que impactaram diretamente no não atingimento de 100% da efetividade de lavra.

Essa metodologia foi dividida conforme o fluxograma indicado na figura 15.

4.1 Determinação dos indicadores de (IA), (IC) e efetividade de lavra.

Suportados pela revisão bibliográfica desta dissertação os indicadores de IA, IC e efetividade de lavra foram calculados conforme descrito a seguir:

Costa (2015), sugere para o cálculo de índice de aderência (IA), índice de cumprimento (IC) e efetividade de lavra as fórmulas abaixo:

$$IA = \frac{PR}{(PR+RNP)} \quad (5)$$

$$IC = \frac{PR}{(PR+PNR)} \quad (6)$$

$$Efetividade\ de\ lavra = (IA + IC)/2 \quad (7)$$

Onde é definido PR como planejado realizado, ou seja, é o confronto entre a topografia original e a topografia realizada, o PNR é o planejado não realizado que é o confronto

entre a topografia planejada e a topografia planejada e por fim o RNP que também é o confronto entre a topografia planejada e a topografia planejada.

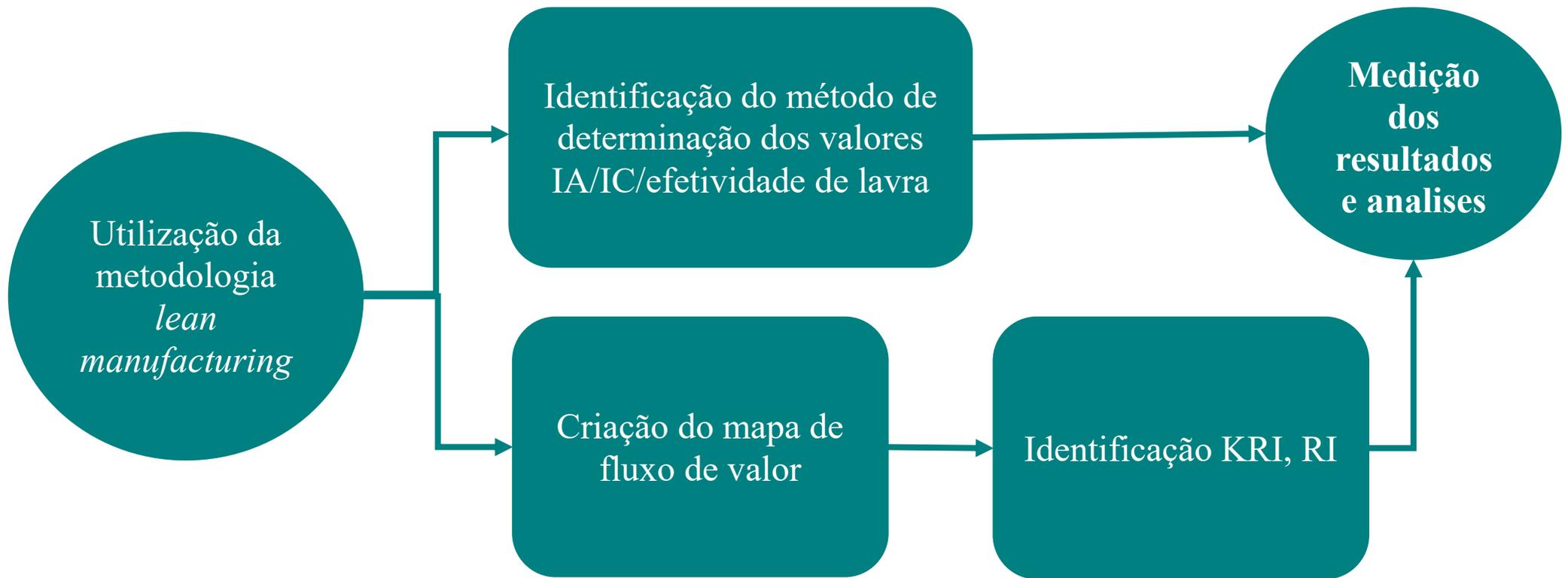


Figura 15: Fluxograma da metodologia. (Contribuição do autor, 2019).

4.2 Metodologia *lean manufacturing*.

4.2.1 Mapa de fluxo de valor.

Como ferramenta da metodologia o mapa de fluxo de valor (MFV) foi utilizado para a identificação dos indicadores de KRI (*key result indicator*) e RI (*result indicator*).

Como laboratório para elaboração desta ferramenta uma mina de ferro foi utilizada.

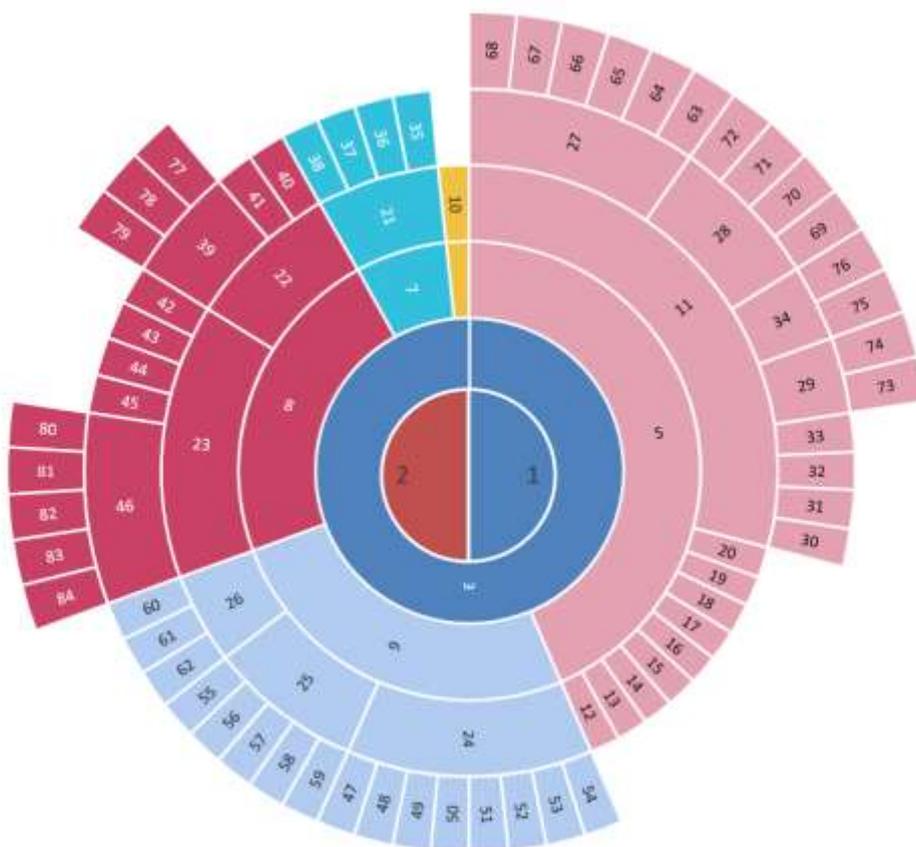
A figura 16 ilustra a localização e o público que participou deste mapeamento.



Figura 16: Localização e público participante. (Contribuição do autor, 2019).

Como resultado do MFV a figura 17 ilustra a identificação do KRI e a figura 18 ilustra o resultado do RI.

Gráfico explosão solar, este sinaliza a hierarquização dos indicadores conforme cores e regiões.



1 Aderência	30 Sondagem	59 Geometria
2 Cumprimento	31 Indicadores do modelo	60 ferramentas
3 Efetividade de Lavra	32 Topografia	61 Aderência PlanejadoXplano diluido
4 Gestão	33 Geologia de Longo Prazo	62 Ratificação do plano
5 Geologia	34 Densidade	63 QA/QC
6 Operação	35 Simulação das Frentes	64 Programação
7 Controle de Qualidade	36 Destinação	65 Retro
8 Topografia	37 Reconciliação químicalfísic	66 Validação
9 Planejamento	38 Estoques	67 Insumos
10 Alteração do Plano	39 Qualidade	68 Mão de Obra
11 Modelo de Blocos	40 Insumos	69 Aderência às áreas lavradas
12 Manutenção	41 Mão de obra	70 Relação modeloXmapa
13 Lavra	42 Planejamento	71 Insumos
14 Infra	43 Frentes de Lavra	72 Mão de Obra
15 Hidráulica	44 Insumos	73 Check Granuloquímicos
16 Elétrica	45 Mão de Obra	74 Check de Coordenadas
17 Perfuração	46 Acompanhamento	75 Programação
18 Desmonte	47 Geotecnia	76 Reconciliação
19 Meio Ambiente	48 Geometria	77 Estoque de Produtos
20 Usina	49 Massa produção	78 Estoque de ROM
21 Programação	50 Qualidade de ROM	79 Avanços de Lavra
22 Levantamento	51 Indicadores (Man. e Operaç:	80 Locação
23 Marcação	52 Interferências	81 Locação perfuração
24 Parâmetros	53 Topografia	82 Recuperação de estacas
25 Acompanhamento da r	54 Modelo	83 IDGO
26 Validação	55 Line Up	84 PPPC/PGO
27 Amostra	56 DMT	
28 Mapeamento	57 Minério Liberado	
29 Banco de Dados	58 Velocidade de lavra	

Figura 17: Gráfico de explosão solar, identificação do KRI (Contribuição do autor, 2019).

Na figura 18, os valores numéricos se referem aos valores enumerados no gráfico de explosão solar.

4.3 Medição dos resultados análises.

Para acompanhamento e medição dos resultados utilizou-se a ferramenta da gestão visual dos indicadores identificados no RI conforme ilustrado na figura 19. Para o cálculo dos valores RNP, PR e PNR foi necessário a atualização da topografia realizada por meio de scanner nas datas pré-determinadas e do modelo de blocos referente a confecção do plano de lavra, um dos resultados deste levantamento segue ilustrado conforme figura 20. Para análise dos dados coletados foram utilizados gráficos de Pareto, de comparações visual, de tendência, e de dispersão.

10	Número de revisões nos planos mensal, trimestral e anual
11	(Df carga, df transporte, df infra, df perfuratriz) orç./real.
12	(Uf carga, uf transporte, prod. Carga, prod. Transporte) orç/real.
13	Retaludamento orç/real.; drenagem orç/real.; atividades Line up, idgo infra;
14	Eficiência de poços; line up
15	Line up
16	Metros perfurados orç/real.; aderência as frentes programadas; line up;
17	Massa desmontada orç/real.; carga por furo orç/real.; line up; aderência as frentes programadas
18	Números de ações reativas x preventivas (paradas de equipamentos)
19	Massa orçada /massa realizada; controle de estoque
30	Metros perfurados orç/real; aderência financeira orç/real; aderência a programação orç/real; aderência a localização orç/real
31	Estatísticas do modelo; valor negativo; bloco não estimado; blocos inferidos
32	Meta de qualidade da topografia
33	Cumprimento de cronograma de integração
35	(Destinação x reconciliação) orç/real
36	Massa orç por frente/real
37	Teores orça por frente/real
38	Controle de massa e de teor estocados
41	Aderência ao check list
42	Aderência ao quadro orçado

43	Aderência a data de recebimento
44	Somatório (número de frente * prioridade) /prioridade orç/real
45	Aderência a check list
46	Aderência ao quadro orçado
47	Aderência a data de recebimento dos parâmetros e aderência ao número de parâmetros altura. Largura, ângulo e drenagem
48	Aderência a data de recebimento
49	Aderência a data de recebimento dos valores
50	Aderência a data de recebimento dos valores
51	Aderência a data de recebimento dos valores
52	Aderência a data de recebimento dos valores
53	Aderência a data de recebimento dos valores
54	Aderência a data de recebimento dos valores
55	Acompanhamento das ações line up, semanal mensal e anual
56	DMT's orç/DMT's real semanal e mensal
57	Minério liberado, mensal, trimestral e anual
58	$Df * uf * pro * 24$ orç/real
59	Elaboração do plano tradicional ou sequenciador
60	Massa e teor elaborado/massa e teor diluído; número de retornos
61	Ratificação do plano pelo supervisor de planejamento, operação, infra e geotecnia
63	Número de amostras com desvio/número de amostra
64	$((amostras\ realizadas / amostras\ programas) + a + c + (data\ da\ amostra / data\ do\ envio) + (data\ de\ retorno\ do\ laboratório / data\ de\ entrada)) / 5$

65	Oee=df*uf*prod.
66	Clv/cli
67	N de aderência aos itens da lista (check list)
68	N de pessoas /n de vagas
69	Área lavrada/área mapeada
70	Mapa a3 com as considerações do geólogo
71	N de aderência aos itens da lista (check list)
72	N de pessoas /n de vagas
73	Check químico, check granulométrico
74	Check de coordenadas
75	Aderência ao número de amostras por litologia orç/real
76	Densidade apontada no modelo/densidade campo
77	Desvio do apontado x cubado
78	Desvio apontado x cubado
79	Script topografia
80	Número de estacas marcadas x número de estacas remarcadas semanal e mensal
81	Número de estacas marcadas x número de estacas remarcadas semanal e mensal
82	Número de estacas recuperadas semanal e mensal
60	Medição da geometria para definição da aderência e cumprimento semanal, mensal, trimestral e anual;
83	Medição dos indicadores de geotecnia
84	Medição do plano de preparação do período chuvoso e garantia operacional

Figura 18: Identificação do RI (Contribuição do autor, 2019).



Figura 19: Ilustração de gestão visual. (Contribuição do autor, 2019).

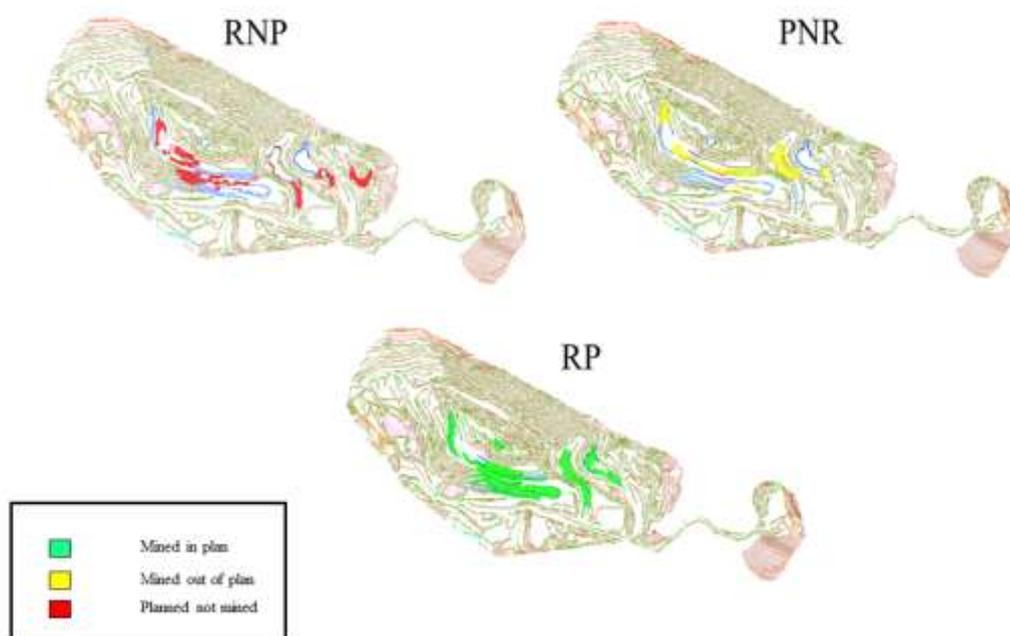


Figura 20: Ilustração geométrica dos valores de RP, PNR e RNP. (Contribuição do autor, 2019).

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Esse trabalho cumpriu seu objetivo geral e específico, sobre a necessidade de identificação dos indicadores chaves de desempenho, ou seja, os KPI's, que realmente exigem um maior acompanhamento e conseqüentemente testar a metodologia produção enxuta no planejamento de lavra de curto prazo, identificando as principais causas de não atingimento da efetividade de lavra de 100%.

O aprofundamento dos resultados e discussões poderão ser verificados de forma mais abrangente em formato de artigo no apêndice desse documento.

6. CONCLUSÕES

Aproximadamente 18% do problema apresentado no objetivo geral deste trabalho dizem respeito a variáveis como indisciplina operacional, variabilidade dos indicadores de DF e UF e nível de praça e ângulo de face inadequados, que se mostraram resistentes às ferramentas de solução de problemas que foram aplicadas, por dependerem em grande parte de atitudes comportamentais. Mesmo com a redução das perdas associadas às mesmas, elas ainda persistem no impacto dos indicadores de IA e IC e conseqüentemente na efetividade de lavra.

Por outro lado, nos aproximadamente 82% restantes do problema, a utilização desta metodologia se mostrou robusta para a identificação e controle dos indicadores de IA e IC, método esse que aumentou a credibilidade do plano de lavra e conseqüentemente uma maior aderência e cumprimento da geometria

A identificação dos fatores mais impactantes no processo de IA e IC, definidas como indisciplina operacional, variabilidade dos indicadores de DF e UF e nível de praça e ângulo de face inadequados, passaram a ser considerada como indicadores chaves de desempenho do processo, recebendo um acompanhamento mais especial da gestão e conseqüentemente controle do envolvidos diretamente no processo de elaboração e execução do plano de lavra.

Finalmente pode -se afirmar que o complexo problema apresentado neste trabalho pode ser convenientemente equacionado através da metodologia proposta, acoplada às iniciativas de aprimoramento comportamental dos funcionários envolvidos na cadeia de valor da mineração, observando-se o quão importante são os fatores comportamentais que representaram no caso em estudo, 18% do desvio do estado da arte que seria atingir-se 100% do plano total.

7. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Considerando os resultados obtidos neste trabalho, algumas variáveis mesmo com a utilização das ferramentas adotadas, demonstraram resistência e se mantiveram como causas raiz para o não atingimento de 100% da efetividade de lavra. Sugerimos dessa forma um estudo mais aprofundado das variáveis a seguir:

- Indisciplina operacional;
- Variabilidade dos indicadores DF/UF;
- Nível de praça/ângulo de face.

Devido ao caráter comportamental dessas variáveis, ou seja, ferramentas de engenharia por si só não mitigam esse problema, é necessário que métodos mais robustos de gestão sejam implantados para entender a obrigação de ao longo das execuções dos planos de lavra existirem a necessidade de que essas variáveis estejam sempre causando desvios nos indicadores aderência e cumprimento.

8. REFERÊNCIAS

ALMEIDA, W. E. Uma análise da importância do plano de aproveitamento econômico no processo de tomada de decisão na mineração, 2017.

ÂNGELO, L. B. Indicadores de desempenho logístico. Santa Catarina: UFSC, 2005.

AMARAL, M., Modelos matemáticos e heurísticas para auxílio ao planejamento de operações de lavra em minas a céu aberto, Mestrado em Engenharia de Produção, Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais, 108 p., 2008.

ARAUJO, C. A. C. Desenvolvimento e aplicação de um Método de Implementação de sistemas de Produção Enxuta utilizando os processos de raciocínio da Teoria das Restrições e o Mapeamento de Valor. Dissertação de Mestrado. EESC-USP, 2014.

ARAÚJO, F. C. R. Planejamento Operacional de Lavra Com Alocação Dinâmica e Caminhões: Abordagens Exata e Heurística; Ouro Preto 2008.

ARROYO ORTIZ, C. E. Uma utilização de simulação geostatística no tratamento de incertezas no planejamento de mina. 2008.

ASSIS, A. H. Teores de corte: uma análise da influência no resultado econômico de um empreendimento mineiro. 2016.

BORGES, T. C. Análise dos custos operacionais de produção no dimensionamento de frotas de carregamento e transporte em mineração. 2013.

BASCETIN, A.; OZTAS, O.; KANLI, A. I. EQS: A computer software using fuzzy logic for equipment selection in mining engineering. Journal-South African Institute of Mining and Metallurgy, v. 106, n. 1, p. 63, 2006.

BOWDITCH, J. L.; BUONO, A. F. Elementos de comportamento organizacional. São Paulo: Pioneira, 1992.

BRINKER, R. C.; WOLF, P. R. Elementary Surveying. 6 ed. New York: Harper & Row, 1977. 568p.

CACCETA, L.; HILL, S. P. An Applicatio Of Branch And Cut To Open Pit Mine Scheduling. Journal Of Global Optimization, v.27, p.349-365. 2003.

CAMPOS, P. H. A. Um comparativo de metodologias do planejamento de lavra Sequenciamento direto de blocos VS Planejamento tradicional. 2017. Dissertação (Mestrado em Eng. de Minas) - Universidade Federal de Ouro Preto, UFOP, Ouro Preto, 2017.

CARVALHO, M. M. Um sistema de controle de qualidade para a indústria têxtil. Dissertação de Mestrado. Florianópolis: UFSC, 1991.

CHIAVENATO, I. Introdução à teoria geral da administração. Elsevier Brasil, 2003.

CORRÊA, H. L.; GIANESI, I.G.N.; CAON, M. Planejamento, programação e controle da produção; MPR II/ ERP: conceitos, uso e implantação. 4ª ed. São Paulo: Atlas, 2001. 452 p.

COSTA, F. V. Análise dos principais indicadores de desempenho usados no planejamento de lavra. 2015.

COSTA, F. P. Aplicações de Técnicas de Otimização a Problemas de Planejamento Operacional de Lavra Em Minas A Céu Aberto Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mineral Ouro Preto 2005.

CURI, ADILSON. Lavra de Minas. Oficina de Textos, 2017

DE OLIVEIRA, R. P. et al. Lean Manufacturing em Associação à Automação Industrial: Estudo de Caso Aplicado à Indústria Moveleira. Revista Espacios, v. 38, n. 17, p. 23, 2017.

DOMINGUES, F. A. A. Topografia e astronomia de posição para engenheiros e arquitetos. Mac Graw-Hill, 1979.

DOUEBEK, A. Topografia. Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 1989.

ESPARTEL, L. Curso de topografia. 9. ed. Rio de Janeiro: Globo, 1987. 655 p. il.

FARIA JUNIOR, A. Aprimoramento de controle de qualidade do minério no planejamento de lavra de curto prazo: estudo de caso. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo. 2010.

FERREIRA, M. P. et al. Gestão por indicadores de desempenho: Resultados na incubadora empresarial tecnológica. Production, v.18, n.2, p. 302-318, 2018.

GIL, A. L. Qualidade total nas organizações: indicadores de qualidade, gestão econômica de qualidade, sistemas especialistas de qualidade. 1992.

HALATCHEV, R. The time aspect of the optimum long-term open pit production sequencing. Application of computers and operations research in the mineral industry, 2002, 30: 41.

HRONEC, S. M. Sinais vitais: usando medidas do desempenho da qualidade, tempo e custo para traçar a rota para o futuro de sua empresa. Makron Books, 1994.

HUSTRULID, W.; KUCHTA, M. Open pit mine planning & design, Irradiação Sul Ltda, Porto Alegre, Vol. 1: Fundamentals, 1995.

JOHNSON, T. B. Optimum open pit mine production scheduling. California Univ Berkeley Operations Research Center, 1968.

JURAN, J. M. A qualidade desde o projeto: Os novos passos para o planejamento de qualidade em produtos e serviços. São Paulo: Cengage Learning, 2009. 551 p.

JURAN, J. M. A qualidade desde o projeto: novos passos para o planejamento da função qualidade. Tradução por: Nivaldo Montige Jr. São Paulo: Pioneira, 1992.

KAPLAN, R. S.; NORTON, D. P. A estratégia em ação: balanced scorecard. Gulf Professional Publishing, 1997.

KRŽANOVIĆ, D.; KOLONJA, B.; STEVANOVIĆ, D. Maximizing the net present value by applying an optimal cut-off grade for long-term planning of the copper open pits. 2015.

LANDIM, P. M. B. Análise estatística de dados geológicos. Unesp, 2003.

LANE, K. The Economic Definition of Ore. London: Mining Journal Books, 1998.

MACÊDO, A. J. B.; BAZANTE, A. J.; BONATES, E. J. L. Seleção do método de lavra: arte e ciência. Rem: Revista Escola de Minas, v. 54, n. 3, p. 221-225, 2001.

MAFRA, A. T. et al. Proposta de indicadores de desempenho para a indústria de cerâmica vermelha. 1999. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) -Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

MEDEIROS, E. B. et al. Um modelo de gestão integrada de qualidade, meio ambiente, segurança e saúde ocupacional para o desenvolvimento sustentável: setor de mineração. 2003.

MENDES DE PAULA, G. Estratégias corporativas e de internacionalização de grandes empresas na América Latina. 2003.

MINTZBERG, H. The strategy concept I: Five Ps for strategy. California management review, 1987, 30.1: 11-24.

MINTZBERG, H A. Synthesis of the Research. University of Illinois at Urbana-Champaign's Academy for Entrepreneurial Leadership Historical Research Reference in Entrepreneurship. Historical Research Reference in Entrepreneurship, 1979.

NADER, B. Monitoramento de talude via radar SSR como indicador chave de desempenho geotécnico integrado às atividades primárias da cadeia de valor mineral. 2013. Tese (Doutorado em Eng. De Minas) – Universidade de São Paulo, USP, São Paulo, 2013.

NADER, B.; DE TOMI, G.; PASSOS, A. O. Indicadores-chave de desempenho e a gestão integrada da mineração. Rem: Revista Escola de Minas, v. 65, n. 4, p. 537-542, 2012.

OHNO, T. (1997). O Sistema Toyota de Produção: Além da produção em larga escala. Bookman, Porto Alegre.

PARMENTER, D. Key performance indicators: developing, implementing, and using winning KPIs. John Wiley & Sons, 2015.

PEARLSON, K., SAUNDERS, C. Managing and using information systems: A strategic approach. John Wiley & Sons, 2019.

PINTO, L. R.; MERSCHMANN, L. H. C. Planejamento operacional de lavra de mina usando modelos matemáticos. REM: Revista Escola de Minas, V.54, n.3, p. 211-214, 2001.

PINTO, V. B. Informação: a chave para a qualidade total. Ciência da Informação, v. 22, n. 2, 1993.

PORTER, M. E. Vantagem competitiva: criando e sustentando um desempenho superior. Rio de Janeiro: Campus, 1992.

RASERA, L. G. Geoestatística de múltiplos pontos aplicada à simulação de modelos geológicos em grids estratigráficos. 2014.

ROTHER, M.; SHOOK, J. (1999). Aprendendo a enxergar: mapeando o fluxo de valor para agregar valor e eliminar o desperdício. São Paulo: Lean Institute Brasil, 1999.

QING-XIA, Y. (1982), Computer simulation of drill-rig/shovel operations in open-pit mines. Proceedings of 1982 Winter Simulation Conference, 463-468.

SAURIN, T. A.; RIBEIRO, J. L. D.; MARODIN, G. A. Identificação de oportunidades de pesquisa a partir de um levantamento da implantação da produção enxuta em empresas do Brasil e do exterior. Gestão e produção. São Carlos, SP. Vol. 17, n. 4 (out. /dez. 2010), p. 829-841, 2010.

SENHORINHO, N. C. S. Metodologia de planejamento estratégico de lavra incorporando riscos e incertezas para a obtenção de resultados operacionais. 2008. Tese (Doutorado em Eng. De Minas) – Universidade de São Paulo, USP, São Paulo, 2008.

SHANK, J.K.; GOVINDARAJAN, V. Gestão Estratégica de Custos: a nova ferramenta para a vantagem competitiva. Trad. Luiz Orlando Coutinho Lemos. Rio de Janeiro: Campus, 1995.

SHIBA, S.; GRAHAM, A.; WALDEN, D. A new American TQM: Four practical revolutions in management. Portland, OR: Productivity Press, 1993.

SLACK, N.; CHAMBERS, S.; JOHNSTON, R. Administração da produção. 2 ed. São Paulo: Ed. Atlas, (2002).748 VOL.

SILVA, H. C. N. Uma abordagem sobre planejamento de lavra de curto prazo com ênfase na metodologia da programação diária (Line up) da mina do salobo. 2014. Monografia

(Especialização em Eng. de Minas) – Universidade Federal de Ouro Preto, UFOP, Ouro Preto, 2014.

SILVA, V. C. Carregamento e transporte de rochas. Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto. 2009.

SOUZA, R. A. Análise e Controle dos Índices de Aderência e Cumprimento para Planos de Lavra. 2013. 41 p. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal de Goiás, Catalão, 2013.

SRAJER, V., et al. Selection of hauling equipment: user practices. Application of Computers and Operations Research in the Mineral Industry (APCOM). Published by AIME, Littleton. Colorado, USA pg, 1989, 638-645.

VEIGA, L. A. K.; ZANETTI, M. A. Z.; FAGGION, P. L. Fundamentos de topografia. 1. ed. Paraná: Universidade Federal do Paraná, 2012. 205p.

WOMACK, J. P.; JONES, D. T.; ROSS, D. (2004). A Máquina que Mudou o Mundo: baseado no estudo do Massachusetts Institute of technology sobre o futuro de automóvel. Tradução Ivo Korytowski. Rio de Janeiro: Elsevier.

APÊNDICES

APÊNDICE I – INDICADORES DE DESEMPENHO E SUA IMPORTÂNCIA PARA UM EFICAZ PLANEJAMENTO DE LAVRA DE CURTO PRAZO E OPERACIONAL

RESUMO

A mineração no Brasil é um dos pilares de sustentação do PIB (produto interno bruto). A sua execução exige técnica e perícia, pois, vários são os *stakeholders* envolvidos. Em um empreendimento mineiro, a cadeia de valor conduz esse negócio de forma a atingir os objetivos. O planejamento de lavra exerce grande influência no desempenho desta, pois, é através dele que a organização se baseia para ofertar ao mercado seus produtos e consequentemente o baixo cumprimento das premissas estabelecidas trará transtornos indesejáveis. Dentro do planejamento, o de curto prazo, se dedica a operacionalizar os planos viabilizados pelas equipes de longo e médio prazo, além de atender as variações do mercado. Os indicadores que controlam esse processo são de grande importância, pois uma identificação equivocada inserida nos diversos critérios que o compõe, podem orientar os gestores a tomadas de decisão ineficientes, fragilizando o negócio. O objetivo deste trabalho será estudar as variáveis inseridas no processo produtivo do plano de lavra de curto prazo que suportam a assertividade dos indicadores aderência e cumprimento. Utilizou-se para este objetivo o método *lean manufacturing* empregando suas ferramentas de gestão, controle e de análise de desvios, identificando as principais causas de não atingimento do estado da arte de 100% de aderência ao indicador efetividade de lavra. Neste trabalho, notou-se que com a metodologia aplicada alavancou o indicador efetividade de lavra, determinando as principais causas para o não atingimento do estado da arte deste indicador.

Palavra-chave: Cadeia de valor, Indicadores de desempenho, planejamento de lavra, planejamento de curto prazo, operacional.

INTRODUÇÃO

De acordo com Porter (1992) as empresas são compostas por atividades realizadas com o intuito de alcançar objetivos bem definidos, a saber, planejar, produzir, comercializar entre outras atividades.

Shank e Govindarajan (1995) pontuam sobre a estrutura da cadeia de valor como um método para se dividir o processo produtivo em cadeia. Essa divisão permeará desde a matéria prima até o cliente, o que permite mapear tarefas estratégicas e relevantes bem como compreender suas variáveis de controle como custos, produtividade entre outros. Desse modo, pode-se definir cadeia de valor como o mapeamento das atividades primárias das empresas, com intuito de quebrar os silos formados e gerar um produto final único com maior produtividade e qualidade com menor custo. Na mineração especificamente, a sua matéria prima, que se resume a extração de minério, insumo não renovável, gera uma necessidade de um estudo prévio para a determinação desta cadeia, diferentemente de outras atividades econômicas, garantindo assim o ótimo desempenho do empreendimento (Nader,2013). A cadeia de valor do mineiro de ferro envolve todos os processos necessários para a execução das atividades minerais. A figura 1 ilustra, de modo generalista, a sequência desses processos.

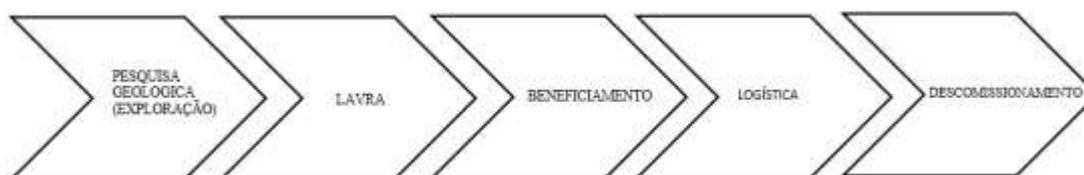


Figura 1: Cadeia de valor do minério de ferro (Nader, 2013) adaptado.

Inserido de forma protagonista nesta cadeia de valor, o planejamento de lavra exerce papel fundamental, sendo responsável pelo elo entre as diversas atividades e norteando cada um dos processos. Em geral, a indústria da mineração consolida seu processo de planejamento de lavra em três fases, sendo elas longo, médio e curto prazos (Campos, 2017). Buscou-se neste trabalho um direcionamento maior no planejamento de curto prazo, destacando suas fases e particularidades dentro da cadeia de valor da mineração.

O planejamento de curto prazo está necessariamente restrito aos requisitos pré-definidos pelo planejamento de longo e médio prazo. Desse modo, uma das tarefas é traduzir as metas elaboradas por estes, como bases operacionais do planejamento de curto prazo (Senhorinho, 2008), além de ser responsável por tornar o plano operacional ao ponto de evitar a movimentação a todo custo, ou seja, exclusivamente para cumprir metas e indicadores.

A fim de atingir seus objetivos, que passa diretamente pelos objetivos da cadeia de valor, o planejamento de curto prazo elabora o seu plano de lavra e a partir dele determina o ROM (*Run of mine*). Nesse indicador são identificados os valores de massa e qualidade dos produtos e conseqüentemente se torna um dos pilares da REM (relação estéril/minério) necessária para a manutenção da saúde da cava.

Segundo Curi (2017), há uma grande dinâmica no planejamento de lavra, em que na fase da execução diversos processos estão diretamente envolvidos para o sucesso do plano. Para a elaboração de um plano de lavra de curto prazo é necessário seguir as premissas: cava final, topografia, parâmetros geotécnicos, modelo de blocos, indicadores chaves de desempenho (KPI's) de manutenção e operação, modelo hidrogeológicos, legislação, interferências, premissas de massa e qualidade, dentre outras. De posse de todas as premissas, o planejador realiza os avanços em software adequado e determina os objetivos para o plano de lavra como demonstrado a figura 2.

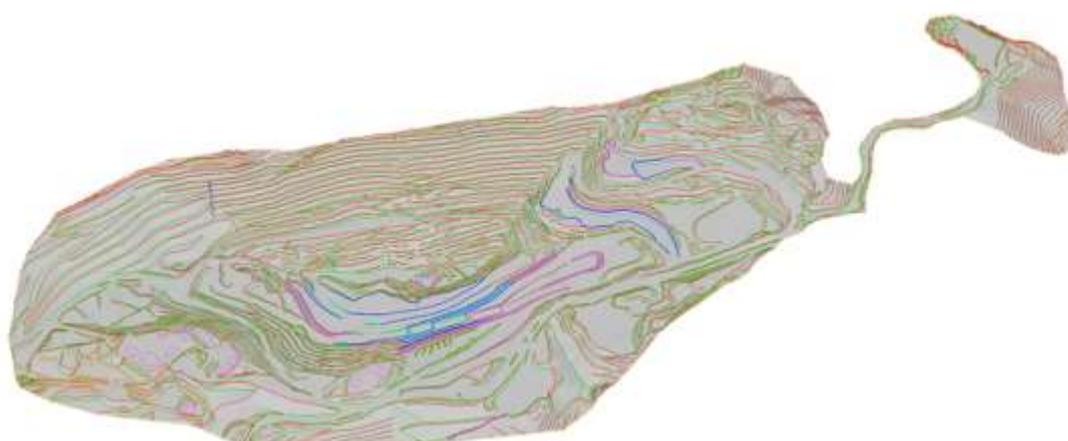


Figura 2: Geometria planejada (contribuição do autor, 2019).

Caso tenha ocorrido uma aderência e cumprimento adequados, a geometria proposta deverá atender necessariamente a todas as demandas da cadeia de valor. Nesse cenário, a definição adequada da forma de acompanhamentos de todas as atividades percussoras das premissas pré-estabelecidas é essencial para o bom andamento do plano de lavra.

Nader (2013) definiu que as medidas de controle se dividem em indicadores chave de resultado (KRI), indicadores de resultado (RI), indicadores de performance (PI) e indicadores chaves de desempenho (KPI), sendo que KRI determina como devem ser realizadas as atividades, RI indicam o que foi realizado, o PI determina o que precisa ser realizado e por fim o KPI que informa quais parâmetros geram uma elevação expressiva de performance.

Posto isso, este trabalho tem como ponto de partida dois indicadores chaves de desempenho, a aderência e o cumprimento do plano de lavra que originam um único indicador a efetividade de lavra, sendo um dos desafios, integrar a cadeia de valor do planejamento de curto prazo ao da cadeia de valor da mineração. Conseqüentemente com isso, atender à velocidade de resposta que o mercado atual exige ao processo por meio de mapeamento dos indicadores de performance e a definição adequada dentro de critérios técnicos.

A necessidade de melhoria contínua nos processos mineiros na qual o planejamento de curto prazo por meio dos indicadores aderência e cumprimento se mostra muito sensível às variáveis operacionais, econômicas e licenciamento ambiental, justificam este trabalho.

Este trabalho visa por meio das técnicas do pensamento enxuto e de utilização de ferramentas estatísticas, identificar os critérios e como medi-los para aumentar a eficiência dos resultados do planejamento de curto prazo e conseqüentemente atender a toda cadeia de valor da mineração.

MATERIAIS E METÓDOS

A necessidade de aumentar a assertividade dos planos de lavra de curto prazo e conseqüentemente garantir que o ROM previamente fornecido para toda cadeia de valor da empresa, suporte às diversas tomadas de decisão e a venda de produtos, despertou o interesse neste artigo.

Identificação do estado da arte para a determinação do IA e IC

Com a obrigação de garantia dos valores de massa e qualidade do ROM previamente enviados, estabeleceu-se inicialmente por meio de revisões bibliográficas e levantamentos técnicos, com o apoio de ferramentas estatísticas, dois indicadores chaves de desempenho para medir a efetividade do plano de lavra elaborado, são eles:

- O índice de aderência (IA) do plano e lavra, que determina quão assertivas foram as premissas preestabelecidas, a maturidade operacional para seguir a geometria pré-determinada e conseqüentemente a eficácia do planejamento em realizar a geometria do plano.
- O índice cumprimento (IC), que mede a assertividade em definir os parâmetros para a execução do plano, o quão disciplinado a operação é para a execução da geometria proposta, a assertividade do modelo de blocos e da topografia original para elaboração do plano e a efetividade dos valores estabelecidos para o *overall equipment effectiveness* (OEE), que por sua vez é composto pela disponibilidade física (DF) utilização física (UF) e produtividade.

O indicador IA e IC por sua vez, são determinados pela diferença entres geometrias. Essas diferenças entre geometrias geram três indicadores, são eles:

- Realizado planejado (RP), que determina o volume realizado dentro do plano de lavra;
- Realizado não planejado (RNP), que mede o volume realizado fora da geometria proposta;
- Planejado não realizado (PNR) que mede o volume que não foi realizado dentro do plano de lavra.

De acordo com Costa (2015), a identificação de PNR e RNP se dá pelo confronto entre as topografias planejadas e realizadas, já para a determinação do PR se faz necessário as topografias inicial e realizada, conforme a figura 3.

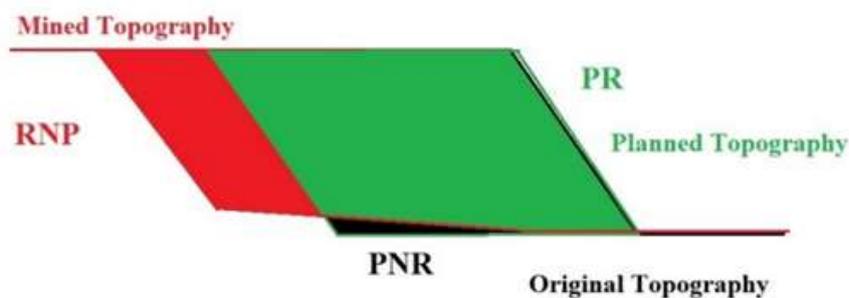


Figura 3: Perfil topográfico em seção vertical (Costa 2015) adaptado.

Costa (2015), também sugere para o cálculo de IA, IC e efetividade de lavra as fórmulas abaixo:

$$IA = \frac{PR}{(PR+RNP)} \quad (1)$$

$$IC = \frac{PR}{(PR+PNR)} \quad (2)$$

$$Efetividade\ de\ lavra = (IA + IC)/2 \quad (3)$$

Mapeamento do fluxo do planejamento de curto prazo

Dentro da literatura, buscou-se processos que poderiam suportar este levantamento concluindo que o mapa de fluxo de valor (MFV) para esta necessidade específica seria o mais adequado. A decisão de utilizar o MFV, se deu pela necessidade de mitigar a ansiedade gerada pelo dia a dia, que nos faz sempre querer resolver os problemas que aparecem de maneira nem sempre de forma assertiva e adequada.

Na elaboração de uma MFV, controlar esta ansiedade na medida que os problemas vão sendo mapeados é um dos papéis do líder do mapeamento, pois, um dos grandes possíveis erros na elaboração do MFV é tentar resolver os erros antes de o processo estar totalmente mapeado, fugindo assim do objetivo principal que é de elaborar a MFV (Liker, 2007).

Reuniões de *brainstorm* foram realizadas com especialistas das diversas disciplinas que formam o planejamento de curto prazo e também com as disciplinas que estão ao seu redor com foco em identificar quais os indicadores de desempenho são os pilares para o aumento da assertividade dos indicadores IA e IC.

Por meio do MFV e do *brainstorm*, os indicadores de KRI e RI foram determinados e sinalizados conforme figuras 4 e 5.

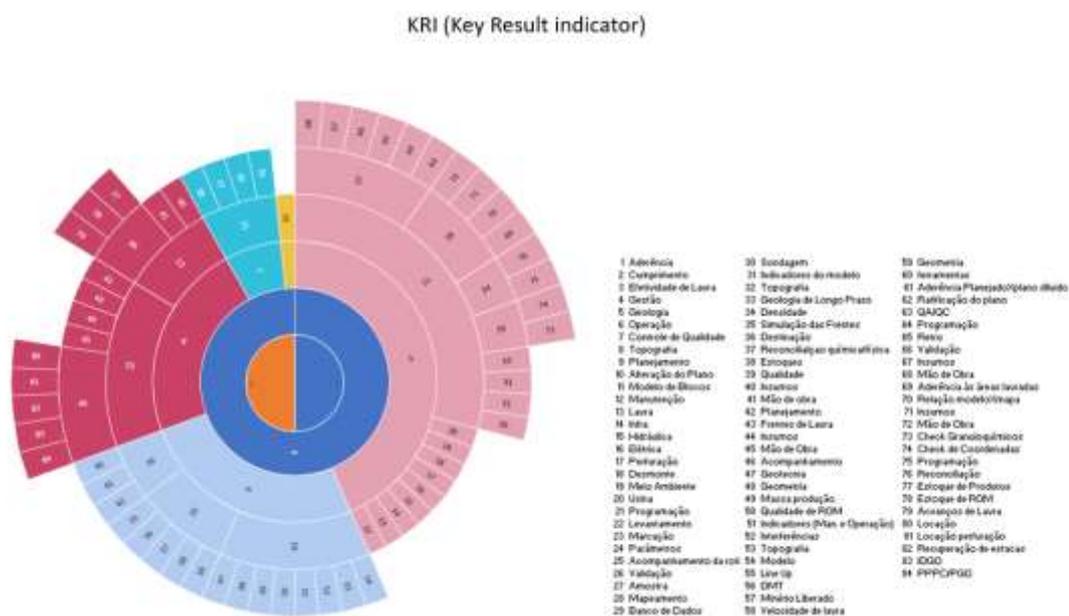


Figura 5: MFV, identificação dos KRI (contribuição do autor).

RI (RESULT INDICATOR)

10. Number of monthly, quarterly and annual plan reviews	44. Size (first number * priority) / priority plan/actual	67. Adherence No. to checklist items
11. (PA cargo, PA transport, PA infra, PA drill) plan/actual	45. Check list adherence	68. No. of people / No. of vacancies
12. (PU cargo, PU transportation, Cargo prod., Transportation prod.) plan/actual	46. Adherence to planned labor	69. Mixed area mapped area
13. Shifting plan/actual, drainage plan/actual, line up activities, ridge infra;	47. Adherence to date of receipt of parameters and adherence to number of parameters (height, width, angle and drainage)	70. A3 map with geologist's considerations
14. Well efficiency, line up	48. Adherence to the date of receipt	71. Adherence No. to checklist items
15. Line up	49. Adherence to the date of receipt of the values	72. No. of people / No. of vacancies
16. Drilled meters plan/actual, adherence to the programmed fronts; line up;	50. Adherence to the date of receipt of the values	73. Chemical check, particle size check
17. Mixed mass plan/actual, load per hole plan/actual, line up, adherence to the programmed fronts	51. Adherence to the date of receipt of the values	74. Coordinate Check:
18. Reactive vs. preventive action numbers (equipment shutdowns)	52. Adherence to the date of receipt of the values	75. Adherence to number of samples per lithology plan/actual
19. Planned mass/mined mass; inventory control	53. Adherence to the date of receipt of the values	76. Model density field density
20. Drilled meters plan/actual, financial adherence plan/actual, schedule adherence plan/actual, location adherence plan/actual	54. Adherence to the date of receipt of the values	77. Pointed x cubed deviation
21. Model statistics, negative value, not estimated block; inferred blocks	55. Follow-up of weekly, monthly and annual line up actions	78. Pointed x cubed deviation
22. Topography Quality Goal	56. Weekly and monthly average haulage distance plan/actual	79. Topography script
23. Integration schedule compliance	57. Liberated ore, monthly, quarterly and yearly	80. Number of scheduled stakes x Number of rescheduled stakes weekly and monthly
25. (Destination vs. Reconciliation) plan/actual	58. PA*PU*pm*24 plan/actual	81. Number of scheduled stakes x Number of rescheduled stakes weekly and monthly
26. Planned mass per front / actual	59. Preparation of the traditional or sequencer plan	82. Number of stakes recovered weekly and monthly
27. Planned grade per front / actual	60. Planned mass and grade Diluted mass and grade; number of returns	83. Geometry measurement for deflection of weekly, monthly, quarterly and annual adherence and compliance;
28. Stocked mass and grade control	61. Ratification of the plan by the planning, operation, infrastructure and geotechnical supervisor	84. Measurement of geotechnical indicators
41. Check list adherence	63. Number of samples with deviation/number of samples	85. Measurement of rainy season preparation plan and operational assurance
42. Adherence to planned labor	64. ((samples taken/scheduled samples) + s + c + (date of sample-date of shipment) + (date of laboratory return-date of entry))/5	
43. Adherence to the date of receipt	65. Overpa*pm*prod.	
	66. Ch/til	

Figura 5: MFV, identificação dos RI (contribuição do autor).

Identificado o que medir (KRI) e como medir (RI) todos os indicadores foram distribuídos estrategicamente segundo a metodologia *lean manufacturing*, na qual a visualização e a identificação rápida dos indicadores se dá pela condição normal e condição anormal, favorecendo a uma rápida tomada de decisão, reduzindo assim os desperdícios.

Medindo o mapeamento do fluxo do planejamento de curto prazo

Uma mina de minério de ferro situada no quadrilátero ferrífero, foi utilizada como laboratório deste trabalho, sendo determinados quatro meses de medição dos indicadores de IA e IC para a identificação dos indicadores repetidores, ou seja, indicadores que sempre estão impactando no processo. Para que esses indicadores fossem determinados, foi necessário a realização do fechamento de aderência e cumprimento do plano de lavra, determinando os valores de PR, PNR e RNP, conforme ilustrado na figura 6.

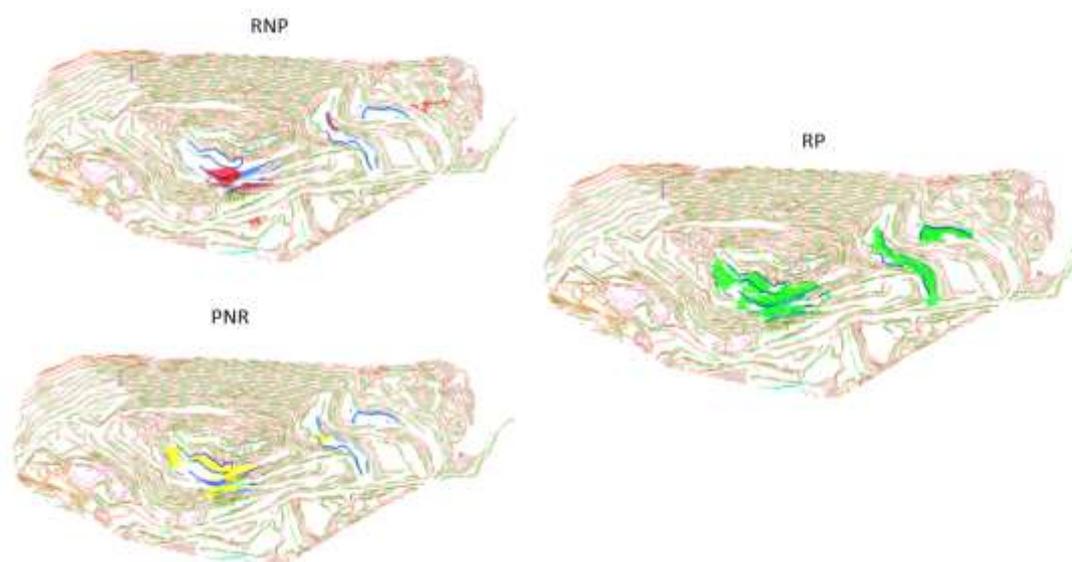


Figura 6: Ilustração na geometria do plano das regiões impactadas pelo RNP, RP e PNR.

De posse dos valores de RP, RNP e PNR, foram realizados os cálculos de IA e IC e consequentemente o de efetividade de lavra. Gráficos de Pareto, de controle e de dispersão serviram de base para a discussão e conclusão deste trabalho.

RESULTADOS

Como resultado do PR, RNP e PNR tem-se o gráfico 1, que explicita nos meses de realização do teste seus valores.

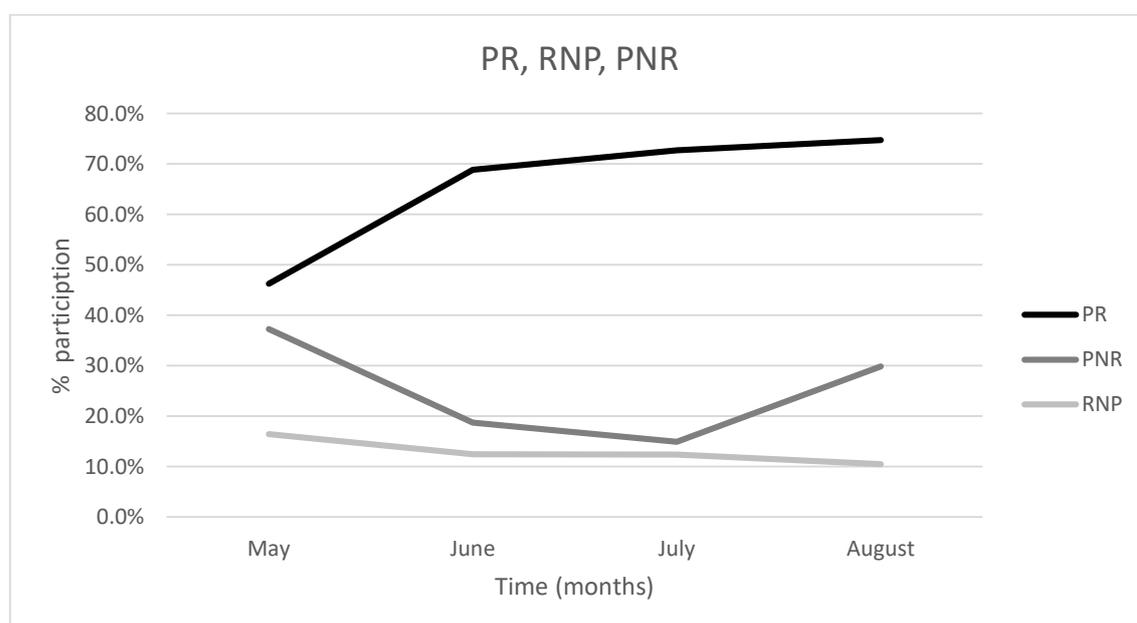


Gráfico 1: Resultado gerado pelo *software* do RNP, RP e PNR.

Como resultado da aderência, cumprimento, efetividade de lavra e participação dos indicadores comportamentais no impacto da efetividade de lavra, tem-se o gráfico 2.

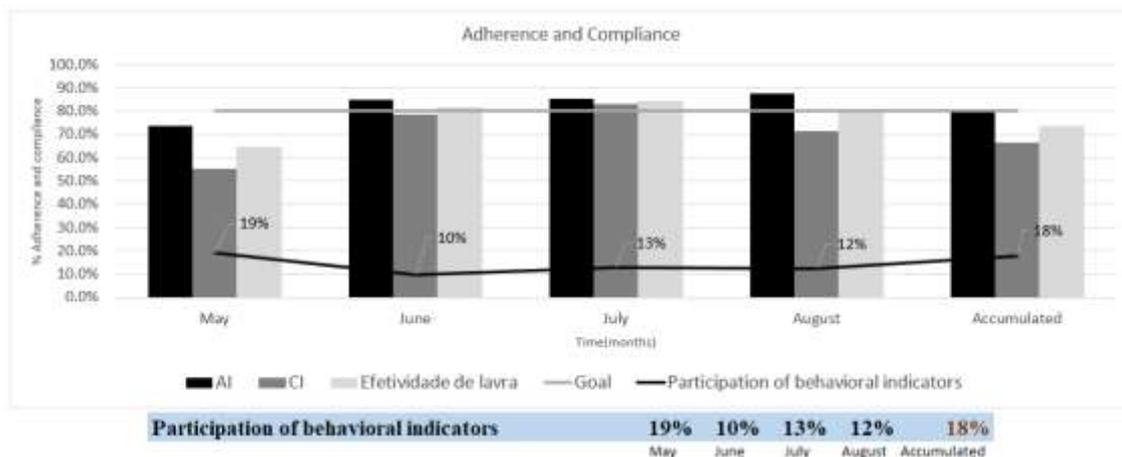


Gráfico 2: Resultado gerado dos índices de aderência e cumprimento.

Como resultado das variáveis que impactam no processo de aderência e cumprimento, tem-se o gráfico 3 que demonstra as variáveis que mais impactaram nos processos ao longo desses e meses.

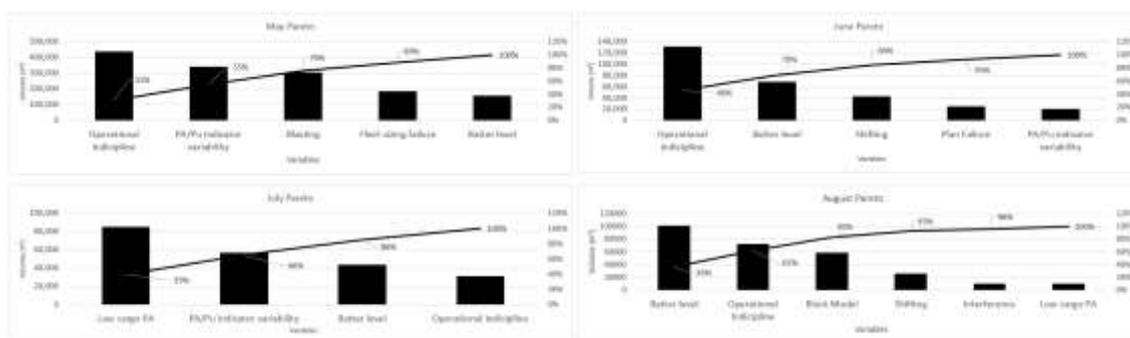


Gráfico 3: Resultado gerado das variáveis que impactaram nos meses de maio a agosto.

Como resultado das variáveis que impactam no processo de aderência e cumprimento, acumulando os meses de medição, tem-se os gráficos 4.

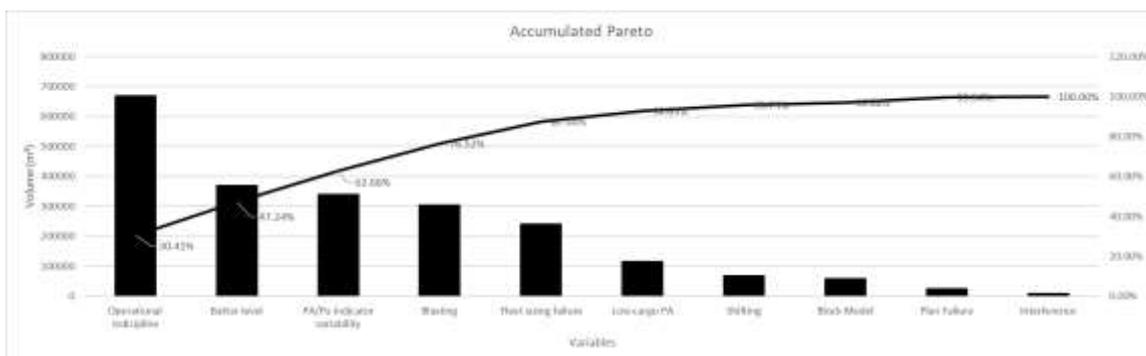


Gráfico 4: variáveis que impactaram no acumulado do projeto.

Como resultado da correlação entre as variáveis PR, PNR e RNP e o teor de Fe do produto realizado, tem-se os gráficos 5, 6 e 7.

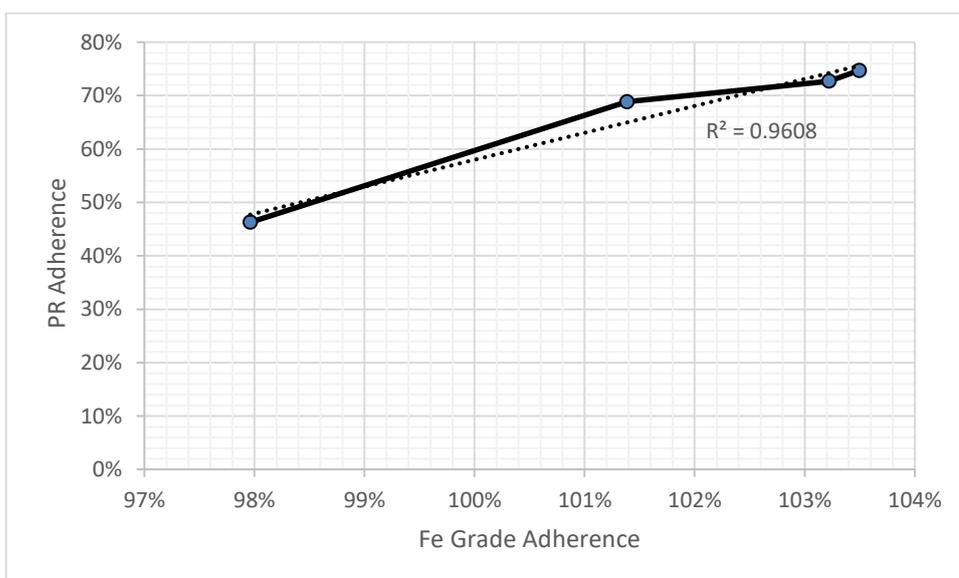


Gráfico 5: correlação entre PR e teor de Fe do produto.

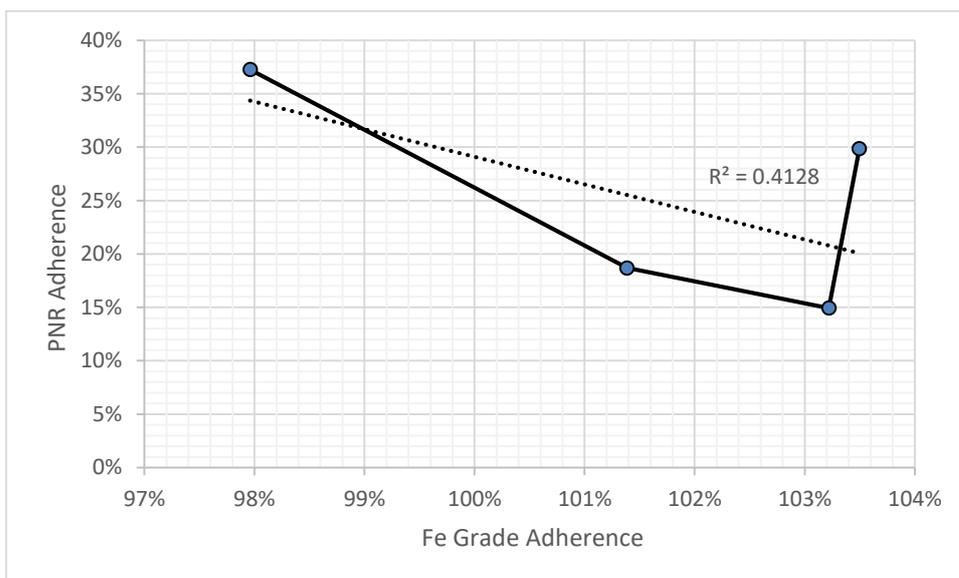


Gráfico 6: correlação entre PNR e teor de Fe do produto.

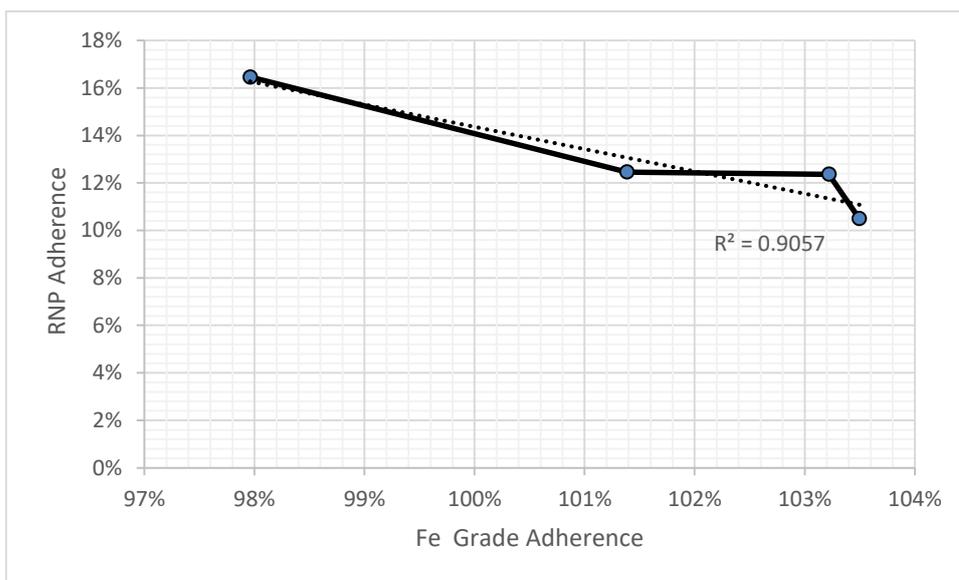


Gráfico 7: Resultado gerado da correlação entre RNP e teor de Fe do produto.

DISCUSSÃO

Ao longo desta amostragem, várias foram as observações realizadas. Primeiramente na análise do gráfico 1, observou-se que com a implantação da metodologia *lean manufacturing*, onde o controle dos indicadores identificando a condição normal e anormal de forma visível em painel de gestão visual, método este implantado a partir do mês de maio, trouxe ganhos significativos para os indicadores de PR, PNR e RNP.

Nota-se que, com ações de ver e agir, suportadas por acompanhamentos diários e semanais dos indicadores, já é possível aumentar significativamente os valores de aderência e cumprimento do plano de lavra conforme foi demonstrado no gráfico 2. Nesse gráfico também, observa-se que as participações dos indicadores comportamentais, de cunho humano, variam de 19% na implantação da metodologia, até 12% ao quarto mês de sua utilização, com alguma variação mensal (entre 10 e 12%). É importante notar, que este índice mede a variação dos resultados de cumprimento do plano em relação à situação ideal que seria cumpri-lo integralmente ou seja, atingir-se 100% do cumprimento do plano (objetivo este, chamado de estado da arte). O índice utilizado para efeitos de análise cumulativa é o de 18% por representar a média móvel dos resultados obtidos. Espera-se que com a aplicação contínua da metodologia (que já está implantada desde maio de 2019), este índice possa melhorar cada vez mais até atingir um valor assintótico, que se espera seja o menor possível. Ressalte-se que a meta já foi cumprida, ou seja, atingir-se 80% da efetividade de lavra, porém os fatores comportamentais, podem contribuir ainda mais para a melhoria dos resultados, na busca do estado da arte acima mencionado.

Estes eram efeitos esperados no início deste projeto, pois, com o acompanhamento dinâmico dos indicadores os pequenos desvios são restabelecidos por meio de planos de ação, utilizando ferramentas como os 5 porquês, o ver e agir e A³ solução de problemas. Outra característica que vale destaque, é o desvio do PNR. Nota-se conforme resultados demonstrados no gráfico 1, que com o aumento do controle por meio do painel de indicadores, as decisões que impactam no plano se tornam mais técnicas, aumentando apenas a massa não realizada, e não a massa realizada fora do plano, que em suma é o que impacta na aderência.

Com os resultados obtidos no cálculo de aderência e cumprimento, conforme o gráfico 2, durante os quatros meses desta pesquisa, foram analisadas e identificadas as variáveis que impactaram no não atingimento de 100% de eficiência operacional por meio de gráfico de Pareto.

No mês de maio conforme demonstrado no gráfico 3, verificou-se que as atenções deveriam ser voltadas para a indisciplina operacional, a variabilidade dos indicadores de disponibilidade física (DF) e utilização física (UF) e o desmonte de rochas como as variáveis mais impactantes no atingimento de 100% da efetividade de lavra, conforme

demonstrado no gráfico 2, onde a aderência e o cumprimento não alcançaram a meta estabelecida, muito menos o estado da arte que seria 100% de efetividade de lavra.

As ferramentas de solução de problemas foram utilizadas e o resultado do Pareto do mês de junho já apresentou outro aspecto, conforme demonstrado no gráfico 3. No mês de junho o volume de massa não realizado ou realizado fora do plano já demonstrou uma queda significativa, onde conforme demonstrado no gráfico 2, a aderência já atingiu a meta, e o cumprimento ficou bem próximo, mas ainda longe de atingir 100% de efetividade de lavra. A indisciplina operacional novamente apareceu como o principal impacto, mas agora, seguida pelo nível/ângulo de face e retaludamento atrasado. Novamente ferramentas de análise de solução de problemas foram usadas para tratar estes desvios.

Os resultados do mês de junho, mostrou-se já um melhor controle dos indicadores, onde, conforme visualizado no gráfico 2, as metas de aderência e cumprimento foram alcançadas para o mês, já chegando a um patamar mais próximo de 100% de efetividade de lavra. Os desvios levantados neste mês já trazem um menor protagonismo da indisciplina operacional, seguida por DF de carga e falha de dimensionamento de drenagem como os indicadores a serem observados, conforme no gráfico 3. Novamente ferramentas de solução de problemas foram acionadas e as tratativas direcionadas.

No mês de agosto, conforme observado no gráfico 2, o indicador de aderência alcançou a meta do mês, mas o de cumprimento não, devido ao PNR baixo, conforme o gráfico 1. Mesmo com o baixo desempenho do indicador PNR os indicadores de PR e o PNR continuaram ascendentes, demonstrando assim o controle do processo, onde é melhor não realizar a lavra do que realizar para cumprir metas de volume de produção.

Neste referido mês, as variáveis nível/ângulo de face, indisciplina operacional e modelo de blocos foram as principais impactantes no processo, conforme demonstrado no gráfico 3.

Com o fechamento do quarto mês de amostragem, que foi inicialmente definido para o fechamento deste trabalho, consolidaram-se todos os desvios, e os principais impactos durante estes quatro meses foram identificados.

O gráfico 4 demonstra estas variáveis, destacando a indisciplina operacional, a variabilidade dos indicadores de DF/UF e o nível/ângulo de face de praça como os problemas crônicos para uma efetividade de lavra de 100%.

Concluída esta bateria de levantamentos, notou-se a necessidade de validar os indicadores junto ao produto realizado, que é o grande objetivo da cadeia de valor e consequentemente da empresa. Notou-se que através dos gráficos de correlação entre a aderência do teor de Fe do produto versus a participação do PR, RNP e PNR, seguem uma correlação lógica. O gráfico 5, demonstra forte correlação entre a participação do PR no plano de lavra e o atingimento do teor de Fe orçado. O gráfico 7 também demonstra forte correlação entre a participação do RNP e o teor de Fe alimentado. Já o gráfico 6, sinaliza uma baixa correlação com o teor de Fe, pois neste caso a massa não realizada do plano foi de estéril que não impactou na alimentação do britador e sim na redução do minério liberado.

CONCLUSÕES

A utilização da metodologia *lean manufacturing*, demonstrou ser o grande diferencial deste trabalho. Por meio deste método, em painéis de gestão visual, onde, a condição normal e anormal é identificada em três segundos, levou a resultados significativos.

A implantação do método e a utilização das ferramentas de gestão dos desvios, possibilitou a identificação das principais variáveis que impactam no processo de planejamento de lavra, mais especificamente nos indicadores IA e IC.

Ações de ver agir, suportadas pelo painel de gestão visual, reduziram de forma significativa o volume de desvio no plano de lavra elaborado. Tomadas de decisão tornam-se mais intuitivas e eficientes com as informações ao alcance de todas as disciplinas envolvidas no plano, sejam elas fornecendo informações para a sua elaboração, seja elas responsáveis pela execução, entre outros.

Notou-se também neste trabalho, que mesmo com tomadas de decisões rápidas e eficientes, e reduzindo a perda no volume não realizado ou realizado fora da geometria propostas, para algumas variáveis do processo, ferramentas de solução de problemas mais robustas devem ser utilizadas, pois, essas variáveis dessa pesquisa ao longo dos meses mostraram-se resistentes no impacto do indicador aderência e cumprimento.

Aproximadamente 18% do problema apresentado no objetivo geral deste trabalho dizem respeito a variáveis como indisciplina operacional, variabilidade dos indicadores de disponibilidade física/utilização física (DF/UF) e nível/ângulo de face, que se mostraram resistentes às ferramentas de solução de problemas que foram aplicadas, por dependerem

em grande parte de atitudes comportamentais. Mesmo com a redução das perdas associadas às mesmas, elas ainda persistem no impacto dos indicadores de IA e IC.

Por outro lado, nos aproximadamente 82% restantes do problema, a utilização desta metodologia se mostrou robusta para a identificação e controle dos indicadores de IA e IC, método esse que aumentou a credibilidade do plano de lavra e conseqüentemente uma maior aderência e cumprimento da geometria

Outro efeito colateral positivo da utilização desta metodologia, foi o aumento da autoestima das equipes envolvidas na elaboração e execução dos planos de lavra, onde por meio da gestão visual dos indicadores necessários para a garantia da qualidade e execução do plano, tornou o processo mais transparente, conseqüentemente aumentando a credibilidade dos processos e atingindo um dos objetivos deste trabalho, quebrar os silos entre as áreas envolvidas.

A identificação dos fatores mais impactantes no processo de IA e IC, definidas como indisciplina operacional, variabilidade dos indicadores de DF/UF e nível/ângulo de face, passou a ser considerada como indicadores chaves de desempenho do processo, recebendo um acompanhamento mais especial da gestão e conseqüentemente controle do envolvidos diretamente no processo de elaboração e execução do plano de lavra.

Finalmente pode -se afirmar que o complexo problema apresentado neste trabalho pode ser convenientemente equacionado através da metodologia proposta, acoplada às iniciativas de aprimoramento comportamental dos funcionários envolvidos na cadeia de valor da mineração, observando-se o quão importante são os fatores comportamentais que representaram no caso em estudo, 18% do desvio do estado da arte que seria atingir-se 100% do plano total.

REFERÊNCIAS

CAMPOS, P. H. A. Um comparativo de metodologias no planejamento de lavra: sequenciamento direto de blocos vs. planejamento tradicional. 2017.

COSTA, F. V. Análise dos principais indicadores de desempenho usados no planejamento de lavra. 2015.

CURI, ADILSON. Lavra de Minas. Oficina de Textos, 2017

LIKER, J. K. O modelo Toyota: 14 princípios de gestão do maior fabricante do mundo. Bookman Editora, 2016.

NADER, B. Monitoramento de talude via radar SSR como indicador chave de desempenho geotécnico integrado às atividades primárias da cadeia de valor mineral. 2013. Tese (Doutorado em Eng. De Minas) – Universidade de São Paulo, USP, São Paulo, 2013.

PORTER, M. E. Vantagem competitiva: criando e sustentando um desempenho superior. Rio de Janeiro: Campus, 1992.

SENHORINHO, N. C. S. Metodologia de planejamento estratégico de lavra incorporando riscos e incertezas para a obtenção de resultados operacionais. 2008. Tese (Doutorado em Eng. De Minas) – Universidade de São Paulo, USP, São Paulo, 2008.

SHANK, J. K.; GOVINDARAJAN, V. Gestão estratégica de custos: a nova ferramenta para a vantagem competitiva. Rio de Janeiro: Campus, 1995.