

INSTITUTO TECNOLÓGICO VALE



Rosângelo Jésus de Carvalho

**ESTUDO PARA NOVA ABORDAGEM DO CÁLCULO DE EFICIÊNCIA DE
PROCESSO EM USINAS DE BENEFICIAMENTO MINERAL**

Parauapebas, Pará

2020

Rosângelo J3sus de Carvalho

**ESTUDO PARA NOVA ABORDAGEM DO C3LCULO DE EFICI3NCIA DE
PROCESSO EM USINAS DE BENEFICIAMENTO MINERAL**

Trabalho de conclus3o de curso apresentado ao
Instituto Tecnol3gico Vale, como parte dos requisitos
para obten3o do t3tulo de especialista em
Beneficiamento Mineral

Orientador: Prof. Alfredo Moises Sarkis

Parauapebas, Par3

2020

Título: Estudo para nova abordagem do cálculo de eficiência de processo em usinas de beneficiamento mineral

Classificação: () Confidencial () Restrita () Uso Interno (X) Pública

Informações Confidenciais - Informações estratégicas para o Instituto e sua Mantenedora. Seu manuseio é restrito a usuários previamente autorizados pelo Gestor da Informação.

Informações Restritas - Informação cujo conhecimento, manuseio e controle de acesso devem estar limitados a um grupo restrito de empregados que necessitam utilizá-la para exercer suas atividades profissionais.

Informações de Uso Interno - São informações destinadas à utilização interna por empregados e prestadores de serviço

Informações Públicas - Informações que podem ser distribuídas ao público externo, o que, usualmente, é feito através dos canais corporativos apropriados

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

C331e

Carvalho, Rosângelo Jésus de
Estudo para nova abordagem do cálculo de eficiência de processo em usinas de beneficiamento mineral / Rosângelo Jésus de Carvalho - Ouro Preto, 2021.

91 f.: il.

Monografia (Especialização *latu sensu*) - Instituto Tecnológico Vale, 2021.
Orientador (a): Alfredo Moisés Sarkis

1. Confiabilidade. 2. Indicadores. 3. Desempenho. 4. Produção.
5. Métodos. 6. OEE. 7. Padronização. I. Sarkis, Alfredo Moisés. II. Título.

CDD. 23. ed. 622.7

Bibliotecária responsável: Nisa Gonçalves – CRB 2 - 525

Rosangelo Jesus de Carvalho

**ESTUDO PARA NOVA ABORDAGEM DO CÁLCULO DE EFICIÊNCIA DE
PROCESSO EM USINAS DE BENEFICIAMENTO MINERAL**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Instituto Tecnológico Vale, como parte dos requisitos para obtenção do título de especialista *lato sensu* em [Beneficiamento Minério de Ferro].

Orientador: Prof. Alfredo Moises Sarkis

Trabalho de conclusão de curso defendido e aprovado em 13 de novembro de 2020 pela banca examinadora constituída pelos professores:

Alfredo Moises Sarkis
Orientador – Instituto Tecnológico Vale (ITV)

Thiago Cesar de Souza Pinto
Membro interno – VALE

Robson Flores de Carvalho
Membro interno – VALE

Os Signatários declaram e concordam que a assinatura será efetuada em formato eletrônico. Os Signatários reconhecem a veracidade, autenticidade, integridade, validade e eficácia deste Documento e seus termos, nos termos do art. 219 do Código Civil, em formato eletrônico e/ou assinado pelas Partes por meio de certificados eletrônicos, ainda que sejam certificados eletrônicos não emitidos pela ICP-Brasil, nos termos do art. 10, § 2º, da Medida Provisória nº 2.200-2, de 24 de agosto de 2001 (“MP nº 2.200-2”).



PROTOCOLO DE ASSINATURA(S)

O documento acima foi proposto para assinatura digital na plataforma Portal de Assinaturas Vale. Para verificar as assinaturas clique no link: <https://vale.portaldeassinaturas.com.br/Verificar/2A3C-696C-8CF2-A47B> ou vá até o site <https://vale.portaldeassinaturas.com.br> e utilize o código abaixo para verificar se este documento é válido. The above document was proposed for digital signature on the platform Portal de Assinaturas Vale. To check the signatures click on the link: <https://vale.portaldeassinaturas.com.br/Verificar/2A3C-696C-8CF2-A47B> or go to the Website <https://vale.portaldeassinaturas.com.br> and use the code below to verify that this document is valid.

Código para verificação: 2A3C-696C-8CF2-A47B



Hash do Documento

45688931E92FACEF82EE95A4A23CFCC4131EAF28453CFD562A06D144D081EAAA

O(s) nome(s) indicado(s) para assinatura, bem como seu(s) status em 28/12/2020 é(são) :

- Thiago Cesar de Souza Pinto (Signatário) - em 28/12/2020 08:37 UTC-03:00
Tipo: Assinatura Eletrônica
Identificação: Por email: thiago.souza@vale.com

Evidências

Client Timestamp Mon Dec 28 2020 08:36:56 GMT-0300 (Hora oficial do Brasil)
Geolocation Latitude: -21.209857375 Longitude: -47.806638125000006 Accuracy: 275
IP 200.6.35.101

Hash Evidências:
3B8CF1B9403F8A49C64419D9FCD303D98B6A3892681A2BC42B9072D380076BF6

- Robson Flores de Carvalho (Signatário) - em 22/12/2020 08:48 UTC-03:00
Tipo: Assinatura Eletrônica
Identificação: Por email: robson.carvalho@vale.com

Evidências

Client Timestamp Tue Dec 22 2020 08:48:28 GMT-0300 (E. South America Standard Time)
Geolocation Location not shared by user.
IP 200.6.35.101

Hash Evidências:
918A0D308B284C6F06F480AECEFD3EFACA5D525C66D374D20757B5C8F65B849A

- Alfredo Moises Sarkis (Signatário) - em 22/12/2020 08:48 UTC-03:00
Tipo: Assinatura Eletrônica

Identificação: Por email: alfredo.moises@itv.org

Evidências

Client Timestamp Tue Dec 22 2020 08:48:08 GMT-0300 (Hora oficial do Brasil)
Geolocation Latitude: -22.4928 Longitude: -44.0695 Accuracy: 19097
IP 179.107.136.99

Hash Evidências:
D22A0692B5E997F2331DDF374CDB7A08D3340023704DE188C0B88D64175C172F



Dedico este trabalho a Deus e a minha família, que sempre me apoiaram em todos os meus projetos de vida e durante a caminhada desta especialização, me incentivando na busca de novos desafios.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, que tem me protegido nessa caminhada da minha vida; que sempre me rege, me inspira e me conduz, governando meus anseios e alegrando meu espírito.

Agradeço à minha família, especialmente minha esposa, meus pais e meus Filhos, que me orientaram e me incentivaram nos momentos de dificuldade, me mantendo perseverante e confiante para conquistar esse novo desafio.

Agradeço aos coordenadores e professores e a Vale por ter me dado essa oportunidade de aprendizado, crescimento pessoal e profissional.

Não poderia de deixar de agradecer, a todos os meus colegas que compartilharam esses momentos felizes e de muita ansiedade, onde os nossos olhos brilhavam com as riquezas de informações e experiências de vida.

“A tarefa não é tanto ver aquilo que ninguém viu, mas pensar o que ninguém ainda pensou sobre aquilo que todo mundo vê.” (Arthur Schopenhauer)

“A imaginação é mais importante que a ciência, porque a ciência é limitada, ao passo que a imaginação abrange o mundo inteiro”. (Albert Einstein)

RESUMO

As empresas do setor mineral já estão se preparando para se adaptarem a nova era industrial, buscando processos eficazes com inovação tecnológica e sustentável. Para se manter neste mercado é preciso trabalhar, buscando redução de custo, eficiência e confiabilidade nos processos produtivos. Neste contexto é necessário que as empresas saibam identificar os desvios de seus processos através de indicadores e métodos adequados e assim tratá-los com simplicidade e objetividade, mantendo os resultados sustentáveis e atendendo ao mercado. Uma das formas mais usadas para análise é a Eficiência Global dos Equipamentos (OEE, do inglês Overall Equipment Effectiveness). No trabalho apresentado foi feito um estudo comparando a metodologia de perda de produção aplicada na Plantas de Beneficiamento de Carajás com a metodologia do OEE. Foi verificada que a distribuição das perdas no modelo atual não estava relacionada diretamente com os resultados dos indicadores de eficiência das plantas. Foi sugerido a utilização do balanço de perda utilizando o OEE. No final do projeto foi realizado a comparação das metodologias e proposto uma forma de balanço de perda de produção com regras de compensação alinhada aos conceitos da literatura do OEE.

Palavras-chave: Confiabilidade. Indicadores. Desempenho. Produção. Métodos. OEE. Padronização.

ABSTRACT

Companies in the mineral sector are already preparing to adapt to the new industrial era, seeking efficient processes with technological and sustainable innovation. To stay in this area, it is necessary to work, looking for cost reduction, efficiency and reliability in the productive processes. In this context, it is necessary for companies to be able to identify deviations from their processes through appropriate indicators and methods and thus treat them with simplicity and objectivity, maintaining sustainable results and serving the market. One of the most used ways to analyze the Global Equipment Efficiency (OEE). In the work presented, a study was done comparing the production loss methodology applied in the Carajás Beneficiation Plants with the OEE methodology. It was verified that the distribution of losses in the current model was not directly related to the results of the efficiency indicators of the plants. It was suggested to use the loss balance using OEE. At the end of the project, the methodologies were compared and a form of production loss balance was proposed with compensation rules in line with the concepts in the OEE literature.

Keywords: Reliability. Indicators. Performance. Production. Methods. OEE (Overall Equipment Effectiveness). Standardization.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Macro Fluxo da Área de Atuação do Estudo	18
Figura 2 – Fluxograma Simplificado de Processo da Usina 01 de Beneficiamento de Carajás no início do Projeto	19
Figura 3 – Exemplo Hipotético de um circuito em Paralelo	20
Figura 4 – Visão do Processo de Beneficiamento da Usina 01 em Carajás.....	21
Figura 5 – Fluxograma Simplificado de Processo das Usinas de Beneficiamento de Carajás	22
Figura 6 – Definições e terminologias aplicadas na Mineração	28
Figura 7 – Definições e terminologias aplicadas na Mineração	29
Figura 8 – Definições e terminologias aplicadas na Mineração	30
Figura 9 – Gráfico de Visualização de Disponibilidade Operacional	32
Figura 10 – Gráfico de Visualização de Disponibilidade Operacional	33
Figura 11 – Gráfico de Visualização de Disponibilidade Operacional	34
Figura 12 – Rendimento Operacional	36
Figura 13 – Representação geral das perdas temporais aplicado em produção seriada...	40
Figura 14 – Representação geral das perdas temporais aplicado em produção contínua.	40
Figura 15 – Quadro das 16 grandes perdas de Kaizen	42
Figura 16 – Exemplo Hipotético de um circuito em Série	46
Figura 17 – Exemplo Hipotético de um circuito em Paralelo	47
Figura 18 – Exemplo Metodologia do Circuito Singelo aplicado na Usina 01 Carajás...	48
Figura 19 – Circuito Crítico em Planta de Beneficiamento de Minério	49
Figura 20 – Circuito Composto em Planta de Beneficiamento de Minério	51
Figura 21 – Circuito Composto em Planta de Beneficiamento de Minério	52
Figura 22 – Estratificação de Horas	53
Figura 23 – A subdivisão da jornada produtiva	54
Figura 24 – Área de Atuação do Estudo Corredor Norte	57
Figura 25 – Visão da Mina de Ferro de Carajás e Usina 01 Local do estudo	58

Figura 26 – Fluxograma Simplificado da Usina 01 de Carajás	59
Figura 27 – Esquema dos Pontos de Controle da Alimentação da Usina 01 de Carajás.	61
Figura 28 – Tabela de Resumo de perdas absolutas oriundas da estratificação Interface Mina Usina64
Figura 29 – Exemplo hipotético de uma programação em um determinado mês de forma esquemática, mostrando a distribuição dos indicadores do OEE com suas respectivas metas69
Figura 30 – Exemplo 2 segue o mesmo cenário do exemplo 1, mostrando a distribuição dos indicadores do OEE com perda DF e ganho de Utilização.....	.70
Figura 31 – Exemplo 3 mesmo cenário do exemplo 1, mostrando a distribuição dos indicadores do OEE com perda na DF e compensação na Utilização e produtividade71
Figura 32 – Modelo gráfico da distribuição das perdas potencial x perda real da Tabela da Figura 5.....	.72
Figura 33 – Modelo gráfico da distribuição de perda da Figura 3574
Figura 34 – Evolução dos Indicadores do OEE Circuito Singelo de Janeiro a setembro de 202076
Figura 35 –Evolução dos Indicadores do OEE Circuito Singelo de Janeiro a setembro de 2020(2)77
Figura 36 – Comportamento da Aderência a programação dos Indicadores de interface Mina-Usina de Janeiro a setembro de 202078
Figura 37 – Comportamento da Aderência a programação dos Indicadores do OEE Interface Mina-Usina Janeiro a setembro de 2020(2)79
Figura 38 – Teste comparativos da proposta de Perdas por OEE das Interfaces Mina-Usina e com o modelo aplicado nos Circuito Singelo	82

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Balanço de Perda de Interface Mina-Usina - Alimentação da Usina 01.....	61
Tabela 2- Balanço de Perda de Interface	63
Tabela 3- Resumo dos indicadores do Circuito Singelo no dia 04/09/2020	64
Tabela 4- Exemplo Hipotético do OEE.....	66
Tabela 5- Exemplo hipotéticos de um balanço de perda de produção utilizando o OEE.	71
Tabela 6- Exemplo Hipotético de um Balanço de Perda de produção utilizando o OEE, considerando perda no rendimento operacional e ganho de produtividade.....	73
Tabela 7- Comparativo da proposta de Perdas por OEE da Interfaces Mina-Usina e com o modelo aplicado nos Circuito Singelo.....	81

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	17
1.1 PROCESSOS DE MINERAÇÃO E SISTEMAS VALE	18
2 OBJETIVO	23
2.1 OBJETIVO GERAL	23
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	23
3 JUSTIFICATIVAS	24
4 REFERENCIAL TEÓRICO	25
4.1 PRINCIPAIS DEFINIÇÕES E TERMINOLOGIAS PADRONIZADAS NAS USINAS DE BENEFICIAMENTO MINERAL	25
4.1.1 Definições e terminologias padronizadas	25
4.1.2 Conceito de apropriação de eventos	26
4.2 CÁLCULOS DOS INDICADORES DE PERFORMANCE OPERACIONAL APLICADOS NAS USINAS DE BENEFICIAMENTO MINERAL	31
4.2.1 Disponibilidade para operação contínua	31
4.3 AS GRANDES PERDAS NA CAPACIDADE PRODUTIVA	41
4.3.1 Perdas em Indústrias de Produção Seriada	41
4.3.2 Perdas em Indústrias de Produção Contínua	43
4.4 METODOLOGIA DE INDICADORES DE PERFORMANCE APLICADA NAS PLANTAS DE BENEFICIAMENTO MINERAL DE CARAJÁS	44
4.4.1 Critérios para o cálculo dos indicadores de manutenção e operação	44
4.4.2 Método de cálculo indicadores pelo equipamento singelo para o Exemplo 1	49
4.4.3 Método de Cálculo Pelo Acúmulo de Horas para o Exemplo 1	50
4.4.4 Categoria da Hora do Evento x Local do Equipamento Gerador	52
4.4.5 Estratificação das horas	53
5 METODOLOGIA	56
5.1 ÁREA DE ESTUDO	56
6 RESULTADOS E DISCUSSÕES	60

6.1 ESTUDO DE CASO DA METODOLOGIA DE ANALISE DE PERFIL DE PERDA APLICADA NA PLANTA DA USINA 01 DE CARAJAS	60
6.2 PROPOSTA DA METODOLOGIA DE ANALISE DE PERFIL DE PERDA UTILIZANDO O OEE NAS PLANTAS DE BENEFICIAMENTO MINERAL DE CARAJAS	65
6.2.1 Cálculo do perfil de perda de produção utilizando o OEE.....	65
6.2.2 Balanço de perda de produção utilizando o OEE	68
6.2.3 Proposta de aplicação da Metodologia de perdas utilizando OEE nas interfaces Mina e Usina.....	79
7 CONCLUSÕES	83
8 SUGESTÕES PARA FUTUROS TRABALHOS	85
REFERÊNCIAS	86
ANEXOS	88

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

CNPq – Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico

DS – Desenvolvimento Sustentável

ITV – Instituto Tecnológico Vale

UFOP – Universidade Federal de Ouro Preto

GPV – Sistema de produção Vale

1 INTRODUÇÃO

A empresas do setor mineral estão passando por grandes desafios para se manterem competitivas nessa nova era industrial 4.0. Para encarar esse novo cenário elas precisam tornar-se mais enxutas, mais fortes, buscando processos eficazes, inovadores e sustentáveis.

As usinas de beneficiamento mineral já aplicam as ferramentas da Manutenção Produtiva Total (do inglês, Total Productive Maintenance – TPM), buscando eficácia e excelência de seus ativos e processos produtivos. Os principais objetivos a serem alcançados através da aplicação da TPM, conforme citados por Nakajima (1989), são atingir uma produção sem quebras e sem defeitos para obter melhor produtividade e qualidade. De acordo com Giovanna Porto Toni (2018) apesar da possibilidade do emprego de novas tecnologias para atender tais necessidades, existem outras formas de melhorar a performance da fábrica utilizando recursos já existentes na mesma.

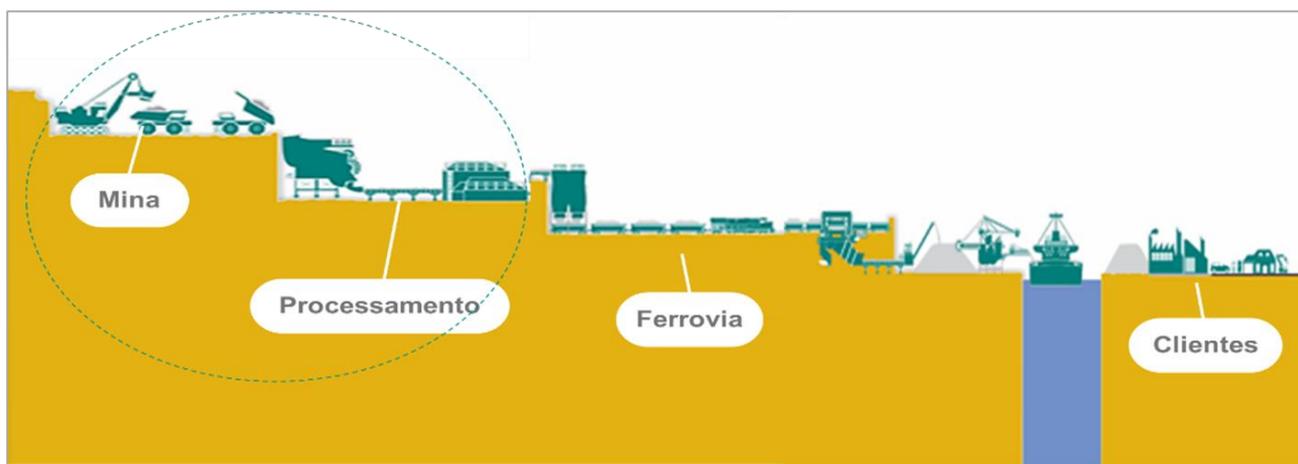
A padronização do sistema produtivo nas atividades do dia a dia é fundamental, aliada ao processo de melhoria contínua do processo como um todo. Avaliar corretamente as perdas ou por outro lado a performance do sistema produtivo é fundamental para que sejam estabelecidas as ações que levem ao atingimento dos objetivos em todos os pilares do sistema produtivo.

Uma forma de medir a performance de um equipamento ou processo é utilizar a Eficiência Global de Equipamentos (do inglês, Overall Equipment Effectiveness – OEE) é um método que têm por finalidade analisar a performance dos equipamentos além de poder gerar perfis de perdas dos processos produtivos. Desta forma o trabalho busca estabelecer, utilizando o método OEE e apresentando o método analítico, quantificar perdas e indica-las no processo e comparar com a forma tradicional de medição, apontando as oportunidades de melhoria.

1.1 PROCESSOS DE MINERAÇÃO E SISTEMAS VALE

A confiabilidade dos sistemas produtivos é um fator fundamental a ser considerado pela gestão da produção e o presente estudo foi realizado na planta de produção beneficiamento de minério de ferro da Vale em Carajás, que de forma contínua escoa sua produção através da integração de rodovias, ferrovias e portos conforme demonstrado na Figura 1.

Figura 1 – Fluxograma Simplificado de Processo das Usinas de Beneficiamento de Carajás

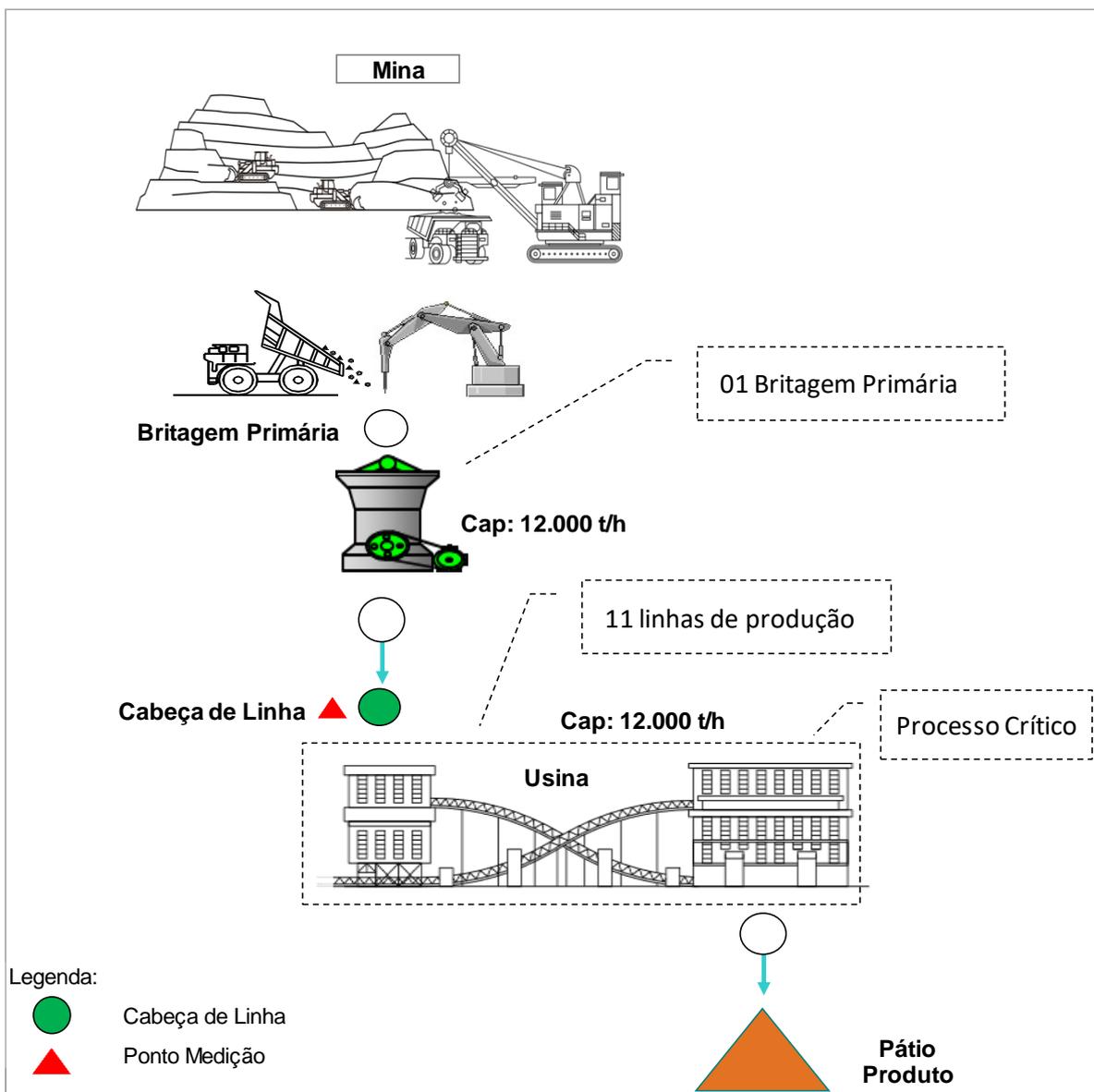


Fonte: Apresentação Update Vale.

No início do projeto de mineração em Carajás o processo das plantas de beneficiamento era considerado simples para efeitos de cálculo dos indicadores. A alimentação da planta era feita por apenas uma britagem primária e seus indicadores eram medidos no processo crítico a jusante aos circuitos primários que nesta época era a planta de classificação composta de 11 linhas conforme Figura 2. O perfil de perda era feito através da apropriação das perdas por acúmulo de horas paradas e atendia as expectativas.

A Figura 2, mostra o fluxo do processo de Beneficiamento da Usina 01 no início do projeto. A Usina era alimentada por apenas uma Britagem Primária localizada próximo da planta da Usina.

Figura 2 – Fluxograma Simplificado de Processo da Usina 01 de Beneficiamento de Carajás no início do Projeto.



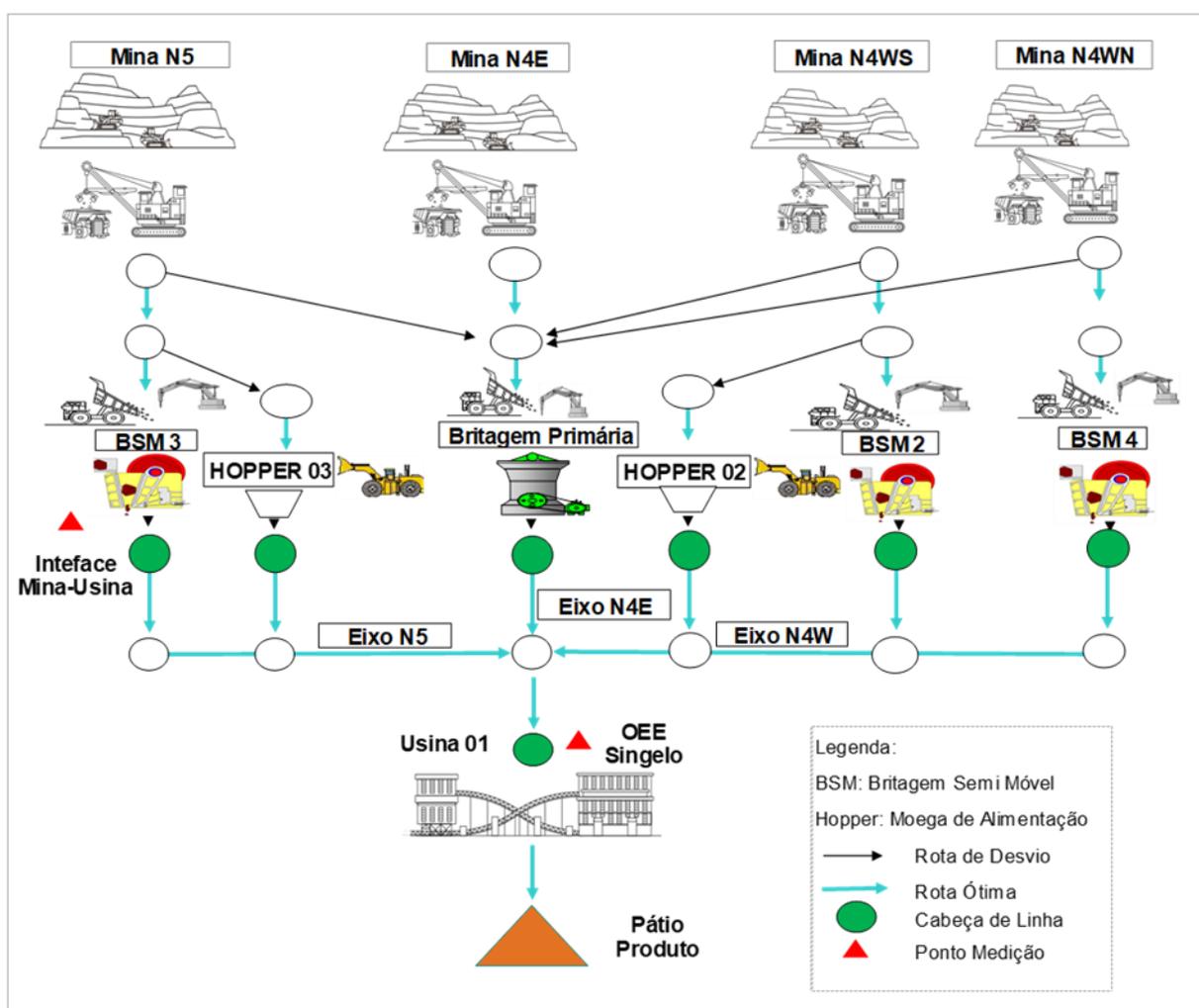
Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

Com o desenvolvimento das lavras de minério e demanda de mercado, aumentou a distância de transporte até a britagem primária, sendo necessário um projeto de expansão, com a implantação das Britagens Semimóveis que seria instalada próximo das Minas. Foram implementadas gradativamente mais três britagens primárias, ficando quatro pontos de alimentação. A partir daí as análises de perdas foram perdendo a precisão, pois os pontos de alimentação estavam muito distantes. Observando a dificuldade nas apurações das perdas optou-se em medi-las na interface Mina-Usina. Os impactos de paradas dos sistemas primários

acabam onerando outros processos produtivos, sendo um deles aumento da distância média de transporte – DMT nas Minas. As análises feitas na interface Mina-Usina retrataram melhor as perdas de produção e paradas do circuito primário, porém não estavam relacionadas diretamente aos indicadores desdobrados do plano de produção, ou seja, apesar de usar os indicadores de performance para medir a eficiência dos processos, eles as vezes não refletiam a abrangência das perdas de produção. O estudo será focado nas metodologias de perdas de produção para uma nova abordagem do cálculo de eficiência de processos em usina de beneficiamento mineral.

A Figura 3, mostra o fluxograma da nova configuração das plantas da Usina 01 após a expansão. O sistema tornou-se composto e distante da Usina, sendo necessário passar a medir os indicadores na alimentação das britagens primárias para refletir melhor as perdas do sistema produtivo.

Figura 3 – Exemplo Hipotético de um circuito em Paralelo



Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

A Figura 4, mostra a visão do processo de Beneficiamento da Usina 01 em Carajás.

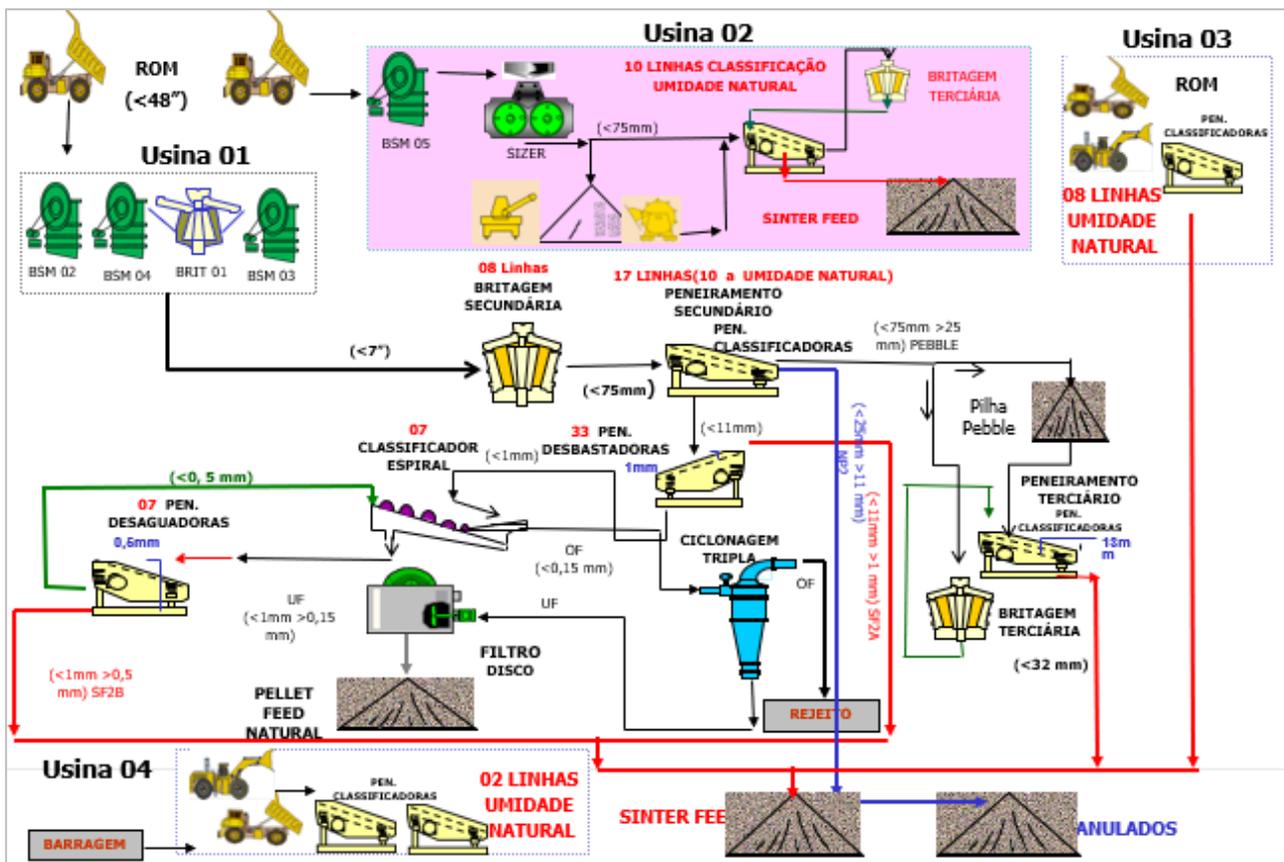
Figura 4 – Visão do Processo de Beneficiamento da Usina 01 em Carajás.



Fonte: Elaborado pelo Autor.

Na figura 5 é mostrado o fluxograma simplificado das rotas de produção de Carajás composto por quatro usinas de beneficiamento. A Usina 01 contém 04 britagens Primárias e 8 linhas de Britagem Secundária, fechando o processo de cominuição. A Classificação é composta de 17 linhas de peneiramentos, sendo 11 a umidade natural e seis linhas a úmido, além de cinco linhas de ciclonação e 18 linhas de filtração.

Figura 5 – Fluxograma Simplificado de Processo das Usinas de Beneficiamento de Carajás



Fonte: Conhecida pela Empresa.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Apresentar uma nova abordagem de análise da performance de produção, utilizando o método OEE em comparação com o método atual, avaliando os principais impactos nos resultados de performance.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Apresentar a forma de cálculo dos indicadores individuais que compõem o OEE.

Apresentar a forma de apuração das perdas potenciais apropriadas por indicadores de performance.

Apresentar análise comparativa de performance comparando o método proposto e utilizado.

3 JUSTIFICATIVAS

Necessidade de um método de análise de perdas que esteja ligada às metas dos indicadores de eficiência da produção, e que mostre de forma abrangente o perfil de perda e auxilie na tratativa dos desvios de processo com clareza e objetividade, ou seja, medir certo para tomar decisões certas.

4 REFERENCIAL TEÓRICO

4.1 PRINCIPAIS DEFINIÇÕES E TERMINOLOGIAS PADRONIZADAS NAS USINAS DE BENEFICIAMENTO MINERAL

4.1.1 Definições e terminologias padronizadas

Nas indústrias estão estabelecidas nomenclaturas e definições amplamente usadas no dia a dia da produção e que serão usadas ao longo deste trabalho.

Terminologias:

- Hora Calendário (HC) é o Tempo de existência do equipamento no período considerado (calendário anual ou 8760 h, exceto ano bissexto 8784 h), no caso de múltiplas unidades multiplicar pelo número de unidades.
- Hora Trabalhada (HT) é o tempo que o equipamento fica ligado operando (trabalhando) em qualquer função que seja.
Equação 4.1: $HT = HC - (HM + HO)$
- Horas Disponíveis (HD) é o tempo total em que o equipamento se encontra disponível para operar.
- Hora de Manutenção (HM) é o tempo total em que o equipamento se encontra indisponível para operar por estar sob intervenção da manutenção. As horas de manutenção é composta por horas corretivas e preventivas.

$$\text{Equação 4.2: } HM = HC - HD$$

- Hora Ociosa (HO) é quando o equipamento está desligado e disponível para operar, mas não o faz por motivos operacionais, quaisquer razões que não sejam de manutenção, ou seja, não realiza qualquer tipo de trabalho.

$$\text{Equação 4.3: } HO = HOI + HOE \text{ ou}$$

$$\text{Equação 4.4: } HO = HD - HT$$

- Hora Ociosa Interna (HOI) é quando o equipamento está desligado pronto para operar, mas não o faz por motivos gerenciáveis pela Vale.
- Hora Ociosa Externa (HOE) é quando o equipamento está desligado pronto para operar, mas não o faz por fatores não gerenciáveis pela Vale.
- Hora de Manutenção Preventiva (HMP) é o tempo de manutenção planejada (preventiva ou programada)
- Hora de Manutenção Corretiva (HMC) é o tempo de manutenção não programada, necessária quando um equipamento encontra em estado de falha. Inclui as horas improdutivas da manutenção.
- Hora de Manutenção Preventiva Não Sistemática (HMNS) é o tempo de manutenção realizada com base em controles estatísticos com o objetivo de prever a proximidade de uma falha, sem que haja qualquer indicação prévia de defeito.
- Hora de Manutenção Preventiva Sistemática (HPS) é o tempo de manutenções programadas que são repetidas periodicamente em intervalos previamente definidos, sem que haja uma indicação prévia de qualquer defeito.
- Hora Trabalhada Não Produtiva (HTN) é o Tempo em que o equipamento opera, porém não produz trabalho útil (ex: fila, outros serviços, etc.). Trabalhos em outras funções diferentes para a qual foi adquirido é sempre HTN (Ex: sucatas, britagem produzindo forragem de mina, usina operando com água, etc.).
- Hora Efetiva (HEF) é o tempo efetivo de operação que corresponde ao tempo em que o equipamento desenvolve um trabalho útil considerando a função para a qual foi adquirido.
- Hora de manutenção oportuna (HMO) é o tempo de intervenção em que a equipe de manutenção realiza trabalhos de preventiva e corretiva aproveitando as janelas devido a fatores diversos. Ex.: Falta de demanda de mercado, falta de energia interna, parada por motivos operacionais, intervalo entre navios, etc.

4.1.2 Conceito de apropriação de eventos

Abaixo seguem os critérios definidos para as apropriações dos eventos de paradas estabelecidos para o processo produtivo.

- Evento com impacto na Disponibilidade: codificação a ser considerada quando o evento estiver relacionado diretamente com a natureza de manutenção.
- Evento com impacto na Utilização: codificação a ser considerada quando o evento estiver relacionado diretamente com a natureza operacional ou outros motivos.
- Codificação Inicial (causa inicialmente não identificada): codificação que deve ser usada quando a causa real da falha não for evidente, enquanto não tiver sido feita a análise da falha. Esta codificação deve ser alterada após a análise de falha.
- Codificação Inicial (causa inicialmente não identificada): codificação que deve ser usada quando a causa real da falha não for evidente, enquanto não tiver sido feita a análise da falha. Esta codificação deve ser alterada após a análise de falha.
- Falha do Equipamento (Identificado na Análise Falha): codificação a ser usada quando for constatado que a falha foi decorrente de falha no equipamento;
- Falha Operacional (Identificado na Análise Falha): codificação a ser usada quando for constatado que a falha foi decorrente de uma falha por má operação;
- Falha de Processo (Identificado na Análise Falha): codificação a ser usada quando for constatado que a falha foi decorrente de um problema de processo produtivo, e não decorrente de falha de manutenção ou má operação;
- Falha de Outra Área (Identificado na Análise Falha): codificação a ser usada quando for constatado que a falha foi decorrente de uma falha de responsabilidade de outra gerência de área.

As Figuras 6,7 e 8, mostram alguns exemplos típicos, relacionando o tipo de evento e as terminologias padronizadas nas usinas de beneficiamento mineral. Esse tipo de padronização pode auxiliar na identificação das causas fundamentais e tratativas das perdas do processo produtivo.

Figura 6 – Definições e terminologias aplicadas na Mineração

Evento	Codificação inicial	Falha externa à Vale	Falha do equipamento	Falha operacional	Falha de processo	Falha de Outra área Vale
Um sensor identificou uma falha de processo (nível, vazão, temperatura, pressão, etc.)	HOI	N/A	HMC	HOI	HOI	HMC
Queda de energia devido à concessionária ou racionamento de energia elétrica	HOE	HOE	N/A	N/A	N/A	N/A
Tempo de reboque após falha (reboque da área até a oficina)	HMC	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Queda de energia devido à Vale	HMC	N/A	HMC	HMC	HMC	HMC
Falta de combustível	HOI	HOE	N/A	HOI	N/A	HOI
Sobrecarga (térmico atuado)	HOI	N/A	HMC	HOI	HOI	HMC
Sensor atuado devido a limpeza da área (limpeza como tarefa operacional)	HOI	N/A	HMC	HOI	HOI	HMC
Instrumento de proteção / segurança	HOI	N/A	HMC	HOI	HOI	HMC
Período de resfriamento de fornos para manutenção corretiva	HMC	N/A	HMC	HMC	HMC	HMC
Período de resfriamento de fornos para manutenção preventiva	HMP	N/A	HMP	HMP	HMP	HMP
Período de aquecimento de fornos até atingir as condições de operação por motivos operacionais	HTN	N/A	N/A	HTN	HTN	N/A
Período de aquecimento de fornos até atingir as condições de operação por motivos externos	HOE	HOE	N/A	N/A	N/A	N/A
Período de aquecimento de fornos até atingir as condições de operação para manutenção corretiva	HMC	N/A	HMC	N/A	N/A	N/A
Período de aquecimento de fornos até atingir as condições de operação para manutenção preventiva	HMP	N/A	HMP	N/A	N/A	N/A

Fonte: (Vale).

Figura 7 – Definições e terminologias aplicadas na Mineração

Evento	Codificação inicial	Falha externa à Vale	Falha do equipamento	Falha operacional	Falha de processo	Falha de Outra área Vale
Período desde o retorno de uma manutenção até o início da operação plena (Tempo de setup)	HTN	N/A	N/A	N/A	N/A	HTN
Período desde o retorno de uma manutenção até o início da operação plena, porém com vários problemas de manutenção que afetam o setup.	HMC	N/A	HMC	HMC	HMC	HMC
Atraso no tempo da manutenção preventiva (o tempo que excede o prazo previsto).	HMP	N/A	N/A	N/A	HMP	HMP
Atraso no tempo da manutenção preventiva devido a problemas operacionais (o tempo que excede o prazo previsto).	HOI	N/A	N/A	HOI	N/A	N/A
Testes em equipamentos, a pedido da operação, por considerar a existência de falha de manutenção.	HMC	N/A	HMC	HOI	HOI	HMC
Parada sem causa aparente	HMC	N/A	HMC	HOI	HOI	HMC
Falha intermitente	HMC	HMC	HMC	HOI	HOI	HMC
Acidentes com perda de função	HMC	HMC	N/A	HMC	N/A	HMC
Manutenção de oportunidade (Manutenção que acontece quando a instalação não é utilizada - por exemplo devido a uma baixa demanda).	HMO	HMO	N/A	N/A	N/A	HMO
Parada devido a horário de ponta (economia de energia)	HOI	N/A	N/A	N/A	N/A	HOI
Falhas de manutenção (claramente identificadas)	HMC	N/A	HMC	N/A	N/A	HMC
Tempo de limpeza preventiva	HMP	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Parada programada devido a obra de ampliação (Engenharia de Implantação)	HMP	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Paradas corretivas de plantas em projetos de engenharia, devido à interferência dos novos equipamentos.	HMC	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Falhas de operação sem perda de função (claramente identificadas)	HOI	N/A	N/A	HOI	N/A	HOI
Falhas de operação com perda de função (claramente identificadas)	HMC	N/A	N/A	HMC	N/A	HMC
Aferição de vagão tanque pelo INMETRO	HMP	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A

Fonte: (Vale).

Figura 8 – Definições e terminologias aplicadas na Mineração

Evento	Codificação inicial	Falha externa à Vale	Falha do equipamento	Falha operacional	Falha de processo	Falha de Outra área Vale
Avaria de vagões pelo Cliente	HMC	HMC	HMC	HMC	HMC	HMC
Tempo de retenção do equipamento no trecho devido a acidente	HMC	HMC	HMC	HMC	HMC	HMC
Liberação do vagão até atualização no sistema	HOI	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Vagões carregados imobilizados (sucatas, produtos contaminantes outros)	HTN	HTN	N/A	HTN	HTN	HTN
Reboque de uma locomotiva devido à falta de areia	HOI	N/A	N/A	N/A	N/A	HOI
Regulagem de retrovisor	HOI	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Liberação do equipamento após execução de manutenções preventivas	HOI	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Troca de haste de perfuratriz	HOI	N/A	HMC	HMC	N/A	HMC
Deslocamento de equipamento para a oficina para manutenção preventiva	HOI	N/A	N/A	HOI	N/A	N/A
Deslocamento de equipamento para a oficina para manutenção corretiva	HMC	N/A	HMC	N/A	N/A	N/A
Falta de pneus no mercado	HMC	N/A	HMC	N/A	N/A	N/A

Fonte: (Vale).

4.2 CÁLCULOS DOS INDICADORES DE PERFORMANCE OPERACIONAL APLICADOS NAS USINAS DE BENEFICIAMENTO MINERAL

4.2.1 Disponibilidade para operação contínua

A disponibilidade mede o quanto um equipamento esteve operando ou em condições de operar. É a probabilidade de um item (componente, equipamento ou sistema) estar disponível para uso (produzir) ou seja sendo usado (produzindo). É a relação entre a diferença do número total de horas de um período (horas calendário) e o número total de horas de manutenção (preventiva, corretiva, oportunidade, outras) com o número total de horas do período considerado. (BRANCO FILHO, 2015).

A equação 4.5 é muito comum ver nas literaturas, sendo que a equação 4.6 é mais divulgadas nas Usinas de beneficiamento mineral.

$$\text{Equação 4.5: } DISP = \frac{TOPT - TRPT}{TOPT}$$

Onde DISP = Disponibilidade (%)

TOPT = Tempo de Operação Total (h) ou horas calendário.

TRPT = Tempo de Reparo Total (h) ou horas de manutenção total (manutenção preventivas e corretivas)

$$\text{Equação 4.6: } DF = \frac{HC - HM}{HC}$$

Onde DF = Disponibilidade Física (%)

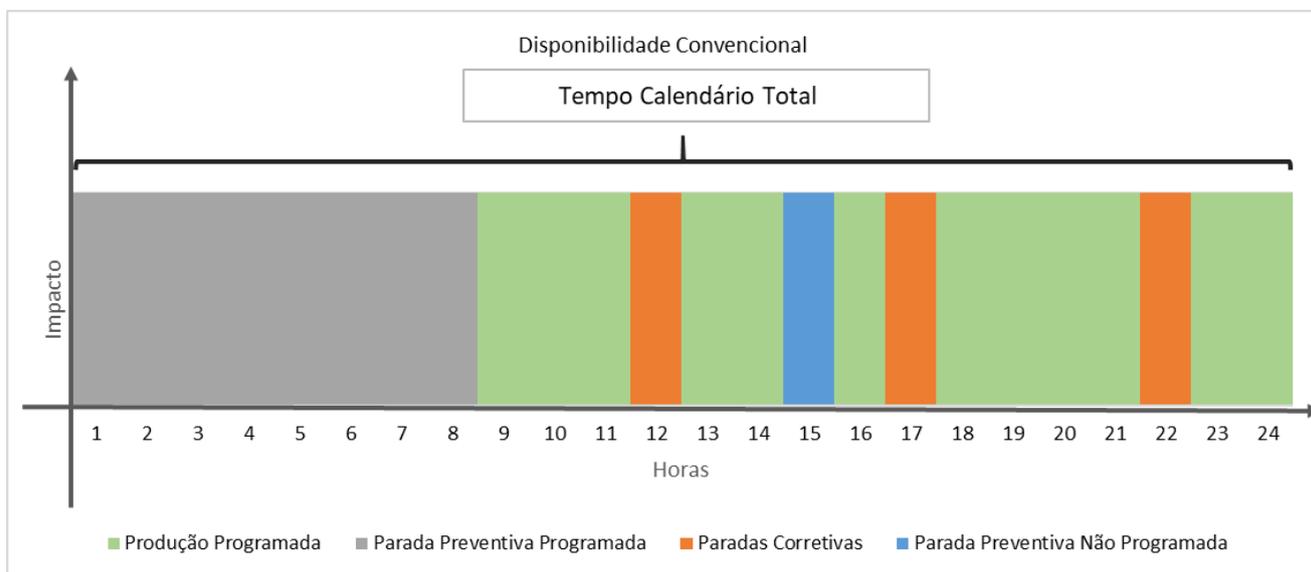
HC = Horas Calendário (h)

HM = Horas de Manutenção (h)

Na figura 9 pode ser visualizado um exemplo de distribuição de horas para cálculo da disponibilidade física em operação contínua, considerando todo tempo calendário pretendido

de uso a operação. Esse tipo de cálculo de disponibilidade é muito usado nas usinas de beneficiamento mineral.

Figura 9 – Gráfico de visualização de Disponibilidade para Operação Contínua



Fonte: Adaptado de Branco Filho (2015).

Analisando a Figura 9 e aplicando a Equação 4.5 Temos:

TTOT= Tempo de Operação Total Pretendido de 24 horas

TRPT = 8 horas de Paradas preventivas programadas + 03 horas de corretivas + 01 hora de preventiva não programada.

$$\text{Equação 4.7: } DISP = \frac{(TTOT)-(TRPT)}{TTOT} = \frac{(24)-(8+3+1)}{24} = 0,5 \Rightarrow 50,00\%$$

DISPONIBILIDADE OPERACIONAL

Esta disponibilidade é a probabilidade de um equipamento estar produzindo ou em condições de produzir, em um período em que a operação deseja operar, ou seja, determina o quanto do tempo pretendido de uso a operação realmente conseguiu usar o item ou equipamento ou mantê-lo em produção, sem interferência da manutenção (BRANCO FILHO, 2015). Em algumas considerações de (BRANCO FILHO, 2015) ele nos mostra que neste indicador não são considerados os tempos de parada programadas para preventiva ou os tempos em que a operação não deseja produzir por qualquer motivo, pois este tempo está fora dos tempos considerados programáveis (efetivos para produção). É considerado apenas os tempos de paradas corretivas ou preventivas não programadas dentro do tempo desejado de operação ou tempo de uso pretendido. Na realidade a disponibilidade operacional mostra percentual da

parcela do tempo que a produção necessita, mas, por alguns motivos não conseguiu. Neste caso vamos chamar de tempo de impedimento de operação que pode ter diversos componentes, como manutenção corretiva, falta de energia elétrica, manutenção preventiva não programada, etc. A disponibilidade operacional indica o quanto ele está usando o equipamento ou linha, dentro do que ele planejou utilizar, já descontando o tempo de manutenção e o tempo planejado para não uso (BRANCO FILHO, 2015).

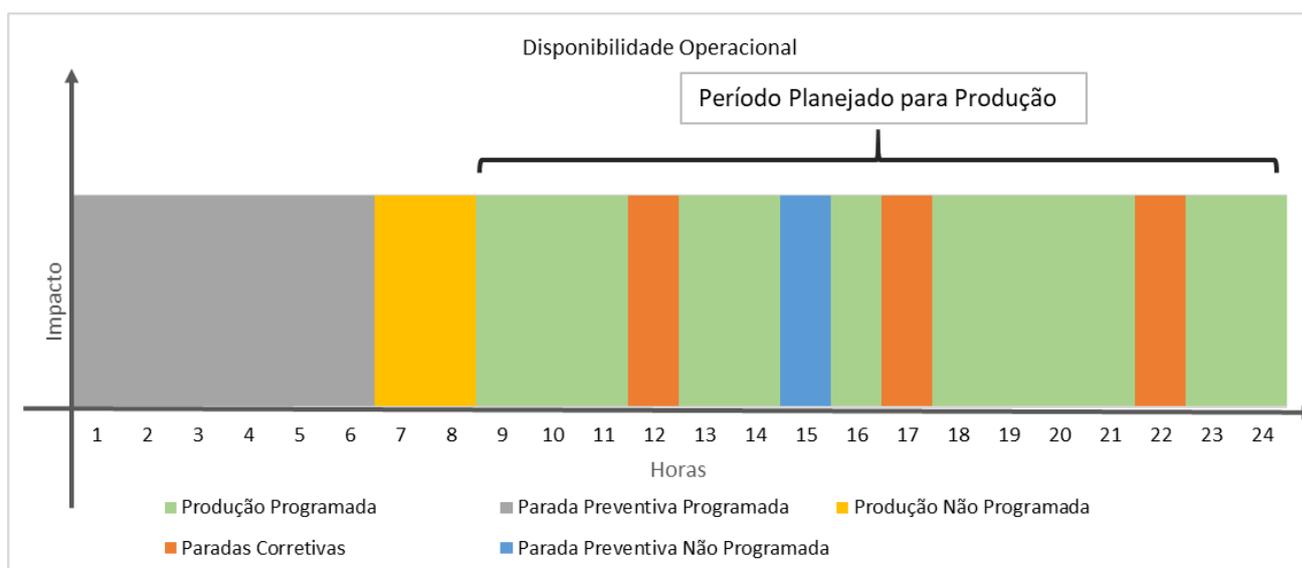
$$\text{Equação 4.8: } DISP(Oper) = \frac{TTOT \text{ pretendido} - TRPT \text{ Tempo de impedimento}}{TTOT \text{ pretendido}}$$

Onde DISP = Disponibilidade Operacional (%)

TOPT = Tempo de Operação Total Pretendido (h)

TRPT = Tempo de Reparo Total ou Tempo de impedimento (h)

Figura 10 – Gráfico de Visualização de Disponibilidade Operacional



Fonte: Adaptado de Branco Filho (2015).

Analisando a Figura 10 e aplicando a Equação 4.8 Temos:

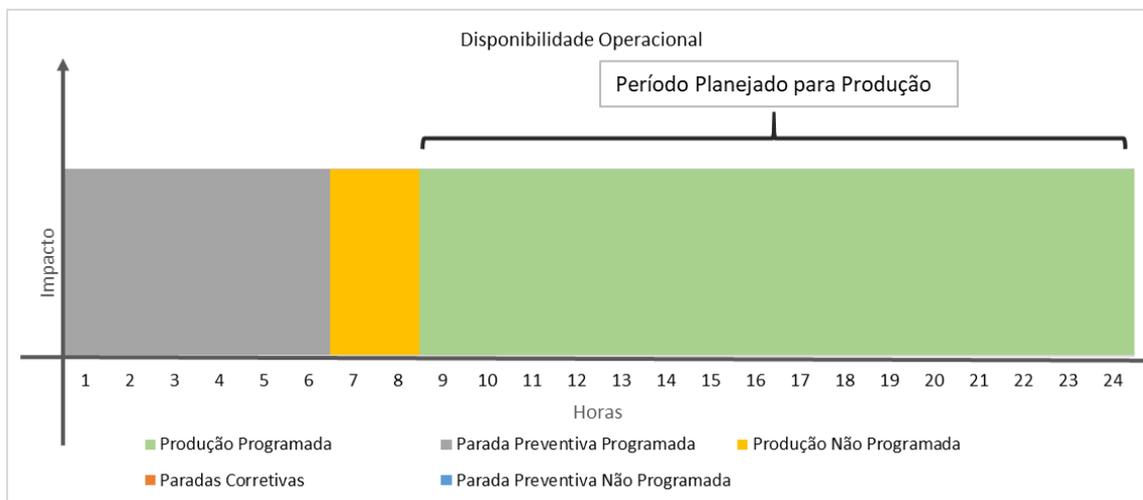
TTOT= Tempo de Operação Total Pretendido de 16 horas (24 horas calendário menos 6 horas de preventiva programada e menos 2 horas sem produção já conhecida).

TRPT = 3 horas de corretivas + 1 hora de preventiva não programada.

$$\text{Equação 4.9: } DISP(Oper) = \frac{(TTOT) - (TRPT)}{TTOT} = \frac{(16) - (3+1)}{16} = 0,75 \Rightarrow 75,00\%$$

Na figura 11 temos outro exemplo, onde neste caso não ocorrem paradas para reparos e etc.

Figura 11 – Gráfico de Visualização de Disponibilidade Operacional



Fonte: Adaptado de Branco Filho (2015).

Analisando a Figura 11, e aplicando a Equação 4.8 Temos:

TTOT= Tempo de Operação Total Pretendido de 16 horas.

TRPT = Zero, pois não houve paradas no período de 09:00h as 24:00h.

$$\text{Equação 4.10: } DISP(Oper) = \frac{(TTOT)-(TRPT)}{TTOT} = \frac{16-0}{16} = 1,00 \Rightarrow 100,00\%$$

Utilização Física (UF)

É o percentual do tempo em que o equipamento produziu em relação ao tempo em que o equipamento ficou disponível para operação.

$$\text{Equação 4.11: } UF = \frac{HT}{HD} \times 100$$

Produtividade Relativa

É a relação entre a quantidade do que é produzido com os insumos utilizados ou quantidade de tempo investido no processo. Nos processos de beneficiamento mineral é expressada em t/h.

$$\text{Equação 4.12: } \textit{Produtividade} = \frac{\textit{Volume produzido}}{\textit{HT}} \times 100$$

Eficiência de Produtividade (EP)

É a relação percentual entre a produtividade realizada e a produtividade de referência do processo avaliado, ou seja, mede a eficiência do equipamento ou processo durante a operação.

$$\text{Equação 4.13: } \textit{EP} = \frac{\textit{Produtividade Realizada}}{\textit{Produtividade Nominal ou referência}} \times 100$$

Considerações: Produtividade de referência = Percentil 95 da produtividade histórica do ano anterior em base trimestral em t/h ou produtividade nominal do sistema (quando viável e possível sua utilização) em t/h.

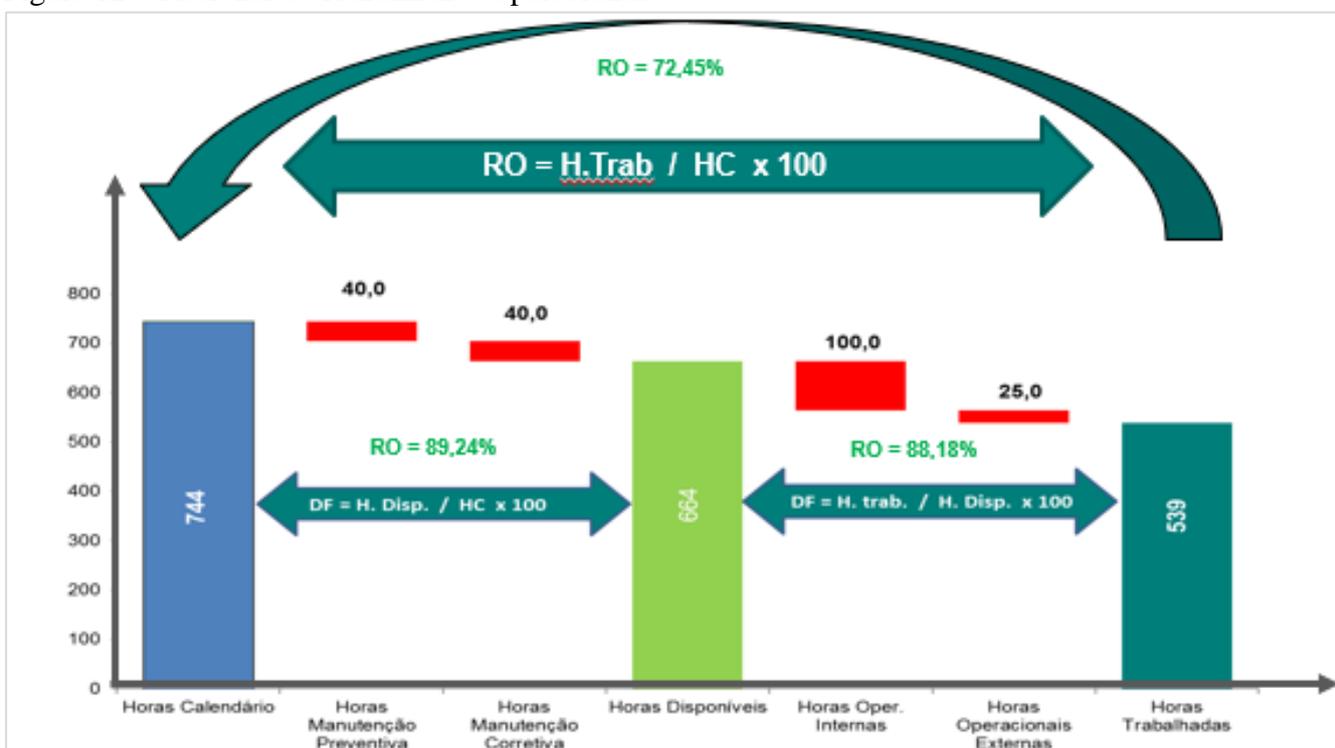
Rendimento Operacional (RO)

Tem o objetivo de medir a eficiência do processo produtivo em um determinado tempo, podendo ser calculado pelo produto da disponibilidade física e a utilização ou as horas efetivas pelas horas calendário.

$$\text{Equação 4.14: } \textit{RO} = \frac{\textit{HT}}{\textit{HC}} \times 100 \quad \text{ou} \quad \text{Equação 4.15: } \textit{RO} = \textit{DF} \times \textit{UT}$$

A figura 12 mostra um exemplo hipotético o racional do rendimento operacional que considera a disponibilidade convencional para operação contínua, mostrando a terminologia das horas e fórmulas de cálculo dos indicadores.

Figura 12 – Racional do Rendimento Operacional.



Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

RENDIMENTO EM MASSA (RM)

Mede a relação entre a quantidade de material produzido e a quantidade alimentada de minério na usina como um todo ou em determinada etapa do beneficiamento mineral.

$$\text{Equação 4.16: } RM = \frac{\text{Massa Produzida}}{\text{Massa Alimentada}} \times 100$$

TEMPO MÉDIO ENTRE FALHAS (MTBF)

É a relação entre o tempo total de horas trabalhadas de um equipamento ou unidade pelo número de intervenções de manutenção corretivas, em um período observado.

$$\text{Equação 4.17: } MTBF = \frac{HT}{N^{\circ} \text{ Intervenções de Manutenção Corretiva}}$$

TEMPO MÉDIO PARA REPARAR (MTTR)

É o tempo médio para reparar um sistema, equipamento ou item. Quanto menor for esse tempo, melhor será para a manutenção.

$$\text{Equação 4.18: } MTTR = \frac{HMC}{N^{\circ} \text{ Intervenções de Manutenção Corretiva}}$$

CAPACIDADE PRODUTIVA

Os indicadores da capacidade produtiva indicam o quanto uma empresa está apta a produzir, medindo a operação ou produção e sua interligação com a manutenção. Na construção de indicadores de manutenção e das consequências da boa ou má manutenção sobre os negócios da empresa, precisamos, antes de mais nada, saber que a empresa é capaz de produzir com os equipamentos atuais e na situação atual e, ainda, como está fazendo neste momento (BRANCO BRANCO FILHO, 2015). Conhecer a capacidade de um processo produtivo geram um código único para as diversas habilidades produtivas da organização. Elas criam um "espaço útil" para calcular, avaliar e comparar o desempenho de várias máquinas, sistemas ou atividades (MIRIAN, 2011). Assim a produção é o resultado das ações conjuntas da manutenção e operação. A capacidade produtiva pode ser medida conforme equação 4.19, onde são levadas em conta a disponibilidade física, a utilização física e a produtividade em um determinado tempo.

$$\text{Equação 4.19: } \text{Produção} = \text{Operação} + \text{Manutenção}$$

A Equação 4.20, mostra o cálculo da capacidade produtiva instalada, considerando a disponibilidade convencional para operação contínua.

$$\text{Equação 4.20: } CP = DF \times UT \times \text{Produtividade} \times HC$$

$$CP = \text{Disponibilidade} \times \text{Utilização} \times \text{Produtividade} \times \text{Horas Calendário}$$

Onde,

- Disponibilidade física é razão entre as horas disponíveis e horas calendário,
- Utilização física é a razão entre as horas trabalhadas e as horas disponíveis.
- A produtividade é a razão entre o volume produzido e as horas trabalhadas.

A medição da capacidade instalada tem a finalidade de indicar e tornar evidente a capacidade da unidade industrial, pois é um parâmetro de projeto ou de investimento que se desejou ao adquirir o ativo. Esta capacidade nada mais é que a capacidade nominal das máquinas ou de um sistema produtivo (BRANCO FILHO, 2015).

PERCENTUAL DE UTILIZAÇÃO DA CAPACIDADE

A Capacidade Percentual utilizada é uma medida de quanto foi usado da capacidade do ativo ou sistema produtivo investido. Serve para indicar ao administrado quanto de capacidade instalada foi utilizada. O índice de capacidade produtiva é a razão entre a capacidade produtiva realizada, pela capacidade produtiva instalada ou nominal, conforme equação 4.21.

$$\text{Equação 4.21: } ICP = \frac{CPR}{CPN} \times 100$$

ICP: Índice de capacidade produtiva em (%)

CPR: Capacidade Produtiva Realizada em (t)

CPN: Capacidade Produtiva Instalada ou Nominal em (t)

Eficiência Global dos Equipamentos - (OEE)

Uma das principais ferramentas da TPM é o indicador de eficiência global dos equipamentos, comumente chamado de OEE, desenvolvido com o objetivo de mensurar a eficiência dos equipamentos, se baseia na análise de um período de produção de um equipamento, linha de produção ou planta afim de identificar fatores que interferem na operação e, conseqüentemente na produtividade dos equipamentos (SIMOES, 2015). É um modo de medir os resultados da Operação e Manutenção juntos, desde que sejam bem operados e mantidos (BRANCO FILHO, 2015).

A maximização da eficiência dos equipamentos é alcançada através das atividades quantitativas (aumento e melhoria da produção), e das qualitativas (redução dos números de defeitos) (CHIARADIA, 2004). Definir bem a metodologia para medir a eficiência dos equipamentos ou processo é um fator preponderante para se construir um bom perfil de perda dos equipamentos e processos produtivos. O OEE na maioria das usinas de beneficiamento de minério é composto por perdas considerando métricas de disponibilidade física, utilização, eficiência de produtividade e fator de qualidade. Dentre os muitos indicadores aplicados para subsidiar a gestão da capacidade produtivas dos processos, o OEE merece destaque pela grande difusão que alcançou no âmbito internacional, fornecendo informações valiosas para o planejamento e gestão dos processos (BUSSO, 2012).

Modo de Cálculo

A equação 4.22 apresenta o modo de cálculo utilizado para o OEE, onde o resultado é o produto dos indicadores de disponibilidade, performance e qualidade. A figura 10 apresenta, tendo como base o tempo, as perdas de um processo produtivo, e que serve de base para o cálculo do OEE para produção seriada. Da mesma forma a Figura 11 e a equação 4.18 apresenta as perdas para produção contínua e base para o cálculo do OEE.

- Cálculo do OEE para produção seriada:

$$\text{Equação 4.22: } OEE = EFGE = DISP \times PERF \times QUAL$$

Onde EFGE = Eficiência Global do Equipamento

DISP = Índice de Disponibilidade

PERP = Performance da Produção, no uso do Equipamento.

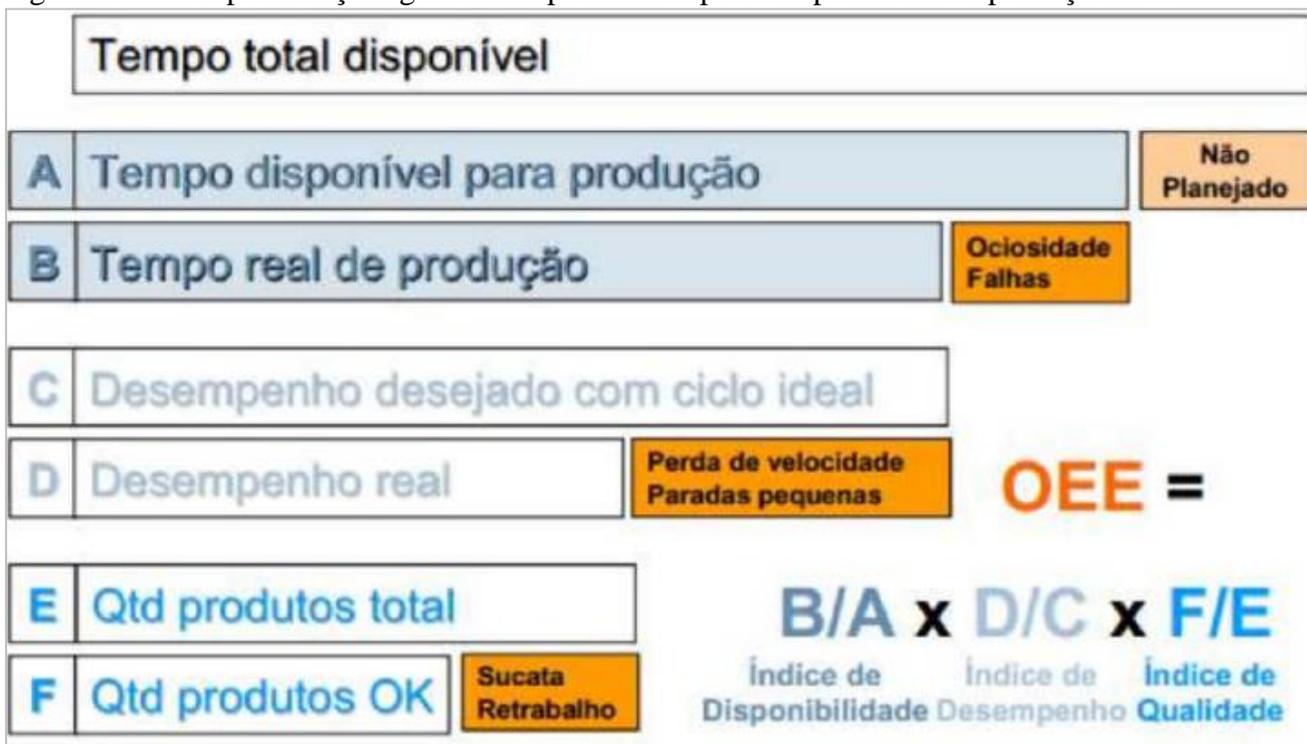
QUAL = Índice de Qualidade.

- Cálculo do OEE para produção contínua: Específico nas Usinas de beneficiamento mineral.

Índice que mede eficiência global do processo considerando métricas de disponibilidade física, utilização, eficiência de produtividade.

$$\text{Equação 4.23: } OEE = DF \times UT \times EP$$

Figura 13 - Representação geral das perdas temporais aplicado em produção seriada



Fonte: Santos (2010).

Figura 14 – Representação geral das perdas temporais aplicado em produção contínua



Fonte: Adaptado de Gil (2015, p. 6-123).

4.3 AS GRANDES PERDAS NA CAPACIDADE PRODUTIVA:

A produtividade e eficiência industrial segundo Nakajima (1989), são afetadas por 16 grandes perdas e que são agrupadas em 3 categorias de ineficiências, conforme pode ser visto no Quadro 9, também são denominadas perdas de Kaisen. "Kai" significa em japonês mudança e que "Zen" significa bom, o objetivo desta linha de pensamento na manutenção produtiva total é executar pequenas melhorias continuamente ao invés de revolucionar toda uma organização de forma violenta. Kaizen não envolve grandes custos e está intimamente ligado aos pilares de educação e treino, manutenção contínua, manutenção planejada e outros pilares da manutenção produtiva total (LIMA, 2009).

A TPM considera que existem seis grandes perdas que reduzem as capacidades produtiva dos equipamentos: Perdas por quebra, ajuste, pequenas paradas, baixa velocidade, qualidade insatisfatórias e perda por start up, e que se trabalharmos e atuarmos sobre estes seis itens conseguiremos aumentar a produção (BRANCO FILHO, 2015).

Existe diversos tipos de perdas de produção, mas vale a pena dividir em dois grupos considerando o tipo de indústria, ou seja, aquelas de produção seriada e aquelas de produção contínua (RIBEIRO, 2000).

4.3.1 Perdas em indústrias de produção seriada

A produção seriada possui as seguintes perdas, segundo (RIBEIRO, 2000):

Figura 15 - Quadro das 16 Grandes perdas de Kaizen

Perda	Categoria
1. Perda por falha / Perda por Avaria 2. Perda durante o Setup / Ajustamento 3. Perda durante o Arranque 4. Perda por pequenas paragens ou inatividade 5. Perda de velocidade 6. Perda por defeitos ou "retrabalho" 7. Perda por Downtime Planejado 8. Perda por mudança de ferramenta	Perdas que impedem a eficiência dos equipamentos
9. Perda por falta de gestão 10. Perda de movimento durante as operações 11. Perda de organização das linhas 12. Perda de logística 13. Perda de medição e ajustamento	Perdas que impedem a eficiência do trabalho das pessoas
14. Perda energética 15. Perda de consumíveis 16. Perda de rendimento (perdas relacionadas ao trabalho da máquina em velocidades inferiores ao padrão)	Perdas que impedem o uso eficaz dos recursos de produção

Fonte: Adaptado de Nakajima (1989).

Perdas que impedem a eficiência dos equipamentos:

- Perda por falha / Perda por Avaria
- Perda durante o Setup / Ajustamento
- Perda durante o Arranque
- Perda por pequenas paragens ou inatividade
- Perda de velocidade
- Perda por defeitos ou "retrabalho"
- Perda por Down time Planejado
- Perda por mudança de ferramenta
- Perdas por paradas acidental, onde o equipamento falha repentinamente, ou a quebra vem após uma degradação progressiva.
- Perdas devido a parada para mudar o modelo ou produto produzido, onde o equipamento é intencionalmente retirado de funcionamento, para que seja possível produzir outro modelo ou outro tipo de produto.

Perdas por Performance:

- Perda por operação em vazio, devido à falta de produto na linha para ser processado.
- Perdas por pequenas paradas, onde apesar de haver matérias prima para ser processada, por algum motivo, ela não chegou na máquina.
- Perdas por velocidade reduzida ou queda de velocidade, que são problemas devidos a deficiências do processo que obriga a reduzir a velocidade de produção, ou redução intencional de velocidade pelo operador.

Perdas por má qualidade:

- Perdas por defeitos ou má qualidade, que são os tempos gastos para reprocessar as unidades com defeitos, ou para eliminar estas unidades.
- Perdas por defeitos gerados no início do processo produtivo, que são as perdas do processo na entrada em carga, perdas devido à instabilidade da linha de produção, inabilidade do operador, máquina em ajustes, etc.

4.3.2 Perdas em Indústrias de Produção Contínua

A produção contínua de igual modo possui as seguintes perdas, segundo (RIBEIRO, 2000), são as seguintes:

Perdas por paradas para manutenção:

- Perdas por parada da linha (shutdown), que são as perdas devido às paradas de manutenção periódica ou sistemáticas. Manutenção Preventiva.
- Perdas por ajuste de produção ou reentrada em processo, que são as perdas causadas pela produção reduzidas enquanto a linha está entrando em carga plena.

Perdas por pequenas paradas.

- Perdas por falhas em equipamentos, que são as perdas temporárias denominadas de “chokotei” devido a uma interrupção momentânea, por qualquer motivo.
- Perdas por falhas no processo produtivo, que são as perdas de produção devido a fatores externos, como os erros de operação, alterações de propriedades dos produtos antes de serem processados, podendo ocorrer entupimentos nos equipamentos, trincas, vibrações, etc. e normalmente relatados como anormalidades na operação ou produção.

Perdas por performance.

- Perdas normais de produção, que são as que ocorrem durante os processos normais de colocada em marcha ou de partida de equipamentos, como tempos de aquecimentos, resfriamento, etc.
- Perdas anormais de produção, que são as perdas encontradas entre o que deveria ser feito (o que poderia) e o que realmente foi feito.

Perdas por má qualidade ou defeitos.

- Perdas em produtos defeituosos, que são as perdas de tempo para produzir produtos defeituoso, rejeitados, refugos, bem como as perdas financeiras devido as vendas de produto ou o material não conforme. Pode ser além da mão de obra, o tempo dos equipamentos, as utilidades (água, energia, vapor, combustível, etc.).

4.4 METODOLOGIA DE INDICADORES DE PERFORMANCE APLICADA NAS PLANTAS DE BENEFICIAMENTO MINERAL DE CARAJÁS

4.4.1 Critérios para o cálculo dos indicadores de manutenção e operação

A conceituação e padronização das fórmulas de cálculo dos indicadores de desempenho aplicáveis à Manutenção e a Operação, devem ser definidas com a utilização dos indicadores que melhor representem os processos sob controle das áreas. Os indicadores do circuito de beneficiamento, representam toda a usina e os cálculos desses índices de desempenho devem considerar o circuito crítico do processo produtivo. Os indicadores a serem controlados é a disponibilidade física, a utilização física e a produtividade relativa. Para o cálculo dos indicadores de desempenho é necessário definir como e onde medir os parâmetros envolvidos. Abaixo seguem definições por especificidades.

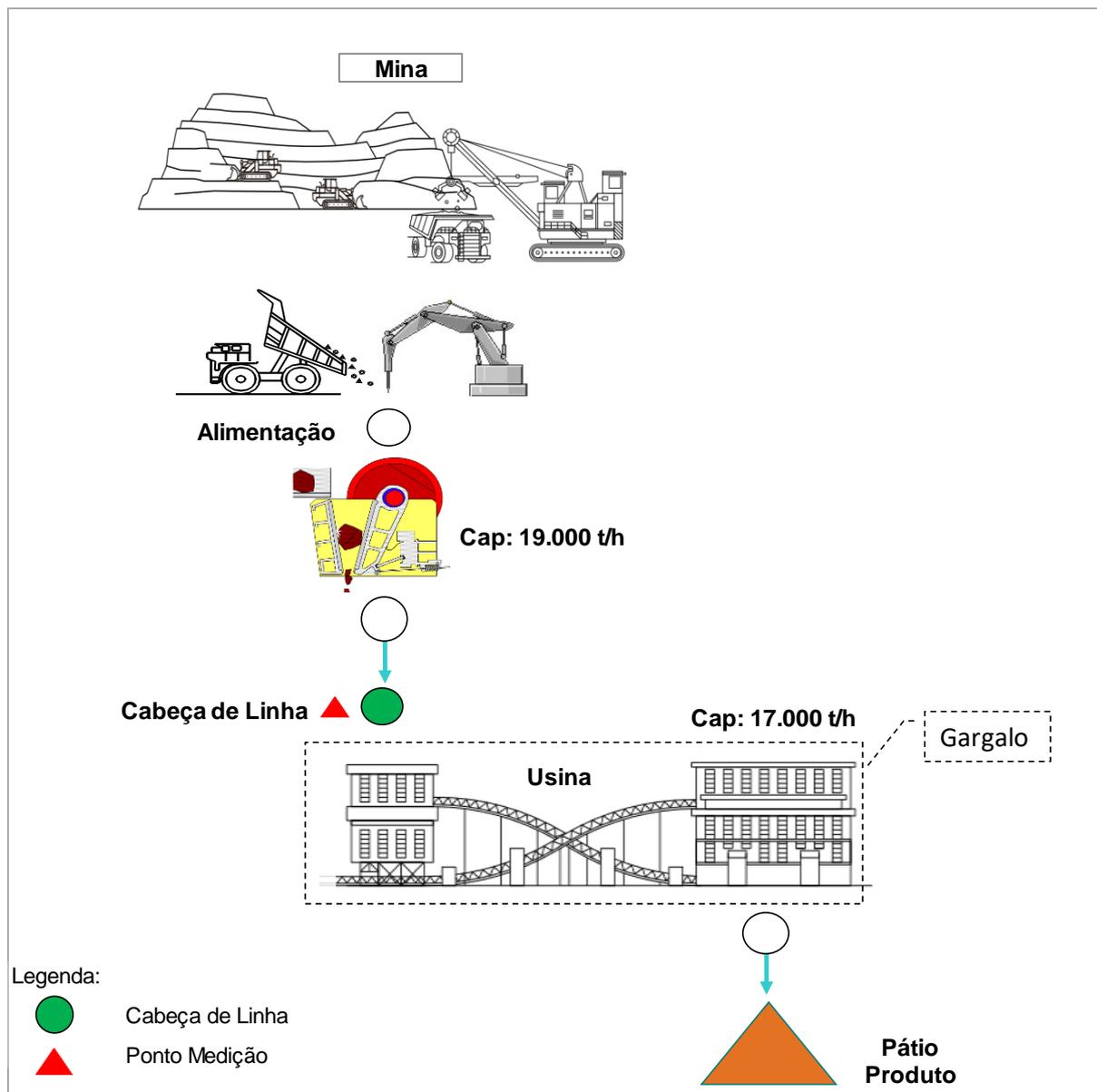
Circuito Crítico do Processo:

Para determinação do circuito que representará os indicadores consolidados de toda a unidade operacional, deve-se ter em mente os seguintes passos:

- Identificar o circuito crítico (gargalo) do processo produtivo especificando claramente o início e o final do circuito escolhido;
- Calcular os indicadores sempre na entrada do processo escolhido (cabeça de linha);

Nos circuitos em série conforme Figura 16, o cálculo é feito sempre pelo equipamento crítico (gargalo). A figura 17 observa-se que o circuito é em paralelo e indicadores são calculados pelo método do equipamento singelo, ou seja, aquele que quando desligado o processo não estará produzindo.

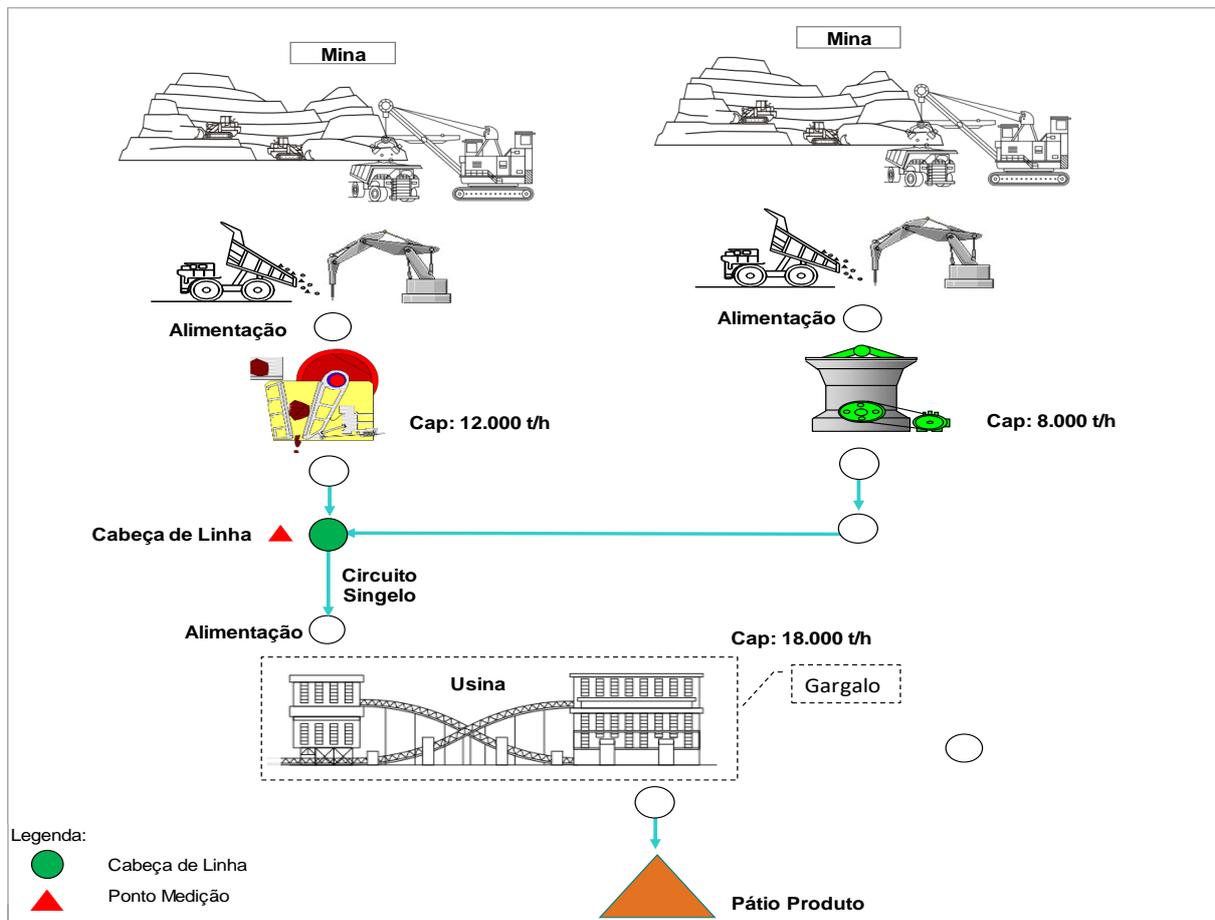
Figura 16 – Exemplo Hipotético de um circuito em Série



Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

A figura 17 observa-se que o circuito é em paralelo e indicadores são calculados pelo método do equipamento singular, ou seja, aquele que quando desligado o processo não estará produzindo.

Figura 17 – Exemplo Hipotético de um circuito em Paralelo



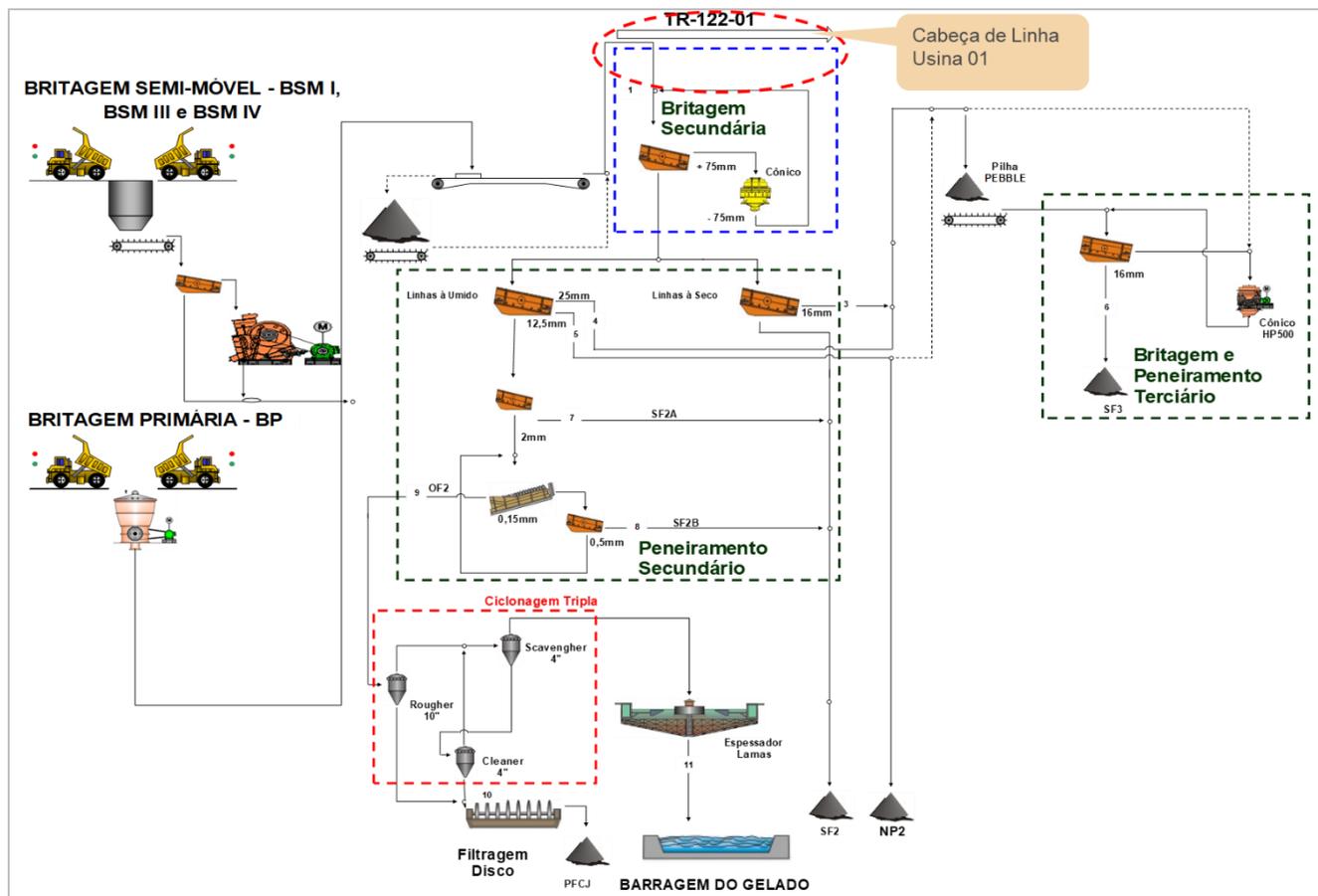
Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

Na figura 18, mostra um exemplo de aplicabilidade da metodologia de medição dos indicadores de performance nos circuitos singelos. O exemplo é do fluxograma da Usina 01 de Carajás, onde o cabeça de linha (Ponto de controle de medição) é considerado o TR-122-01 que é o equipamento singelo de alimentação da planta.

Circuitos Críticos Internos das Plantas de Beneficiamento:

Apenas para acompanhamento e controles internos, as unidades operacionais poderão calcular os indicadores utilizando o método de acúmulo de horas dentro das plantas de beneficiamento que consiste em somar as horas apropriadas dos equipamentos de um circuito (HC, HT, HM e HO) e calcular a DF, UF e RO a partir dessas horas acumuladas.

Figura 18 – Exemplo Metodologia do Circuito Singelo aplicado na Usina 01 Carajás



Fonte: Conhecida pela Empresa.

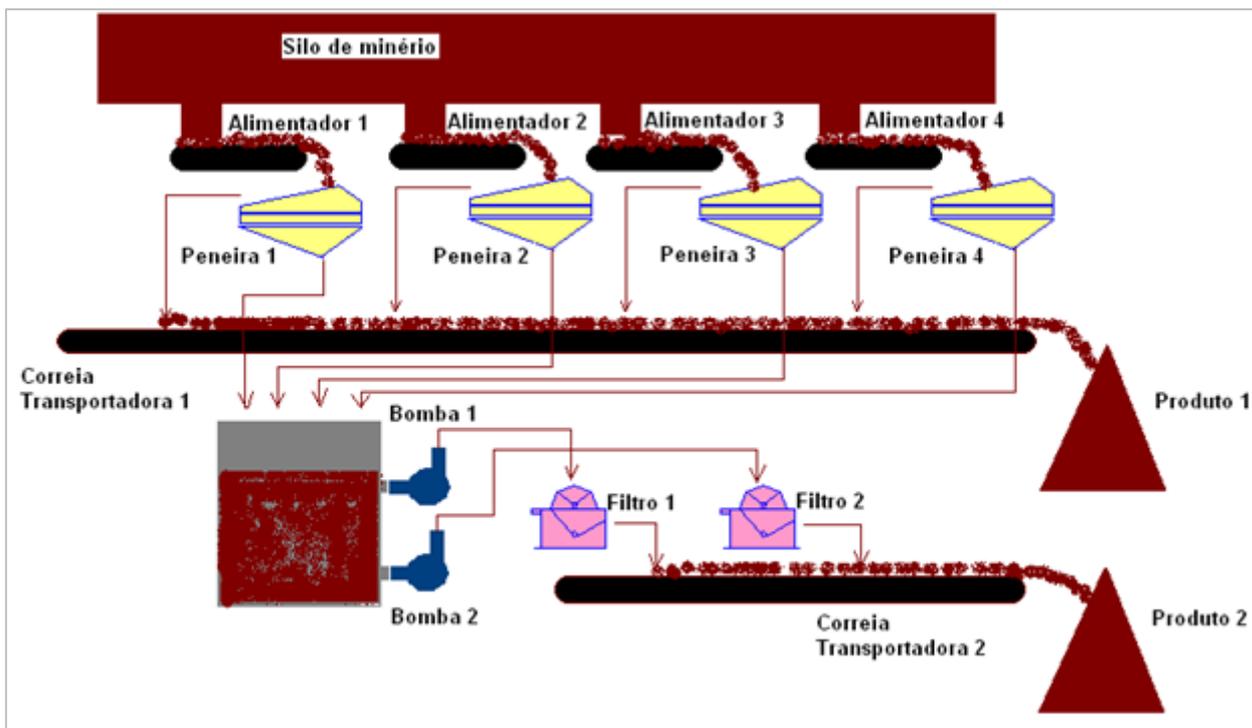
Exemplo 1:

O circuito abaixo, figura 19, é composto por 04 linhas de produção. Cada linha é formada por um alimentador e uma peneira. Os alimentadores são considerados os cabeças de linhas, pois estão no início do processo, onde são registrados o rendimento de cada linha. As peneiras fazem a primeira classificação, gerando o produto 1. O tanque recebe o material passante das 04 linhas de produção, sendo considerado singelo dentro do processo interno da planta. O material do tanque é bombeado para os filtros que descarregam em uma correia transportadora até a pilha de produto 2.

Considerando um dia com paradas como segue:

- Linha 1, parada para manutenção de 0h às 6h

Figura 19 – Circuito Crítico em Planta de Beneficiamento de Minério



Fonte: Manual de Indicadores Vale.

- Linha 2, parada para manutenção de 5h às 10h
- Linha 3, parada para manutenção de 5h às 12h
- Linha 4, parada para manutenção de 5h às 9h e depois de 16h às 18h

4.4.2 Método de Cálculo Indicadores Pelo Equipamento Singelo para o exemplo 1

O método do equipamento singelo consiste em medir os indicadores a partir de um único equipamento que represente a operação do processo como um todo. O cálculo da DF/UF/RO deve ser feito pelo equipamento singelo do circuito crítico, neste caso o circuito crítico seria o peneiramento e o equipamento singelo seria o transportador de correia 1. O circuito crítico somente será considerado parado quando as quatro linhas estiverem paradas simultaneamente. As paradas não simultâneas afetarão apenas a taxa de alimentação e produtividade do processo. Exemplo:

As quatro linhas ficaram paradas simultaneamente apenas no intervalo entre 5h e 6h, dessa forma a DF calculada seria:

$$\text{Equação 4.24: } DF = \frac{HC - HM}{HC} = \frac{24 - 1}{24} = 95,83\%$$

4.4.3 Método de Cálculo Pelo Acúmulo de Horas para o Exemplo 1

O cálculo da DF/UF/RO deve ser feito somando as horas por categoria das quatro linhas efetuando o cálculo com os resultados dessas somas. Exemplo:

Dados das linhas:

- Linha 1, HC = 24h e HM = 6h
- Linha 2, HC = 24h e HM = 5h
- Linha 3, HC = 24h e HM = 7h
- Linha 4, HC = 24h e HM = 6h

$$\text{Equação 4.25: } DF = \frac{(HC(l1)-HM(l1))+(HC(l2)-HM(l2))+(HC(l3)-HM(l3))+(HC(l4)-HM(l4))}{HC(l1)+HC(l2)+HC(l3)+HC(l4)}$$

$$\text{Equação 4.26: } DF = \frac{(24-6)+(24-5)+(24-7)+(24-6)}{24+24+24+24} = 75\%$$

Caso duas ou mais linhas de um mesmo circuito produtivo possuam capacidade de projeto diferentes, o cálculo da DF deverá ser ponderado por essa capacidade de cada linha. Isso significa que as horas deverão ser multiplicadas pelo percentual de impacto de cada linha. O percentual de impacto a ser considerado deve ser o de capacidade de projeto de cada linha e não a produção realizada por cada uma no período.

Exemplo 2:

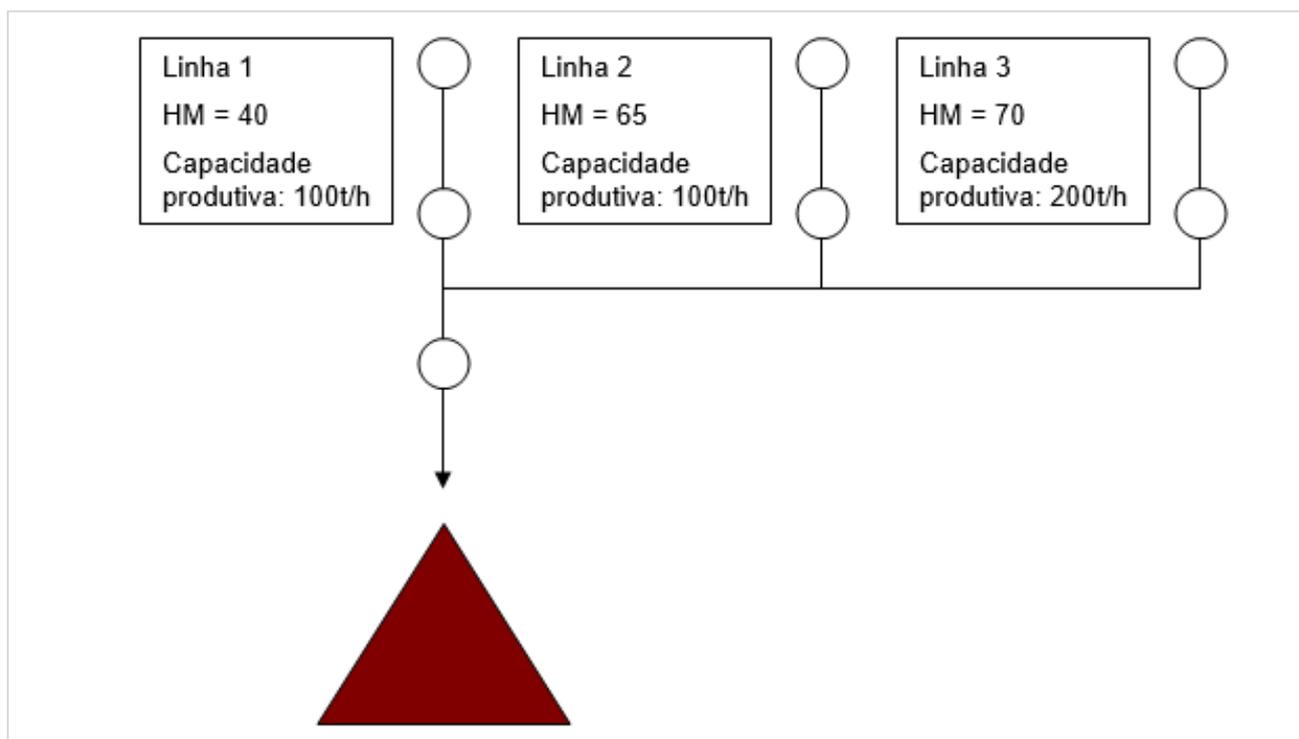
No exemplo que segue, consideremos um circuito composto de 3 linhas e operação em um mês com 720h. Na figura 16, estão inseridas as HMs e a capacidade produtiva percentual em relação ao total do circuito. Para este caso, temos o seguinte cálculo para a DF e UF, considerando que não houve ocorrência além das HMs.

$$\text{Equação 4.27: } DF = \frac{(720-40) \times 0,25 + (720-65) \times 0,25 + (720-70) \times 0,5}{720 \times 0,25 + 720 \times 0,25 + 720 \times 0,5} = 91,49\%$$

Complexo com dois circuitos produtivos independentes

No caso de existirem dois ou mais circuitos independentes, que geram produtos em separado, mas em regime de operação contínua, a DF/UF/RO da unidade operacional e/ou complexo, considera a média ponderada desses indicadores de cada um dos circuitos em relação à capacidade.

Figura 20 – Circuito Composto em Planta de Beneficiamento de Minério



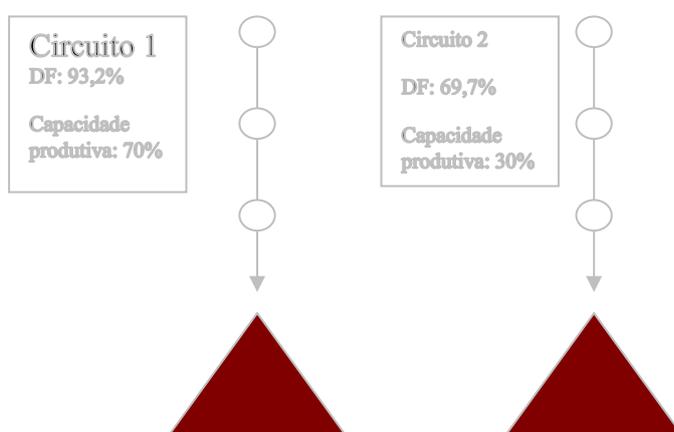
Fonte: Manual de Indicadores Vale.

Isso é válido independentemente se o percentual da produção de um circuito for pouco significativo em relação ao total. Entretanto, caso uma ou mais instalações não operem em regime contínuo, essa regra não deverá ser considerada, e só deverá ser computada a DF dos circuitos de operação em regime contínuo. Importante observar que a ponderação deve ser feita pela capacidade do circuito e não pela produção do período.

Exemplo 03:

No exemplo que segue, figura 21, consideremos dois circuitos, completamente independentes, operando em regime contínuo. No quadro estão inseridas as DFs e a capacidade produtiva percentual em relação ao total do complexo. Para este caso, temos o seguinte cálculo para a Equação 4.28: $DF \text{ e } UF.DF = (93,2\% \times 0,7 + 69,7\% \times 0,3) = 86,15\%$

Figura 21 – Circuito Composto em Planta de Beneficiamento de Minério.



Fonte: Manual de Indicadores Vale.

4.4.4 Categoria da Hora do Evento x Local do Equipamento Gerador

A cada evento que ocorre nos equipamentos têm-se um tempo atribuído, o qual se enquadra dentro de uma categoria (classificação). Esta categoria deve levar em conta, não apenas aquela atribuída ao código do evento, mas também ao local do equipamento gerador. As unidades operacionais são divididas em uma estrutura hierárquica de locais e a consolidação dos indicadores para a Usina deve considerar tal estrutura. A parada de um equipamento em função de outro que esteja fora da hierarquia do local analisado deverá ter a categoria de hora HOI (Hora Ociosa Interna), independente da categoria de hora atribuída ao código do evento do equipamento gerador. Qualquer evento cujo equipamento gerador esteja dentro do local analisado ou em qualquer local hierarquicamente abaixo do mesmo deverá ter a mesma categoria de hora atribuída ao código do evento, caso contrário a categoria de hora deve ser HOI (Hora Ociosa Interna).

Ex.: Na Figura 19, via de regra, a estrutura hierárquica de locais e seus respectivos equipamentos seria:

Situação hipotética da figura 19: Parada por manutenção corretiva na Correia Transportadora 2, ocasionando a parada total da planta.

A categoria de hora do evento deverá ser ajustada dependendo do local para onde se quer calcular os indicadores a saber:

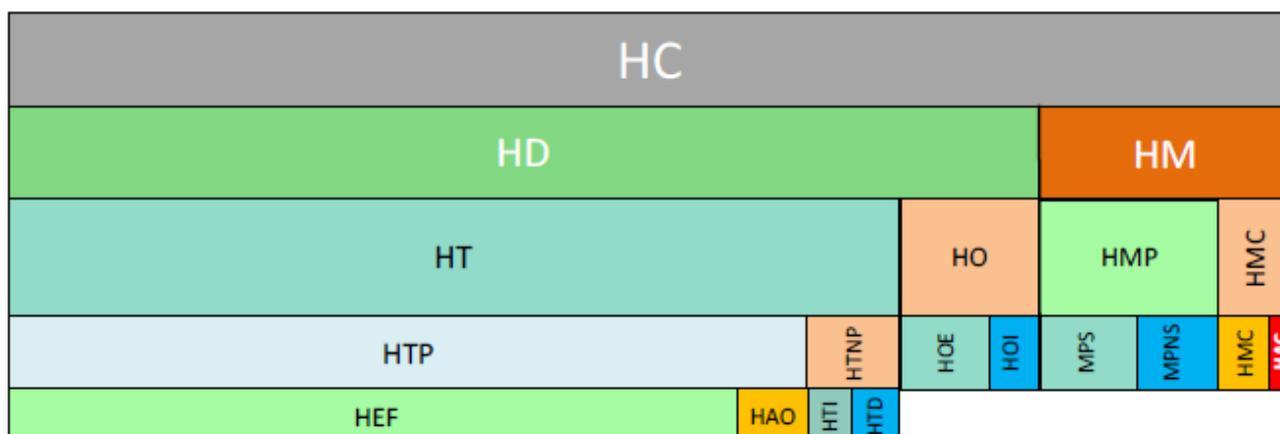
- Filtragem - HMC (Hora Manutenção Corretiva);
- Filtro 1 ou Filtro 2 - HOI (Hora Ociosa Interna);
- Usina - HMC (Hora Manutenção Corretiva);
- Peneiramento ou Linhas 1 a 4 - HOI (Hora Ociosa Interna).

É importante observar que o Peneiramento é o processo crítico e a Usina é medida com base nas paradas do mesmo, ou seja, as horas operadas/paradas do Peneiramento são as mesmas da Usina, no entanto, na situação hipotética acima, as horas paradas em função da correia transportadora 2 na visão da Usina são consideradas de manutenção (HMC), já na visão do Peneiramento são consideradas operacionais (HOI). O RO do Peneiramento e Usina serão os mesmos, mas a DF e a UF serão diferentes. Esta condição é válida tanto para o método Singelo quanto para o método de Acúmulo de Horas.

4.4.5 Estratificação das horas

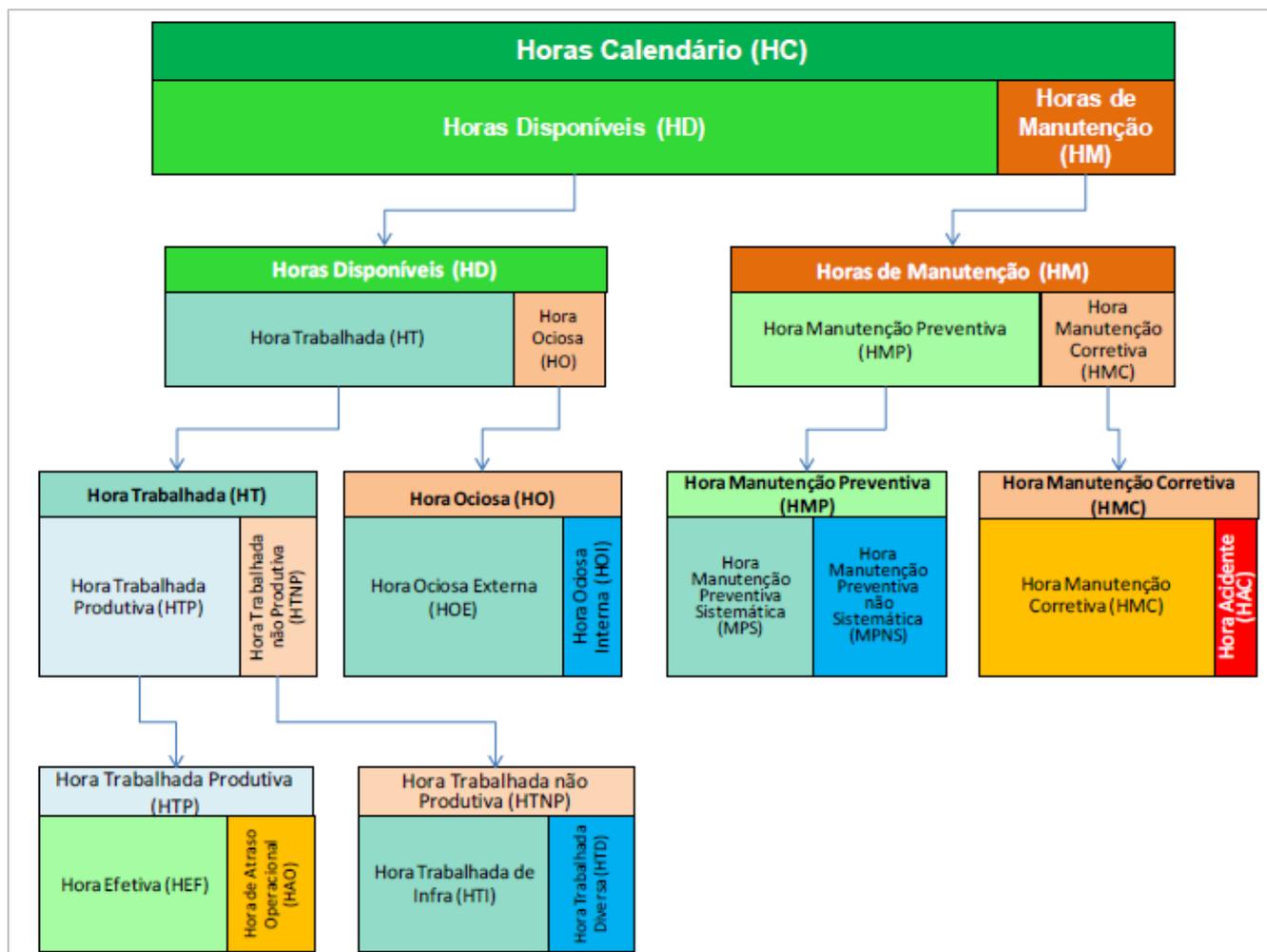
Não apenas manutenção deve ter as subdivisões das horas, para efeito de apropriação e devem ser adotadas as nomenclaturas conforme demonstrado nas figuras Figura 22 e 23.

Figura 22 – Estratificação de Horas.



Fonte: Manual de Indicadores Vale.

Figura 23 – A subdivisão da jornada produtiva.



Fonte: Manual de indicadores Vale.

Considerações:

- As horas calendários (HC) estão subdivididas em hora trabalhada, hora de manutenção (HM) e hora ociosa (HO);
- As horas trabalhadas estão subdivididas em hora efetiva (HEF) e hora trabalhada não produtiva (HTN);
- As horas efetivas trabalhadas (HEF) se subdividem em horas efetivas normais (HEFN), nas quais o equipamento ou sistema está trabalhando em situação normal e horas efetivas com restrição (HEFR), quando há algum problema (defeito ou condições externas inadequadas) que impede que o equipamento, ou sistema, opere com a produtividade esperada. Permite uma estratificação da área para facilitar a identificação dos períodos em que o equipamento (ou sistema) operou com algum tipo de restrição (baixa produtividade);

- As horas de manutenção (HM) estão subdivididas em hora de manutenção preventiva (HMP) e hora de manutenção corretiva (HMC);
- As horas de manutenção preventiva (HMP) estão subdivididas em hora de manutenção preventiva sistemática (MPS) e hora de manutenção preventiva não sistemática (MPNS);
- As horas ociosas (HO) estão subdivididas em hora ociosa interna (HOI) e hora ociosa externa (HOE).

5 METODOLOGIA

Para o desenvolvimento do trabalho serão utilizados os dados oriundos do processo produtivo e aplicados os métodos de cálculos dos indicadores chaves aqui estudados e apresentados. Desse modo, demonstrar a influência de todas as perdas relativas à Disponibilidade, Utilização Física e Produtividade Relativa.

Serão apresentados gráficos, figuras esquemáticas e tabelas que explicam detalhes do OEE nas Usina de beneficiamento de Carajás.

De forma geral temos:

- Coleta de dados diárias e mensais dos índices aplicados nas plantas de beneficiamento.
- Coleta dos resultados mensais e diários de OEE.
- Apresentação e análise do método atual de cálculo dos indicadores e de perdas nas usinas de beneficiamento, considerando também o método OEE.
- Apresentar um novo método de cálculo de indicadores e de perda para circuitos singelos, considerando OEE.
- Comparação das duas metodologias de Análise de Perdas.
- Proposta de uma Nova forma de medir os indicadores para o Sistema compostos de Produção aplicando o OEE na interface Mina-Usina.
- Analisar as metodologias de cálculos do OEE das instalações de beneficiamento de Carajás, detalhando seus índices de eficiência.
- Analisar as metodologias de perda de produção.

5.1 ÁREA DE ESTUDO

O minério de ferro de Carajás, S11D e Serra Leste é exportado por um sistema que integra minas, usinas, ferrovia e porto. Após a fase de lavra e processamento, o produto é transportado em vagões através da Estrada de Ferro Carajás até o Terminal Marítimo Ponta da Madeira (PDM), em São Luís, Maranhão.

Carajás é a maior operação da Vale. É também considerada como o maior produtor de minério de alto teor de ferro e mínima concentração de contaminantes do mundo.

Figura 24 – Área de Atuação do Estudo – Corredor Norte



Fonte: Apresentação Update Vale.

A Usina 01 de Carajás recebe minério de 03 eixos das minas, Eixo N4E, N4W e N5 e que são transportados da lavra até as plantas de Britagens Primárias através de caminhões fora de estradas. Hoje o processo de alimentação da Usina 01 é composta por três Britagens Semimóveis (BSM) e Uma Britagem Fixa (BRIT 01) e duas moegas auxiliares instaladas na BSM 02 e BSM 03(Hopper), além de poder receber material da BSM 05 em casos extremos.

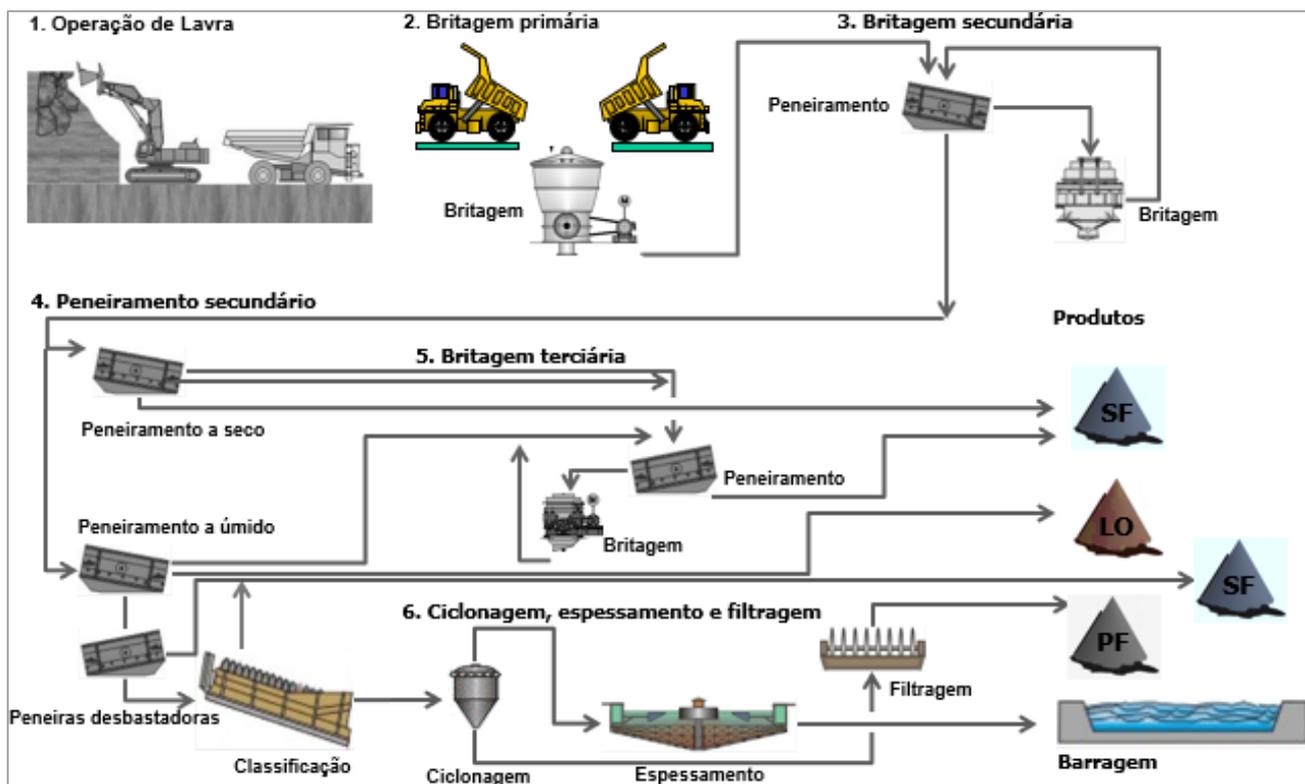
O processo de tratamento de minério das Usina 01 é composto por Cominuição, Peneiramento, Classificação, espessamento e filtragem.

Figura 25 – Visão da Mina de Ferro de Carajás e Usina 01 Local do estudo



Fonte: Apresentação Update Vale.

Figura 26 – Fluxograma Simplificado da Usina 01 de Carajás.



Fonte: Conhecida pela Empresa.

6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

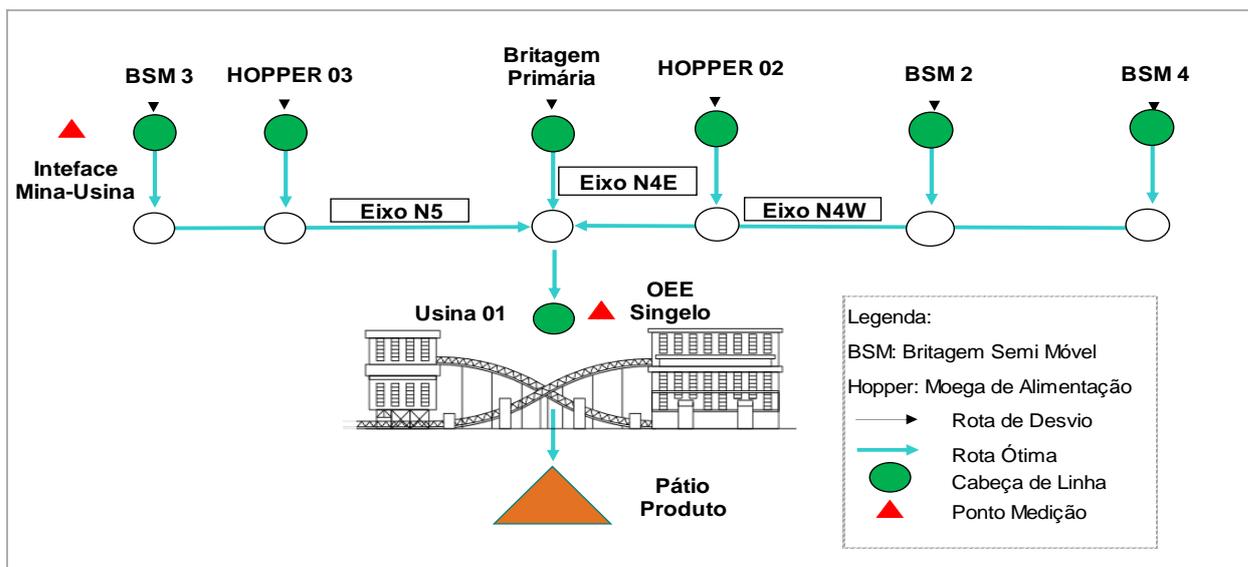
6.1 ESTUDO DE CASO DA METODOLOGIA DE ANÁLISE DE PERFIL DE PERDA APLICADA NA PLANTA DA USINA 01 DE CARAJAS

O perfil de perdas de produção desse estudo de caso, foi realizado nas plantas das britagens Primárias, ou seja, na interface Mina-Usina conforme fluxograma da Figura 27. As Metas de produção são desdobradas por cada britagem primária totalizando a alimentação da Usina 01. Os apontamentos de perdas consideram apenas o período programado para produção, os tempos de paradas preventiva ou os tempos em que a operação não deseja produzir, são excluídos, pois este tempo estava fora dos tempos considerados programáveis (efetivos para produção). As perdas apropriadas são de manutenção corretivas, preventivas não programadas e paradas operacionais dentro do tempo efetivo. Nota-se que as análises são feitas seguindo a metodologia da Disponibilidade Operacional conforme apresentado na Figura 07. As apropriações das perdas são feitas pelo Centro de Operação Integradas, analisando as perdas de produção por Disponibilidade Física, Utilização Física e Produtividade Relativa baseadas na programação do Dia (D). Para o fechamento das perdas de produção é feito o somatório das perdas por indicador na Interface Mina-Usina conforme figura 23, proporcionalizando o resultado com a perda de produção Global e estratificando as causas por natureza (DF, UF ou Produtividade). As compensações de perdas levam em consideração os eixos dos pontos ótimos, ou seja, Eixo N5(BSM 03 e Hopper 03); Eixo N4W (BSM 02 e BSM 04 e HOPPER02) e Eixo N4E (BRIT 01).

A Figura 27, mostra o fluxo dos pontos de controle da Alimentação da Usina 01. No estudo de caso, as análises de perdas são baseadas na interface Mina-Usina, ou seja, utilizando os cabeças das britagens primárias.

As análises abaixo mostram um exemplo de um balanço de perda de produção em toneladas, cujos dados foram retirados do Sistema GPV (Sistema de Gestão de Produção). As apropriações de perdas são feitas hora/hora, analisando a curva de alimentação das plantas, os horários de manutenção programadas ou por uma ociosidade definida não são consideradas. As compensações e ponderações podem ser vistas na tabela 1, ou seja, por eixo de escoamento.

Figura 27 – Esquema dos Pontos de Controle da Alimentação da Usina 01 de Carajás



Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

Tabela 1 – Balanço de Perda de Interface Mina-Usina - Alimentação da Usina 01 de Carajás.

Dados referente ao dia 04/09/2020 (Sistema GPV)

	BSM 02 (A)	Hopper 02 (B)	BSM 04 (C)	Eixo N4W (D)
Programado (P)	104 334	13 399	41 050	158 783
Realizado (R)	80 728	10 648	53 004	144 380
Perda Potencial (R - P)	-23 606	-2 751	11 954	-14 403

	BSM 03 (E)	Hopper 03 (F)	Eixo N5 (G)
Programado (P)	83 853	0	83 853
Realizado (R)	54 460	0	54 460
Perda Potencial (R - P)	-29 393	0	-29 393

	BRITAGEM 1 (H)	Eixo N4E (I)
Programado (P)	64 143	64 143
Realizado (R)	65 022	65 022
Perda Potencial (R - P)	879	879

	ROM - Total
Programado (P)	306 779
Realizado (R)	263 862
Perda Potencial (R - P)	-42 917

Eixo N4W (D) = A + B + C

Eixo N5 (G) = E + F + G

Eixo N4E (I) = H

Perda Total (J) = D + G + I

Fonte: Elaborado pelo próprio autor(Sistema GPV).

Analisando a tabela 1, temos:

- Cálculo Perda Eixo N4W = Proporção das perdas potenciais (BSM 02+Hopper 02+BSM 04) pela Perda total do Eixo.

Temos:

Como não houve perda na BSM 04, ela não entra no cálculo, ou seja, a proporção é feita considerando apenas as áreas que não cumpriram o programa.

- Perda potencial absoluta BSM 02 = $(A / (A+B) \times D = 23.606 / (23.606+2.751) \times 14.403 = 12.900 \text{ t}$
 - Perda potencial absoluta Hopper 02 = $(B / (A+B) \times D = 2.751 / (23.606+2.751) \times 14.403 = 1.503 \text{ t}$
 - Perda potencial absoluta Eixo N4W = Somatório perdas A e B = $12.900+1,503 = 14.403$
- Cálculo Perda Eixo N5 = Proporção das perdas potenciais (BSM 03+Hopper 03) pela Perda total do Eixo.

Temos:

Como o Hopper 03 não houve perda ele não entra no cálculo

- Perda potencial absoluta BSM 03 = Perda Eixo N5 = 29.393t
- Cálculo Perda Eixo N4E = Perdas da BRIT 01.

Temos:

Como a Britagem 01 cumpriu a programação ela não teve perda.

- Cálculo Perda de Produção da Usina 01= Proporção da perda de interface Mina Usina pela perda de Produção
- As compensações são feitas por Eixo e por fim ponderada a perda de produção Global da Planta.

Estratificação das Perdas

A tabela 2 mostra a sequência do processo de apontamento de perdas de alimentação. Os apontamentos das perdas são feitos manualmente de forma absoluta,

justificando o desvio da meta horária, por ponto de basculamento. Após apropriação horária, as perdas são agrupadas por indicador, cabeça de linha, equipamento causador e causa, sendo expressas em tonelada. A consolidação das perdas por equipamento e a causa que está relacionada, disponibilidade ou utilização, é mostrada na figura 25.

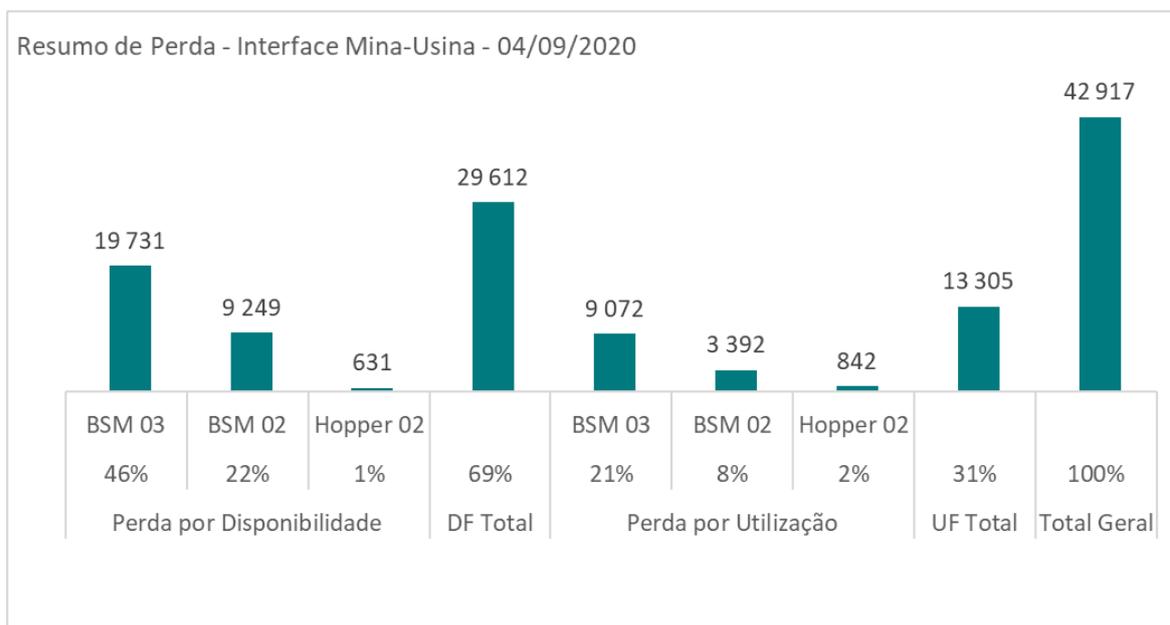
Tabela 2 – Estratificação de perdas na Interface Mina-Usina - Alimentação da Usina 01 de Carajás.

							Perda ROM Total	42 917
Dia	Usina 01	ICD	Cabeça de Linha	Equip.	Causa	Perda Potencial	%	Perda Ponderada
04/09/2020	Usina 01	UF	BSM 03	Mina	Manutenção de vias de acesso	3 430	7,8%	3 361
04/09/2020	Usina 01	UF	BSM 03	TR-122-02	Retirando sucata	1 161	2,7%	1 137
04/09/2020	Usina 01	UF	BSM 02	TR-122-02	Retirando sucata	1 321	3,0%	1 294
04/09/2020	Usina 01	UF	BSM 03	Mina	Indisp. Equip. Mina - Pá carregadeira	2 435	5,6%	2 386
04/09/2020	Usina 01	UF	BSM 03	Mina	Lavra seletiva (umidade, qualidade, estéril)	2 233	5,1%	2 188
04/09/2020	Usina 01	UF	BSM 02	Mina	Detonação	925	2,1%	907
04/09/2020	Usina 01	UF	Hopper 02	Mina	Troca de turno	872	2,0%	854
04/09/2020	Usina 01	UF	BSM 02	Mina	Troca de turno	1 146	2,6%	1 123
04/09/2020	Usina 01	DF	BSM 02	TR 1100-07	Lubrificação	6 528	14,9%	6 397
04/09/2020	Usina 01	DF	BSM 03	TR 117-07	Defeito emenda	7 571	17,3%	7 419
04/09/2020	Usina 01	DF	BSM 03	TR 117-04	Falha Sensor de posição	3 910	8,9%	3 832
04/09/2020	Usina 01	DF	BSM 03	Linhas PEN02	Manutenção Linha da classificação	5 812	13,3%	5 695
04/09/2020	Usina 01	DF	BSM 03	TQ 144-08	Tubulação Danificada	1 682	3,8%	1 648
04/09/2020	Usina 01	DF	BSM 02	TQ 144-08	Tubulação Danificada	785	1,8%	769
04/09/2020	Usina 01	DF	Hopper 02	TQ 144-08	Tubulação Danificada	421	1,0%	412
04/09/2020	Usina 01	DF	BSM 03	TR 122-07	Falha sensor de velocidade	1 161	2,7%	1 137
04/09/2020	Usina 01	DF	BSM 02	TR 122-07	Falha sensor de velocidade	1 112	2,5%	1 090
04/09/2020	Usina 01	DF	Hopper 02	TR 113-02	Quebra Rolete de Carga	210	0,5%	206
04/09/2020	Usina 01	DF	BSM 02	TR 113-02	Quebra Rolete de Carga	1 083	2,5%	1 061
TOTAL						43 797	100,0%	42 917

Fonte: Elaborado pelo próprio autor (Sistema GPV).

Comparando os resultados do resumo de perda da Figura 24 que é medido na interface Mina-Usina com os indicadores do Circuito Singelo na tabela 3, nota-se que no modelo de interface Mina-Usina, 70% da perda é relacionada à Disponibilidade Física e 30% relacionada à Utilização Física, sendo que os indicadores do Circuito Singelo da Usina 01, mostra que apenas a produtividade ficou abaixo da meta. A Falta de correlação com os indicadores chaves da produção, gerou muitas reclamações das áreas, motivando o presente estudo. Desta forma, com este modelo do estudo de caso, torna-se inviável, pois não segue o desdobramento de metas dos indicadores de produção.

Figura 28 – Resumo de perdas absolutas oriundas da estratificação Interface Mina Usina



Fonte: Sistema GPV

Analisando a tabela 3, observa que a DF e UF ficaram 100% no Circuito Singelo, sendo que nas interfaces apareceram perdas por DF e UF. Isso ocorre devido os indicadores base circuito singelo serem medidos em uma correia transportadora, cuja característica e comportamento do equipamento apresenta um alto rendimento operacional.

Tabela 3 – Resumo dos indicadores do Circuito Singelo no dia 04/09/2020

04-09-2020	Circuito Singelo Usina 01	
	Prog.	Exec.
DF	99,77	100,00
UF	99,40	100,00
RO	99,17	100,00
*Prod.	12 889	10 994
OEE	58,08	100,00
Volume Alimentado	306 779	263 862

Fonte: Sistema GPV.

6.2 PROPOSTA DA METODOLOGIA DE ANÁLISE DE PERFIL DE PERDA UTILIZANDO O OEE NAS PLANTAS DE BENEFICIAMENTO MINERAL DE CARAJAS

6.2.1 Cálculo do perfil de perda de produção utilizando o OEE

O exemplo abaixo descreve a proposta da metodologia de análise de perfil de perda utilizando o OEE aplicada nas Usinas de beneficiamento de Carajás PA em maio 2020.

Na tabela 4 é mostrado um quadro de programação de um OEE hipotético, com seus respectivos indicadores, comparando com os resultados realizados, e por fim os cálculos de perda dessa programação.

Tabela 4 – Exemplo Hipotético do OEE e sua Terminologia aplicada na mineração.

OEE			
Indicadores Programado	Unidade	Programado (p)	Realizado (r)
Horas Calendário	h	24,0	24,0
Produtividade Relativa	t/h	16 149,87	12 254,90
Produtividade Nominal	t/h	20 000	20 000
Horas de Manutenção (HM)	h	2,4	3,6
Horas Manutenção Corretivas (HMC)	h	1,4	1,6
Horas Manutenção Preventivas (HMP)	h	1,0	2,0
Horas Disponíveis (HD)	h	21,60	20,40
Disponibilidade Física (DF)	%	90,0%	85,0%
Horas Improdutivas	h	3,0	4,1
Horas Trabalhadas (HT)	h	18,576	16,320
Utilização Física (UF)	%	86,00%	80,0%
Rendimento Operacional (RO)	%	77,4%	68,0%
Horas Perdidas de Produtividade	h	0,00	3,9
Horas Efetivas de Produtividade	h	18,576	12,384
Eficiência de Produtividade (EP)	%	100,0%	75,9%
Eficiência de Produtividade Nominal	%	80,7%	61,3%
Overall Equipment Effectiveness (OEE)	%	62,5%	41,7%
Volume Produção	t	300 000	200 000

Perfil de Perda	Perda/Ganho (t) Potencial
Disponibilidade Física (DF)	-16 667
Utilização Física (UF)	-19 767
Rendimento Operacional (RO)	-36 434
Produtividade Relativa	-63 566
Perda de Produção	-100 000
Índice Eficiência Operacional	66,7%

Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

Analisando a tabela 4, temos:

a. Cálculo da Perda ou Ganho potencial de Produção por Disponibilidade Física

$$\text{Equação 6.1: } \text{Perda DF} = (HDr - HDp) \times (UFp) \times (EPp) \times (\text{Produtividade } p) =$$

$$\text{Equação 6.2} = (20,40 - 21,60) \times 86\% \times 100\% \times 16149,87 = - 16.667 \text{ t (Perda potencial)}$$

Onde HDp = Horas Disponíveis Programadas.

HDr = Horas Disponíveis Realizadas.

UFp = Utilização Física Programada.

EPp = Eficiência de Produtividade Programada.

Produtividade p = Produtividade Programada.

b. Cálculo da Perda ou Ganho potencial de Produção por Utilização Física

Equação 6.3:

$$\text{Perda UF} = (((HTr - HTp) - ((HDr - HDp) \times (UFp)) \times EPp \times \text{Produtividade } p)) =$$

$$\text{Equação 6.4} = (((16,320 - 18,576) - ((20,40 - 21,60) \times 86\%)) \times 100\% \times 16.149,87) = - 19.767 \text{ t (perda potencial)}$$

Onde HTr = Horas Trabalhadas Requeridas.

HTr = Horas Trabalhas Realizadas.

HDp = Horas Disponíveis Programadas.

HDr = Horas Disponíveis Realizada.

UFp = Utilização Física Programada.

EPp = Eficiência de Produtividade Programada.

Produtividade p = Produtividade Programada.

a. Cálculo da Perda ou Ganho potencial de Produção por Produtividade

Perda por Produtividade

$$= (((((HEPr - HEPp) - ((HDr - HDp) \times UFp \times EPp)) - (((HTr - HTp) \times EPp)) - ((HDr - HDp) \times UFp \times EPp))) \times \text{Produtividade } p)$$

$$= (((((12,384 - 18,576) - ((20,4 - 21,6) \times 86\% \times 100\%)) - (((16,32 - 18,576) \times 100\%)) - ((20,4 - 21,6) \times 86\% \times 100\%))) \times 16149,87) = -66.566 \text{ t (perda Potencial)}$$

Ou Equação 3.4 : *Perda por Produtividade* = (*Produtividade realizada* – *Perda de produtividade Programada*) x *HTr*

$$= (12.254,902-16.149,871) \times 16,320 = - 66.566t$$

Onde HEPp = Horas Efetivas de Produtividade Requerida.

HEPr = Horas Efetivas de Produtividade Realizadas.

H Tp = Horas Requeridas.

HTr = Horas Trabalhas Realizadas.

HDp = Horas Disponíveis Realizada.

HDr = Horas Disponíveis Programadas

UFp = Utilização Física Programada.

EPr = Eficiência de Produtividade Programada.

Produtividade p = Produtividade Programada.

O tratamento das perdas potenciais, pode ser utilizado para tratativa dos desvios e melhorias nos processos, avaliando somente os indicadores que estão com perdas e não levando em consideração a compensação dos indicadores. Essa forma é muito utilizada no tratamento dos MCS(Motivo Causa Solução) das engenharias de Operação e Manutenção.

6.2.2 Balanço de perda de produção utilizando o OEE

O balanço de perda tem o objetivo distribuir somente as perdas de DF, UF e Produtividade, totalizando as parcelas em 100% do total perdido, em um determinado tempo. Para fechar o balanço, são necessárias algumas regras de compensações em caso de ganhos em alguns indicadores.

Para entender melhor como funciona a compensação, vamos analisar os dois exemplos da Figura 30 e 31:

Na Figura 29 mostra de forma esquematicamente uma programação hipotética no horizonte mensal, calculando e distribuindo os indicadores com suas respectivas terminologias das horas. Neste caso a meta dos indicadores seria alcançada, não havendo compensação de horas, considerando que o programado mensal foi realizado. Estão indicadas na figura 29, as horas de

manutenção preventivas, horas ociosas e as horas de perda de produtividade previstas. Na figura 30, está incluso as horas de manutenção corretiva e está sinalizado o realizado de horas ociosas.

Observando a figura 30 e comparando com a Figura 29, observa-se que houve perda na disponibilidade por um parada corretiva nos dias 3,4,5 e 6, sendo compensada pela Utilização, uma vez que ocorreu apenas um dia de horas ociosas. A produtividade se manteve na meta. Neste caso a Utilização compensou a perda da disponibilidade, mas na prática, o sistema produtivo pode não ter mais capacidade de recuperação, ou seja pode atingir seu limite nominal ou sazonal.

Ao calcular o OEE das Tabelas 2,3 e 4, pode ser comparada de forma imediata e clara a situação geral do sistema produtivo e após verificar os indicadores específicos onde foi a perda ou compensação.

Figura 29 – Exemplo1 hipotético de uma programação em um determinado mês de forma esquemática, mostrando a distribuição dos indicadores do OEE com suas respectivas metas.

Dias	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	
A	Tempo Total Disponível (Horas Calendário)																												HC	ICDs		
Horas	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24		
																													744	Real.	meta	Perda
B	HMP		Tempo Disponível para Produção (Horas Disponíveis)																										HD	DF	DF	DF
Horas	0	0	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24		
																													696	93,5%	93,5%	0,0%
C	Hora ociosas		Tempo real de Produção (Horas Trabalhadas)																										HD	UF	UF	UF
Horas	0	0	0	0	0	0	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24		
																													576	82,8%	82,8%	0,0%
D	Produtividade Programada																												HT	HEF	HEF	HEF
Horas	0	0	0	0	0	0	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24		
																													576	100,0%	100,0%	0,0%
E	Perda EP		Produtividade Realizada																										HEP	EP	EP	EP
Horas	0	0	0	0	0	0	0	19	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24		
																													547	95,0%	95,0%	0,0%
Legenda																												$OEE = B/A \times C/B \times E/D$ DF UF EP				
DF- Índice de Disponibilidade Física UF- Índice de Utilização Física EP- Eficiência de Produtividade HEP- Horas Efetivas de Produtividade ; HMP- Horas Manutenção Preventivas; HO - Horas ociosas																												OEE	OEE	OEE		
																												73,5%	73,5%	0,0%		

Fonte: Adaptado de Gil (2015, p. 6-123).

Figura 30 – Exemplo2 segue o mesmo cenário do exemplo1, mostrando a distribuição dos indicadores do OEE com perda DF e ganho de Utilização.

Dias	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31									
A	Tempo Total Disponível (Horas Calendário)																														HC	ICDs								
Horas	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	744	Real.	meta	Perda					
B	HMP		Manutenção Corretiva				Tempo Disponível para Produção (Horas Disponíveis)																														HD	DF	DF	DF
Horas	0	0	0	0	0	0	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	600	80,6%	93,5%	-13%				
C	HO						Tempo real de Produção (Horas Trabalhadas)																														HD	UF	UF	UF
Horas	0	0	0	0	0	0	0	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	576	96,0%	82,8%	13%				
D	Produtividade Programada																														HT	HEF	HEF	HEF						
Horas	0	0	0	0	0	0	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	576	100,0%	100,0%	0%				
E	Perda EP						Produtividade Realizada																														HEP	EP	EP	EP
Horas	0	0	0	0	0	0	0	19	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	547	95,0%	95,0%	0%				

Legenda:

DF- Índice de Disponibilidade Física UF- Índice de Utilização Física EP- Eficiência de Produtividade
HEP- Horas Efetivas de Produtividade ; HMP- Horas Manutenção Preventivas; HO - Horas ociosas

$$OEE = \frac{B}{A} \times \frac{C}{B} \times \frac{E}{D}$$

DF	UF	EP	OEE	OEE	OEE
73,5%	73,5%	0%	73,5%	73,5%	0%

Fonte: Adaptado de Gil (2015, p. 6-123).

Figura 31 – Exemplo3 mesmo cenário do exemplo1, mostrando a distribuição dos indicadores do OEE com perda na DF e compensação na Utilização e produtividade.

Dias	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31					
A	Tempo Total Disponível (Horas Calendário)																												HC	ICDs						
Horas	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	744	Real.	meta	Perda		
B	HMP		Manutenção Corretiva		Tempo Disponível para Produção (Horas Disponíveis)																												HD	DF	DF	DF
Horas	0	0	0	0	0	0	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	600	81%	94%	-13%	
C	HO		Tempo real de Produção (Horas Trabalhadas)																												HD	UF	UF	UF		
Horas	0	0	0	0	0	0	0	0	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	552	92%	83%	9%		
D	Produtividade Programada																												HT	HEF	HEF	HEF				
Horas	0	0	0	0	0	0	0	0	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	552	100%	100%	0%		
E	Produtividade Realizada																												HEP	EP	EP	EP				
Horas	0	0	0	0	0	0	0	0	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	552	100%	95%	5%		

Legenda:
DF- Índice de Disponibilidade Física **UF- Índice de Utilização Física** **EP- Eficiência de Produtividade**
HEP- Horas Efetivas de Produtividade ; **HMP- Horas Manutenção Preventivas**; **HO - Horas ociosas**

$$OEE = B/A \times C/B \times E/D$$

OEE	OEE	OEE
DF	UF	EP
74,2%	73,5%	1%

Fonte: Adaptado de Gil (2015, p. 6-123).

A tabela 5 mostra um exemplo de programação de um OEE e suas distribuição de perdas por Disponibilidade Física, Utilização Física e Produtividade relativa, levando em conta as compensações aplicadas da metodologia do OEE. Os cálculos de perdas potenciais foram feitos utilizando as fórmulas da metodologia citada neste capítulo (Item, 6.2.1).

Tabela 5 – Exemplo hipotéticos de um balanço de perda de produção utilizando o OEE, considerando perda potencial por rendimento Operacional e produtividade.

	U.N.	Balanço de Perda de Produção			Perda Potencial (ABS)	Balanço Perda Produção	
		Programado	Realizado	Var.		t	%
Horas Calendário (HC)	h	24,00	24,00		t	t	%
Disponibilidade Física (DF)	%	90,00%	85,00%	-5,00%	16 667	16 667	16,7%
Horas Disponíveis (HD)	h	21,60	20,40	-1,20			
Manutenção Preventivas (HMP)	h	1,00	2,00	1,00	13 889	13 889	13,9%
	%	4,17%	8,33%	4,17%			
Manutenção Corretivas (HMC)	h	1,40	1,60	0,20	2 778	2 778	2,8%
	%	5,83%	6,67%	0,83%			
Utilização Física (UF)	%	86,00%	80,00%	-6,00%	19 767	19 767	19,8%
Horas Trabalhadas (HT)	h	18,58	16,32	-2,26			
Rendimento Operacional (RO)	%	77,4%	68,0%	-9,40%	36 434	36 434	36,4%
Produtividade	t/h	16 150	12 255	-3895			
Eficiência de Produtividade (EP)	%	100,00%	75,88%	-24,12%	63 566	63 566	63,6%
Horas Efetivas de Produtividade	h	11,6	6,8	-4,8			
Overall Equipment Effectiveness (OEE)	%	62,5%	41,7%	-20,83%	100 000	100 000	100,0%
Volume Produção	Kt	300 000	200 000	-100 000			

Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

Analisando a tabela 5, observa-se que quando há perdas potencial em todos indicadores não tem compensação no balanço de perda de produção, ou seja, a perda potencial é igual a perda real de produção. As perdas por manutenção preventiva e corretiva é calculada através do rateio proporcional, baseando nas variações de horas entre programado e realizado.

Desta forma temos:

Perda por manutenção preventiva =

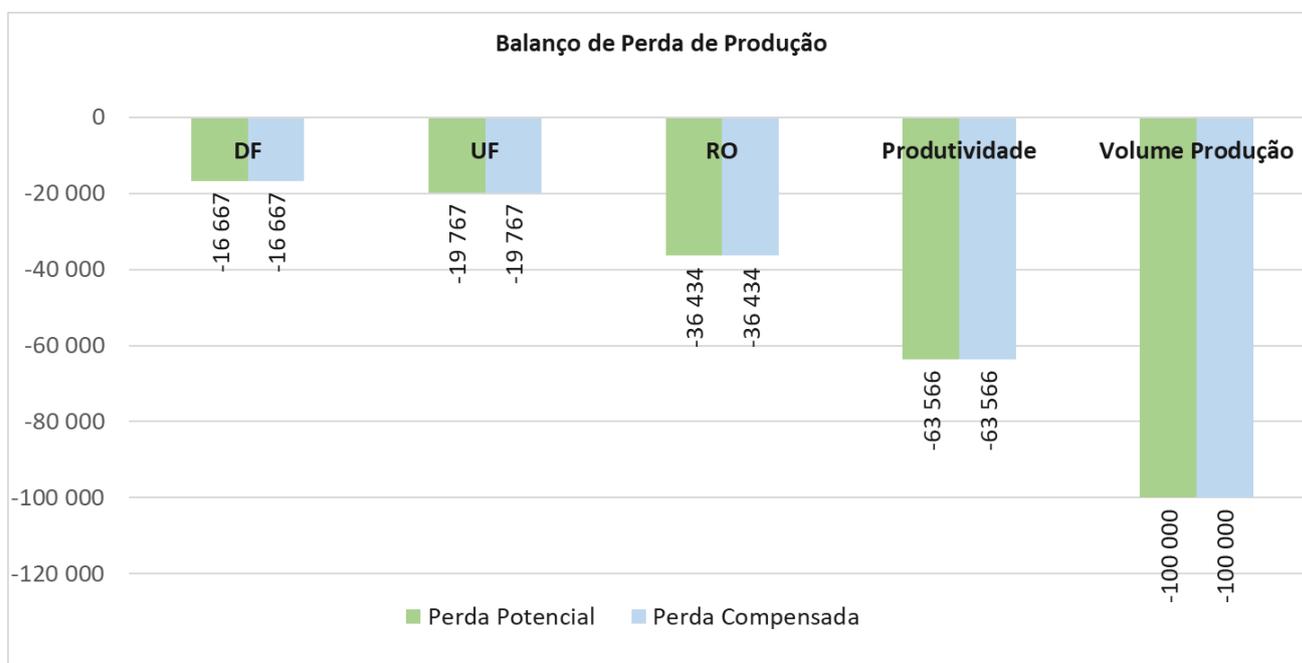
$$(\text{Var. HMP}) / (\text{Var. HMP} + \text{Var. HMC}) \times 100\% = 1 / (1,00 + 0,2) \times 100\% = 83,33\% \times \text{Perda por DF} = 13.889\text{t}$$

Perda por manutenção Corretiva =

$$(\text{Var. HMC}) / (\text{Var. HMP} + \text{Var. HMC}) \times 100\% = 0,20 / (1,00 + 0,2) \times 100\% = 16,67\% \times \text{Perda por DF} = 2.778\text{t}$$

A figura 32 reforça de forma gráfica o resultado da tabela 5 com a distribuição de perdas sem compensação.

Figura 32 – Modelo gráfico da distribuição das perdas potencial x perda real da tabela 5.



Fonte: Elaborado pelo próprio autor(Excel).

Tabela 6 – Exemplo Hipotéticos de um Balanço de Perda de produção utilizando o OEE, considerando perda no rendimento operacional e ganho de produtividade. Neste caso apesar de ter trabalhado menos, o sistema operou com uma taxa maior em relação ao programado tendo assim ganho de produtividade.

	Balanço de Perda de Produção								
	U.N.	Programado	Realizado	Var.	Deficit / Saldo	Perda Potencial	Balanço Perda Produção		
Horas Calendário (HC)	h	24,00	24,00			Kt	Kt	%	
Disponibilidade Física (DF)	%	90,00%	70,00%	-20,00%	-66 667	66 667	30 909	61,8%	
Horas Disponíveis (HD)	h	21,60	16,80	-4,80					
Manutenção Preventivas (HMP)	h	1,00	2,00	1,00	-13 889	13 889	6 439	12,9%	
	%	4,17%	8,33%	4,17%					
Manutenção Corretivas (HMC)	h	1,40	5,20	3,80	-10 995	52 778	24 470	48,9%	
	%	5,83%	21,67%	15,83%					
Utilização Física (UF)	%	85,00%	70,00%	-15,00%	-41 176	41 176	19 091	38,2%	
Horas Trabalhadas (HT)	h	18,36	11,76	-6,60					
Rendimento Operacional (RO)	%	76,5%	49,0%	-27,50%	-107 843	107 843	50 000	100,0%	
Produtividade	t/h	16 340	21 259	4919					
Eficiência de Produtividade (EP)	%	100,0%	130,1%	30,10%	57 843	0	0	0,0%	
Horas Efetivas de Produtividade	h	11,5	6,1	-5,4	-50 000	50 000	50 000	100,0%	
Overall Equipment Effectiveness (OEE)	%	62,5%	52,1%	-10,42%					
Volume Produção	Kt	300 000	250 000	-50 000					

Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

Analisando a tabela 6, observa-se que quando houve ganho de produtividade, houve compensação de perda do rendimento operacional, distribuindo a compensação proporcionalmente entre a DF e a UF. O cálculo de perda e ganho potencial da produtividade independe dos resultados dos outros indicadores, ou seja, para calcular a perda ou ganho de produtividade basta multiplicar a diferença entre a produtividade realizada menos a programada pelas horas trabalhadas realizadas:

$$(21.259 - 16.340 = 4.919 \times 11,76 = 57.843).$$

Já no fechamento do balanço de produção o rendimento pode compensar a perda por produtividade, ou seja, trabalhando mais compensaria a baixa performance.

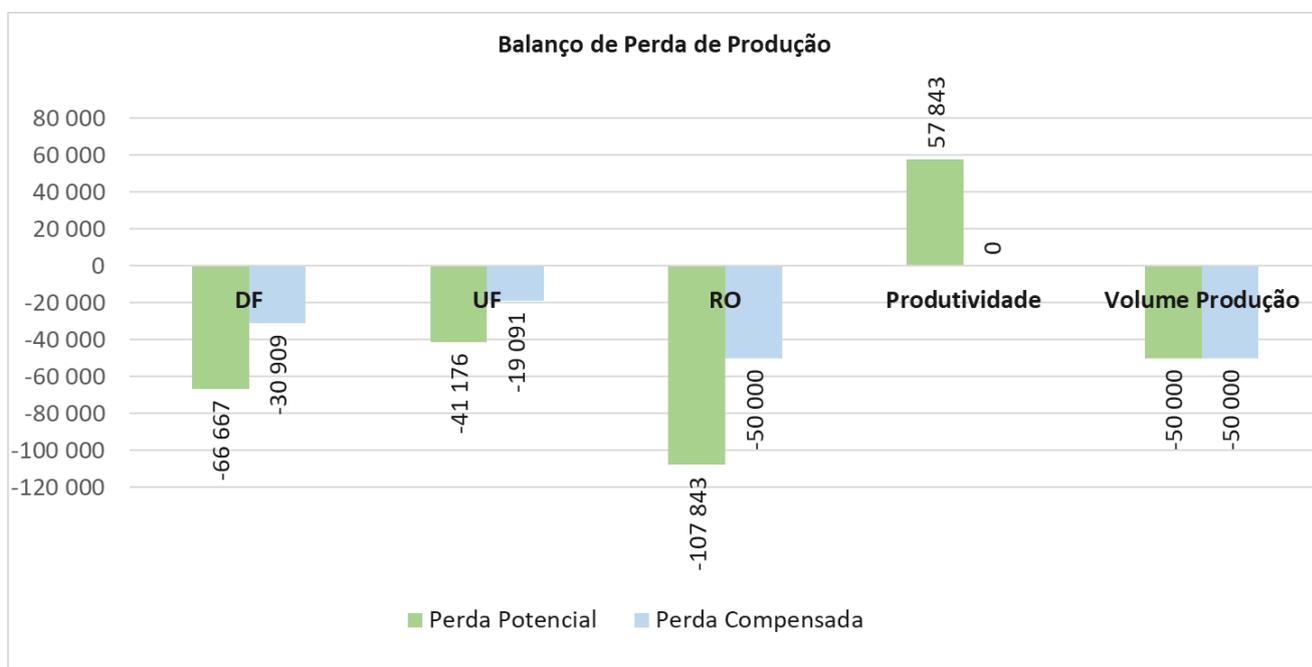
Ao analisar o rendimento operacional, temos:

- Perda potencial Rendimento Operacional = 107.843t
- Ganho de produtividade = 57.843t
- Perda de produção do Rendimento operacional compensada = $107.843 - 57.843 = 50.000t$
- O rateio das perdas de UF e DF é feito pela proporção da perda potencial, então temos:

- Perda potencial de DF = 66.667t
- Perda potencial de UF = 41.146t
- Partição de perda DF = Perda DF/Perda RO = $66.667/107.843 = 61,82\% * 50.000 = 30.909t$
- Partição de perda UF = Perda UF/Perda RO = $41.176/107.843 = 38,18\% * 50.000 = 19.091t$

A figura 33 reforça de forma gráfica o resultado do Quadro 4 com a distribuição de perdas tendo compensação do rendimento operacional pela produtividade relativa.

Figura 33 – Modelo gráfico da distribuição de perda da Tabela 6



Fonte: Elaborado pelo próprio autor(Excel).

Após as análises da proposta da metodologia do OEE, podemos mostrar as seguintes regras para o fechamento do Balanço de Perda de Produção:

- Perda por volume de produção é igual a Produção realizada menos a produção programada.
- Outra forma de saber a perda de volume de produção utilizando o OEE é usar a seguinte fórmula:

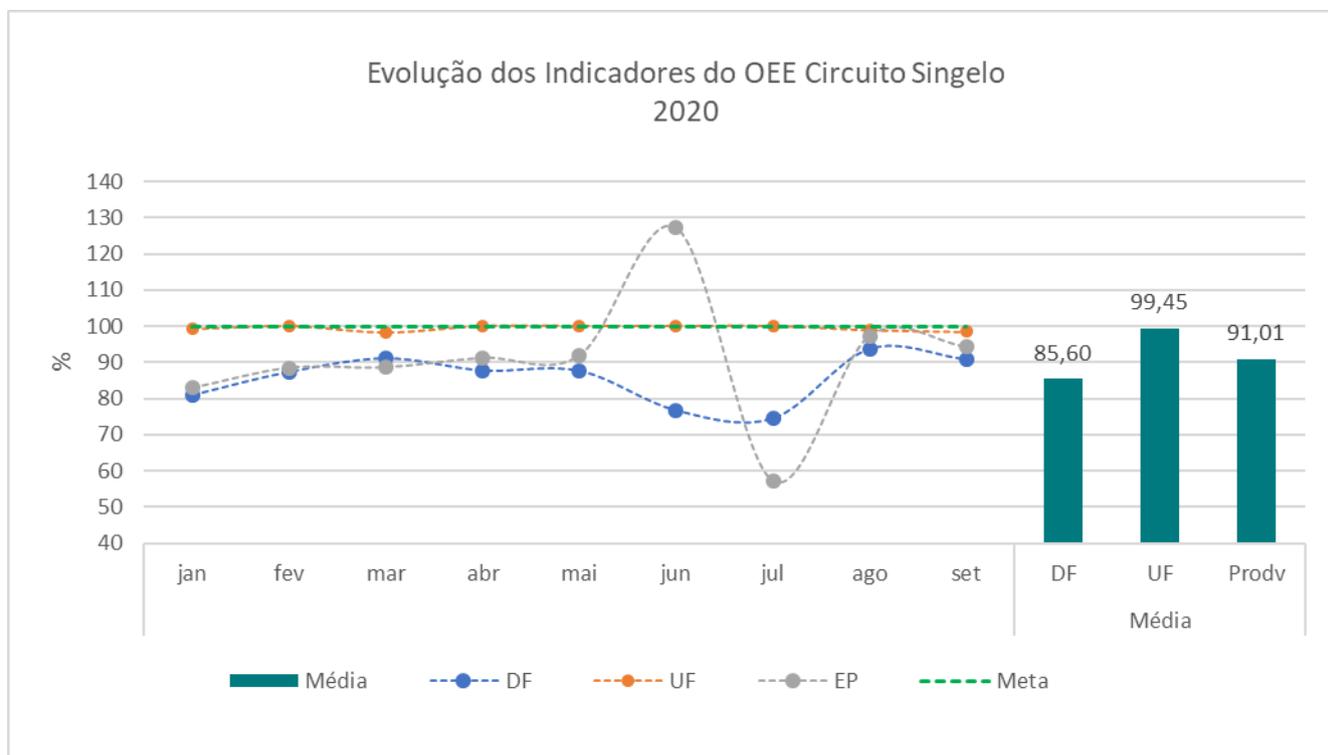
$(\text{OEE Realizado} - \text{OEE Programado}) \times \text{produção programada}$, dividindo pelo OEE programado.

- Se houver ganho no resultado do indicador a perda potencial é zero a exemplo da DF, UF e RO da Tabela 6.
- Se o resultado for um valor negativo, então a perda potencial é esse valor absoluto (ABS) a exemplo da Tabela 5.
- Se o resultado do Rendimento Operacional for positivo a Perda de produção por Produtividade é igual perda por volume de produção.
- Se o Resultado do Rendimento Operacional for negativo a perda de produção por produtividade será igual a perda potencial.
- Perda por Rendimento Operacional é igual a perda por volume de produção menos as perdas por produtividade.
- Perda por de produção por manutenção preventiva e corretivas e a proporção de suas perdas potenciais pela perda de produção da Disponibilidade Física.

Abaixo estão apresentadas as curvas de variação dos indicadores obtidos para o circuito singelo e o aplicado nas interfaces mina –usina para alimentação da Usina 01 para um determinado período de tempo.

A Figura 34 mostra o comportamento dos indicadores que compõe o OEE do Circuito Singelo que passou a ser acompanhado a partir de janeiro de 2020 nas Usinas em Carajás. Observa-se que a Utilização é mais estável, havendo variabilidade na DF e Produtividade. A estabilidade da UF, mostra o comportamento do Cabeça de linha, que neste caso é uma correia transportadora na entrada da Usina 01 e que se manteve bastante estável neste sentido. O cabeça de linha do circuito singelo é um equipamento crítico para o processo produtivo, precisa ter confiabilidade e estabilidade para garantir o escoamento de toda a alimentação da Usina 01. Quando ocorre impacto na DF do circuito singelo é devido alguma parada significativa que impactou toda planta. A produtividade é mais impactada por falta de alimentação ou baixa performance das plantas a montante e a jusante, que de certa forma reduz parcialmente a produção do circuito singelo. Conhecer o comportamento dos indicadores é de suma importância para uma boa definição das metas, ou seja, se a meta não for bem elaborada vai causar distorção na apuração das perdas de produção.

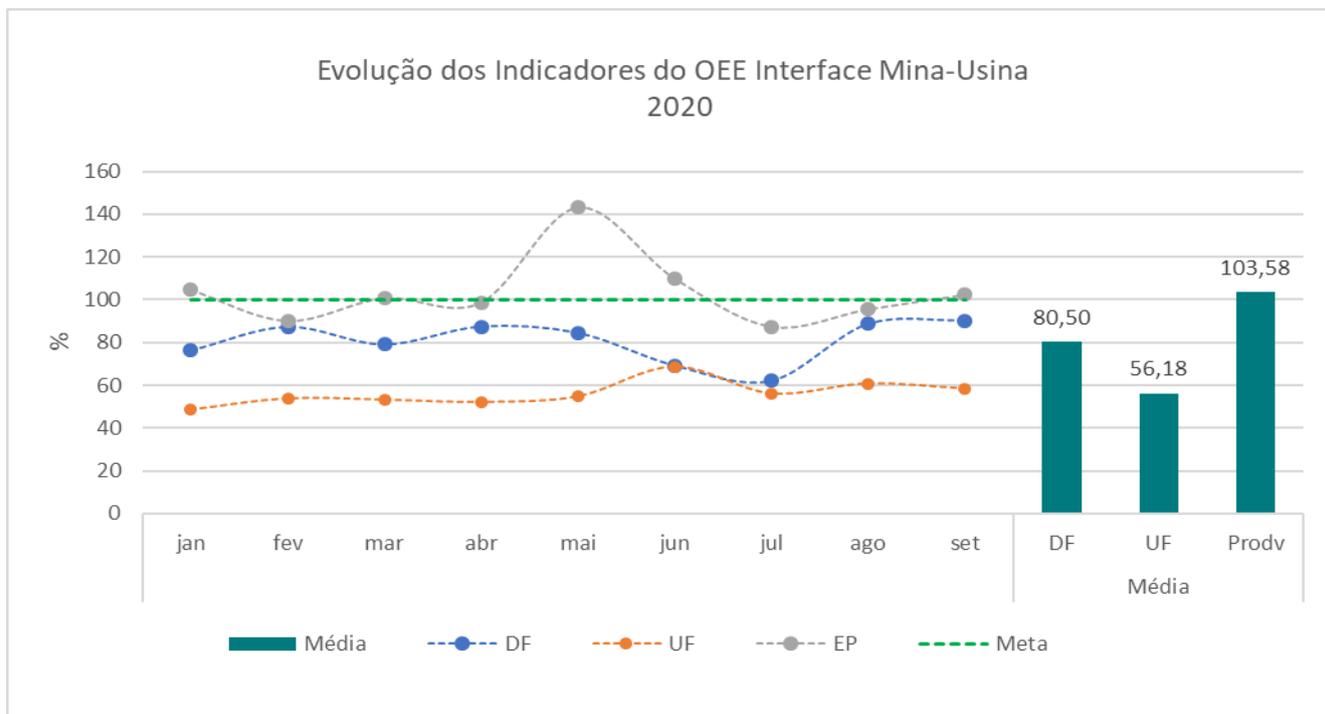
Figura 34 – Evolução dos Indicadores do OEE Circuito Singelo de Jan a set de 2020.



Fonte: Dados extraídos do Sistema GPV p/ (Excel).

A Figura 35, mostra a evolução dos indicadores da Interface Mina-Usina no mesmo período da Figura 34. Comparando o comportamento dos indicadores das duas formas de medição, observa-se que para a interface mina- usina, a eficiência de produtividade é mais alta que a do circuito singelo e de certa forma mais estável, com exceção de maio que teve impacto na DF e UF, e neste caso apesar de trabalhar menos tempo, apresentou produtividade alta. Um fato importante observado é a variação da DF, que neste caso representa as paradas do circuito primário, sendo que no circuito singelo representa os impactos das grandes paradas do equipamento cabeça de linha ou paradas do circuito da Usina 01. A variação da utilização está num patamar mais baixo, pois o circuito primário possui capacidade maior que a do observado para o circuito singelo e quando falta material para as britagens primárias também afeta a Utilização.

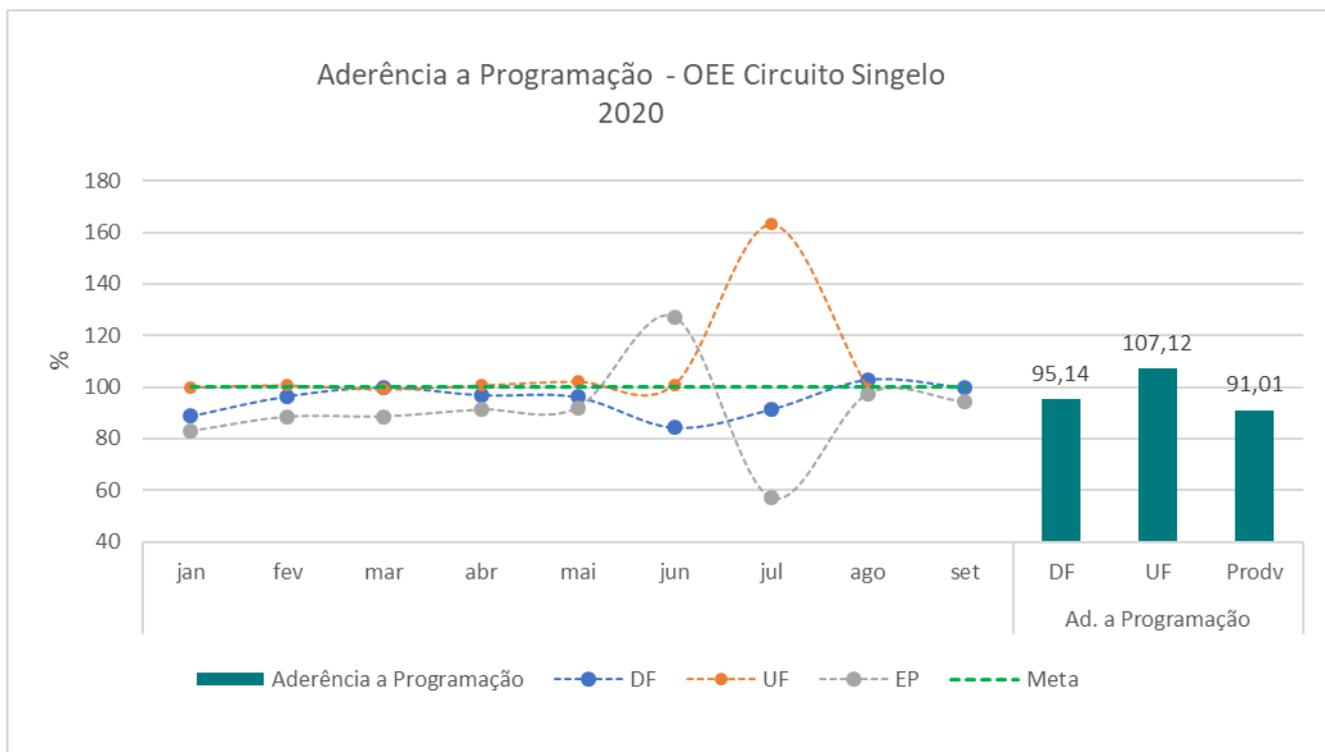
Figura 35 – Evolução dos Indicadores do OEE Circuito Singelo de Jan a set de 2020.



Fonte: Dados extraídos do Sistema GPV p/ (Excel).

Analisando a Figura 36, observa-se que evolução da aderência dos indicadores do circuito singelo de janeiro a setembro de 2020. O desvio da aderência de um indicador pode ser influenciado por um erro de premissas na programação, por não ter considerado na definição das metas o comportamento padrão dos indicadores do equipamento, pela mudança de estratégia durante a execução da produção ou pela não concretização do programado. No caso da produtividade e da DF em junho de 2020, houve uma mudança de plano de manutenção, pois DF reduziu a aderência, sendo necessário um aumento de produtividade para compensar esse desvio. Analisando o desvio da utilização e da produtividade em julho de 2020 na Figura 36, ficou próximo das médias praticadas. Desta forma pode-se concluir que houve um erro de premissa na programação, pois a baixa aderência da Utilização gerou também um desvio na aderência da produtividade. A conclusão é que, se as premissas da programação da produção forem bem embasadas no comportamento dos indicadores, mesmo que ocorra alguma quebra ou desvio do processo, ficará explícito no perfil de perda qual indicador deverá ser tratado. Caso contrário vai gerar uma reação inversamente proporcional na aderência de um indicador para o outro, podendo distorcer as análises de perdas de produção.

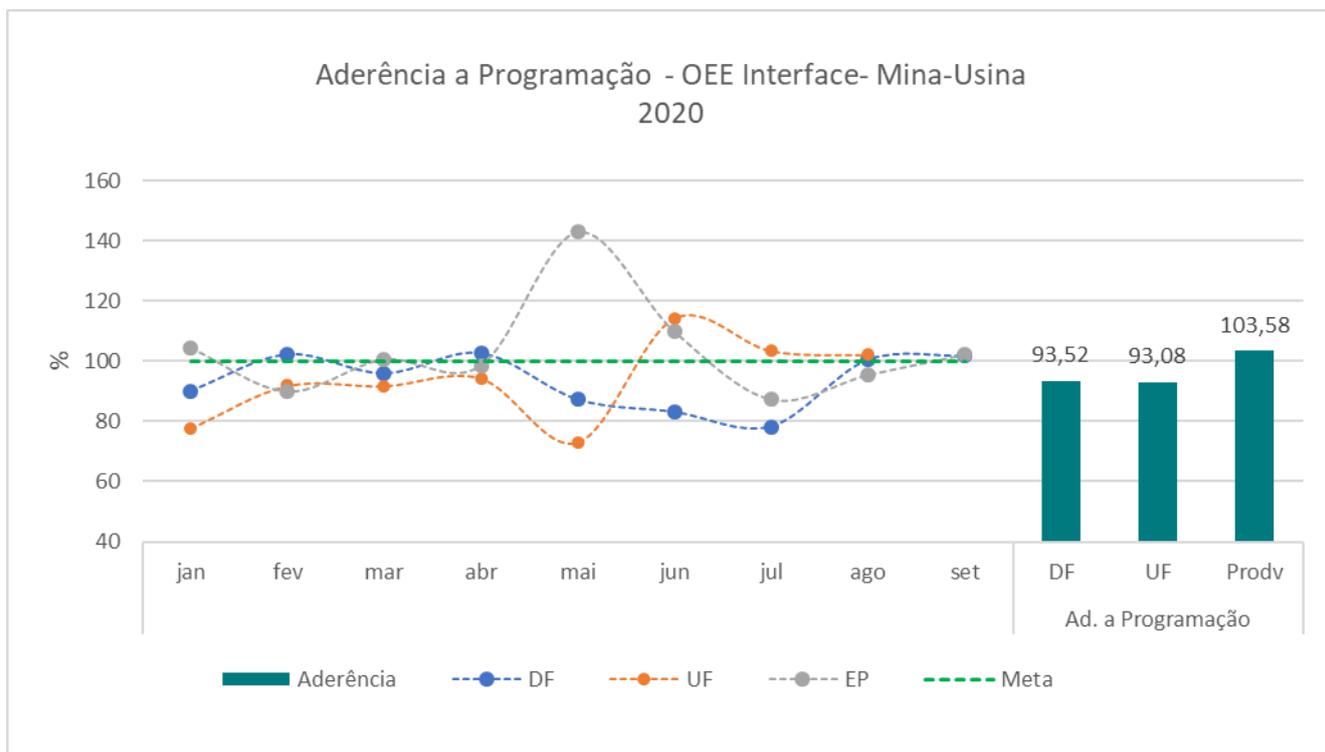
Figura 36 – Comportamento da Aderência a programação dos Indicadores do OEE Circuito Singelo de Jan a set de 2020.



Fonte: Dados extraídos do Sistema GPV p/ (Excel).

A Figura 37, mostra a aderência a programação do OEE da Interface Mina-Usina. Observa-se que na interface Mina existe uma certa alternância entre os indicadores que compõem o OEE, podendo concluir-se que esse modelo de acompanhamento pela interface Mina -Usina, consegue capturar os desvios de cada indicador, ficando mais claro o seu tratamento, sendo que na metodologia do Circuito Singelo, as perdas se concentram em dois indicadores a DF e produtividade com destaque na produtividade. O circuito Singelo tem o seu papel em representar e poder comparar performance de processos e sites diferentes, mas para o detalhamento dos processos internos ele mostra mais dificuldade nas análises.

Figura 37 – Comportamento da Aderência a programação dos Indicadores do OEE na Interface Mina-Usina de Jan a set de 2020.



Fonte: Dados extraídos do Sistema GPV p/ (Excel).

Através da metodologia de análise de perdas utilizando o OEE, é possível fazer uma análise detalhando as perdas das Usinas de Carajás, alinhada aos seus respectivos indicadores de desempenho. Esse modelo consegue fechar o balanço de perdas analisando e desdobrando a composição de cada indicador, ou seja, a partir dos parâmetros utilizados na metodologia do OEE é possível realizar tratamento de desvio e melhorias no processo produtivo. Dessa forma as análises de *Build Up* de produção ficaram mais assertivas nas Usinas de Beneficiamento de Carajás.

6.2.3 Proposta de aplicação da Metodologia de perdas utilizando OEE nas interfaces Mina e Usina

A proposta é aplicarmos a metodologia do OEE, comparando as metodologias na mesma base de cálculo, destacando o ocorrido no mês de maio de 2020. As figuras 34, e anexos A, B e C, mostram o detalhamento de perda por eixo de alimentação. Para calcular as perdas por eixo e da interface total, foram ponderados os indicadores de DF e UF com a capacidade de cada ponto de alimentação programada no mês de maio de 2020, sendo os dados retirados do sistema GPV. Após a ponderação dos eixos foi aplicado a metodologia de perda conforme item 6.2 do capítulo 6 e obtidos os resultados mostrados na Tabela7.

Analisando a tabela 7, observa-se que para o mesmo volume produzido, pelas mesmas rotas de produção, o OEE realizado, obtido pelo ponto de medição na interface mina-usina em maio de 2020, foi de 66%, porém quando adotado o ponto de medição no circuito singelo o OEE é de 81,4%. Assim, o resultado para o circuito interface correlaciona mais adequadamente a performance do sistema ao volume produzido e possibilitando uma estratificação das perdas ao longo da cadeia. Torna-se mais nítido a tratativa das perdas, conseguindo identificar os desvios de cada indicador.

Quando são comparados os indicadores individuais, o circuito singelo se mostra com performance melhor que a interface, mesmo para a mesma perda de volume ROM (534349 t) na produção final. Isto pode ser visto nos indicadores individuais, onde as DF's realizadas para o ponto de medição da interface e singelo foram 84,5% e 87,3%, respectivamente. Da mesma forma para as UF's realizadas que foram de 54,6% e 100%, respectivamente, onde aqui já reflete uma grande diferença. O valor 100% para o singelo é atribuído ao equipamento cabeça de linha que não comprometeu o sistema, mas os demais equipamentos que perderam utilização não contribuem com o indicador. Na prática, é como o circuito singelo trabalhasse próximo de sua capacidade nominal. O indicador EP mostra para as medições da interface e singelo os resultados de 143,1% e 92,9% respectivamente. A compensação do volume produzido aparece neste indicador, que no caso da medição pela interface, apesar da perda na disponibilidade e utilização, a maior produtividade compensou o resultado final em termos de produção.

As perdas ou ganhos também aparecem no quadro da figura 34, estratificadas em relação ao indicador chave correspondente onde está apropriada (os). Apesar da mesma perda do volume ROM, para ambos os casos de medição, para todas as apropriações aparecem diferenças bem representativas. As perdas para as medições por interface mostram valores maiores, pois abrangem toda a rota e não apenas a cabeça de linha como na medição do singelo, refletindo os valores mais aderentes ao processo ocorrido em cada ponto de alimentação.

Destacamos, também o ganho sinalizado por utilização na medição do singelo, 122057 t, em função deste indicador ter sido 100%. O circuito singelo não apresentou perdas na utilização, pois é medido em um transportador de correia, cujo rendimento é muito alto conforme avaliado no histórico de 2020 na Figura 30. Desta forma a probabilidade de paradas e perdas potencial por UF é bem menor que a DF e a Produtividade devido ao próprio comportamento do equipamento cabeça de linha. Essa metodologia tem uma vantagem devido a poder comparar indicadores de diversos processos diferentes, pois mede o equipamento crítico

de cada processo. Um ponto muito importante é definir bem as metas de DF e UF, analisando seu comportamento.

Da mesma forma também aparece o ganho na medição por interface, apropriada no indicador produtividade relativa, 1663703 t, refletindo a compensação na produção final.

A metodologia de interface Mina-Usina, mostra a importância de mantermos esse acompanhamento interno para tratamento dos desvios, pois mostra os impactos de cada ponto de alimentação. Outro ponto importante é que o acompanhamento do OEE nas interfaces pode servir de rastreabilidade dos desvios de perda do Circuito Singelo.

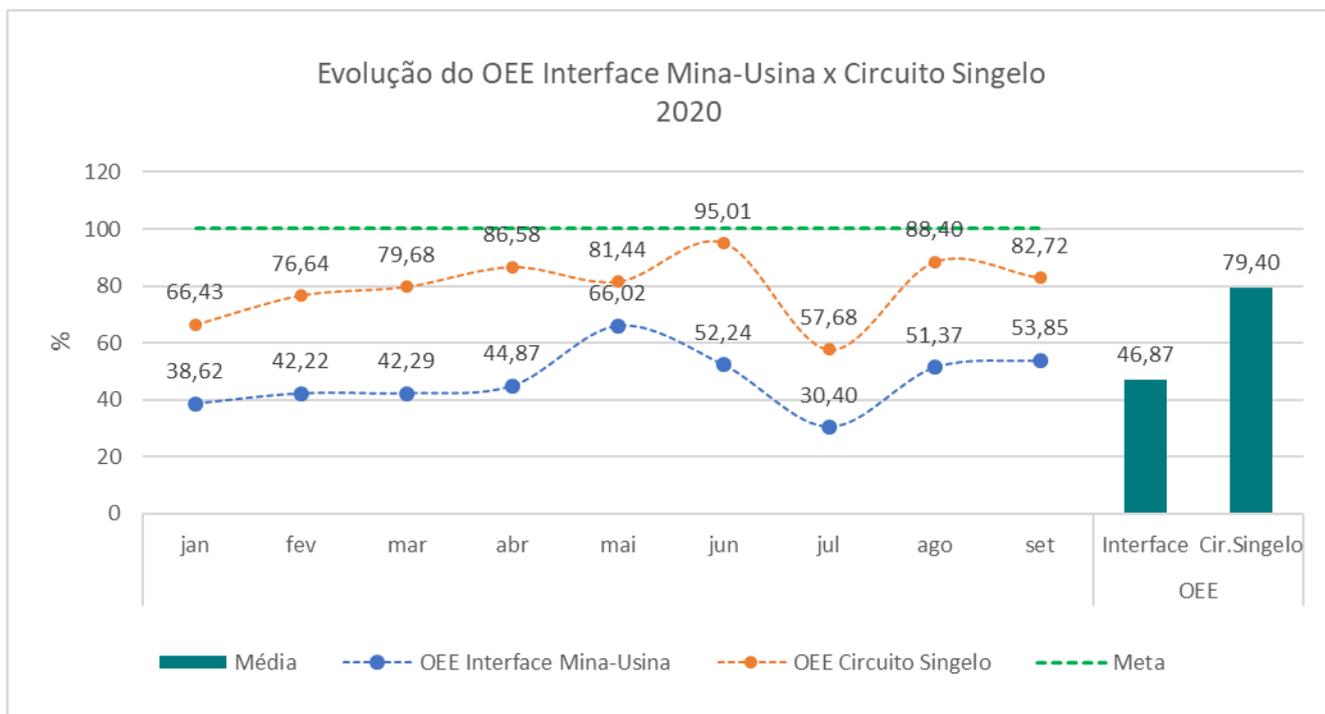
Tabela 7 – Quadro comparativo da proposta de Perdas por OEE das Interfaces Mina-Usina e com o modelo aplicado nos Circuito Singelo

OEE - Ponderado Por Eixo		OEE -Interface		OEE - Singelo	
Indicadores Programado	Unidade	Prog.	Real.	Prog.	Real.
Horas Calendário	h	744,0	744,0	744,0	744,0
Produtividade Relativa	t/h	11 252	16 098	9 122	8 478
Produtividade Nominal	t/h	25 500	25 500	19 500	19 500
Horas de Manutenção (HM)	h	23,4	115,4	65,5	92,0
Horas Disponíveis (HD)	h	720,6	628,6	678,5	652,0
Disponibilidade Física (DF)	%	96,86%	84,5%	91,20%	87,63%
Horas Improdutivas	h	181,9	285,2	14,0	0,1
Horas Trabalhadas (HT)	h	538,7	343,3	664,5	651,9
Utilização Física (UF)	%	74,8%	54,6%	97,9%	100,0%
Rendimento Operacional (RO)	%	72,4%	46,1%	89,3%	87,6%
Horas Perdidas de Produtividade	h	0,00	-147,9	0,00	46,0
Horas Efetivas de Produtividade	h	538,7	491,2	664,5	605,9
Eficiência de Produtividade (EP)	%	100%	143,1%	100%	92,9%
Eficiência de Produtividade Nominal	%	44,1%	63,1%	46,8%	43,5%
Overall Equipment Effectiveness (OEE)	%	72,4%	66,0%	89,3%	81,4%
Volume ROM	t	6 061 112	5 526 763	6 061 112	5 526 763
Perfil de Perda		Perda/Ganho (t)		Perda/Ganho (t)	
Disponibilidade Física (DF)	%	-774 319		-237 261	
Utilização Física (UF)	%	-1 423 733		122 507	
Rendimento Operacional (RO)	%	-2 198 052		-114 753	
Produtividade Relativa	t/h	1 663 703		-419 596	
Perda de Volume ROM	t	-534 349		-534 349	
Índice Eficiência Operacional	%	91,2%		91,2%	

Fonte: Dados extraídos do Sistema GPV p/ (Excel).

A Figura 38 mostra a evolução do OEE da interface mina-usina, comparando com o do circuito singelo. Como esperado, para a interface os valores são sempre menores, em média 30%, apesar das curvas acompanharem de forma geral a mesma tendência de subidas e descidas.

Figura 38 – Teste comparativos da proposta de Perdas por OEE das Interfaces Mina-Usina e com o modelo aplicado nos Circuito Singelo



Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

Oportunamente foi apresentado estes cálculos para as equipes envolvidas, para o devido entendimento e clareza dos números e a importância de medir e interpretar adequadamente os resultados para as devidas tomadas de decisões e ações de correções.

Após os estudos tornou-se possível a aplicação dessa metodologia para avaliação da performance do sistema produtivo através do OEE que abrange a interação entre os indicadores individuais, além dos cálculos das perdas de produção na Usinas de beneficiamento de Carajás de forma estratificada, além de seguir o desdobramento das metas de produção.

7 CONCLUSÕES

- Foi apresentado os métodos de cálculo dos indicadores individuais e como eles compõem o indicador final OEE.
- Foi apresentado o método de cálculo considerando duas formas de medição: através da interface mina –usina e pelo circuito singelo, possibilitando o entendimento das variantes no resultado final.
- Nas Figuras 26 e 27 e tabela 5, mostram os comportamentos dos indicadores na linha do tempo e como se comporta uma compensação dos indicadores dentro do OEE, mostrando que dependendo do tamanho da perda torna-se incapaz a recuperação da produção, pois muitas vezes a demanda supera a capacidade produtiva de outros processos indo contra o histórico dos indicadores e comportamentos dos ativos.
- O método de avaliação da performance considerando o ponto de medição interface mostra maior aderência à realidade de produção quando comparada ao ponto de medição pelo circuito singelo, inclusive no tocante ao OEE. Possibilitando, assim uma avaliação ponto a ponto da rota, diferentemente do circuito singelo que considera apenas o equipamento denominado cabeça de linha.
- Foi apresentado a forma de cálculo das perdas potenciais referentes aos indicadores e suas respectivas apropriações, possibilitando o entendimento analítico e clareza para as equipes envolvidas e afetadas pelos resultados finais, mostrando também a importância de padronizarmos os cálculos e métodos de análise de perda, embasando em uma metodologia que possa explicitar bem os desvios da produção para tratativas e melhorias futuras.
- A importância de definir bem as metas dos indicadores e como o ponto de medição é crucial para uma boa análise de perda de produção, tratativa dos desvios e melhorias contínua dos processos.

- Nas figuras 36 e 37, pode ser visto a comparação entre a aderência à programação da medição nas interfaces Mina-Usina com o Circuito Singelo, mostrando a importância desse acompanhamento, pois o desvio da aderência de um indicador pode ser influenciado por um erro de premissas na programação, por não ter considerado na definição das metas o comportamento padrão dos indicadores dos equipamentos, ou pela mudança de estratégia durante a execução da produção.
- No gráfico de acompanhamento da evolução do OEE, figura 33, os valores indicados pelos pontos de medição na Interface Mina-Usina é em média de 32 pontos percentuais menor que o ponto de medição no Circuito Singelo o OEE, isso mostra que na prática é como o circuito singelo trabalhasse próximo de sua capacidade nominal, o que não é retrata a realidade.
- O tratamento das perdas potenciais, pode também ser utilizado para tratativa dos desvios e melhorias nos processos, avaliando de forma absoluta somente os indicadores que estão com perdas e não levando em consideração a compensação dos indicadores. Essa forma é muito utilizada no tratamento dos MCS (Motivo Causa Solução) das engenharias de Operação e Manutenção.
- Após os estudos tornou-se possível a aplicação dessa metodologia de perda de produção do OEE na Usinas de beneficiamento de Carajás. Comparando as duas metodologias. No estudo de caso, concluiu-se que a metodologia permite desdobramento de metas dos indicadores de performance da programação de produção. Além de mostrar diferença entre perda potencial e as regras de compensação de perdas utilizada na metodologia do OEE que está alinhada ao plano de produção. O fechamento das perdas é muito utilizado nas análises de build up no acompanhamento da programação e orçamento, e estando embasados na metodologia do OEE, torna-se as análises mais assertivas.

8 SUGESTÕES PARA FUTUROS TRABALHO

Após comparação das metodologias do OEE com o estudo de caso aplicado nas Usinas de Beneficiamento de Carajás tem as seguintes sugestões:

- Aplicar o OEE diretamente nos pontos de controle de alimentação das plantas em Carajás, analisando as perdas na interface Mina-Usina, ponderando por Eixo ou isoladamente por Britagem I. Desta forma passa ter uma nova visão de qual circuito gera maior impacto na Mina.
- Padronização da metodologia de perdas de Produção na Vale.
- Padronização dos métodos para análise de MCS na Vale.
- Analisar como o OEE pode ajudar na causa e efeito.
- Definição de regras para pontos de controle e medição, buscando o ponto ótimo que represente melhor a eficácia do sistema produtivo.
- Criação de KPIs e software analytics que possam modelar e simular o ponto ótimo de medição de um sistema produtivo, além de gerar alarmes, perfis de perdas e custo da produção como inputs para tratativas nas engenharias.
- Desenvolver software e padronizar os métodos de perfis de perda no Sistema de Produção Vale.

REFERÊNCIAS

BUSSO, C. M. **Aplicação do indicador Overall Equipment Effectiveness (OEE) e suas derivações como indicadores de desempenho global da utilização da capacidade de produção.** Tese (Doutorado) — Universidade de São Paulo, São Paulo, set. 2012. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3136/tde-16072013-115859/>>. Citado na página 31.

CHIARADIA, J. P. UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL ESCOLA DE ENGENHARIA MESTRADO PROFISSIONALIZANTE EM ENGENHARIA.

PILLMANN, Aúreo José. **Chiaradia utilização do indicador de Eficiência global de equipamentos na gestão e melhoria Contínua dos equipamentos:** Um estudo d. Tese (Doutorado), 2004. Disponível em: <<http://www.producao.ufrgs.br/arquivos/publicacoes>>. Citado na página 31.

BRANCO FILHO, G. B. **Indicadores e Índices de Manutenção.** 2. ed. Ciência Moderna, 2015. ISBN 9788539907663. Disponível em: <<https://books.google.com.br/books?id=T7pXvgAACAAJ>>. Citado 11 vezes nas páginas 24, 25, 26, 27, 29, 30, 31,33, 61, 62 e 63.

GONÇALVES, M. B. **Determinação da capacidade real necessária de um processo produtivo utilizando cadeia de Markov.** Tese (Doutorado), 2011. Disponível em: <<https://www.scielo.br/pdf/prod/v21n4/aop\ t6\ 000>>. Citado na página 30.

LIMA, E. C. D. O. **OEE: Utilizando os conceitos para medir a Eficácia de uma equipe de manutenção | CNEG.** 2009. Disponível em: <<https://www.inovarse.org/node/2278>>. Citado na página 33.

NAKAJIMA, S. **TPM Development Program: Implementing Total Productive Maintenance.**

PRODUCTIVITY PRESS, 1989. **(Preventative Maintenance Series).** ISBN 9780915299379. Disponível em: <<https://books.google.com.br/books?id=Q6F9QgAACAAJ>>. Citado 2 vezes nas páginas 33 e 34.

RIBEIRO, H. **Manutenção Autônoma, O Resgate do Chão de Fábrica.** 2000. Disponível em: <<https://slideplayer.com.br/slide/14209140/>>. Citado 2 vezes nas páginas 33 e 35.

SIMOES, W. L. **Monitoramento de oee por carta de Controle beta:** um caso na indústria eletrônica Hmlv. 2015. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/311066335/MONITORAMENTO_DE_OEE_POR_CARTA_DE_CONTROLE_BETA_UM>. Citado na página 31.

TONI, G. P.; Porto, Giovanna; **Elaboração e proposta de Indicador de eficiência global de equipamentos (oe) para Terminal intermodal.** Universidade Federal de Uberlândia Faculdade de Engenharia Mecânica 2018. Tese (Doutorado), dez. 2018. Disponível em: <<https://repositorio.ufu.br/handle/123456789/23500>>. Nenhuma citação no texto.

ANEXOS

ANEXO A – Detalhamento da proposta da Metodologia de perdas utilizando OEE no eixo N4W

OEE - Interface x Singelo - Maio/20		BSM 02		Hopper 02		BSM 04		Eixo N4W	
Indicadores Programado	Unidade	Prog.	Real.	Prog.	Real.	Prog.	Real.	Prog.	Real.
Horas Calendário	h	744,0	744,0	744,0	744,0	744,0	744,0	744,0	744,0
Produtividade Relativa	t/h	3 735	4 951	550	904	2 516	2 783	6 781	8 545
Produtividade Nominal	t/h	6 000	6 000	500	500	8 000	8 000	8 000	8 000
Horas de Manutenção (HM)	h	26,0	108,5	14,9	112,9	19,3	99,8	22,7	105,4
Horas Disponíveis (HD)	h	718,0	635,5	729,1	631,1	724,7	644,2	721,3	638,6
Disponibilidade Física (DF)	%	96,50%	85,4%	98,00%	84,8%	97,41%	86,6%	96,95%	85,83%
Horas Improdutivas	h	170,9	257,1	277,4	344,1	158,3	253,8	173,1	261,7
Horas Trabalhadas (HT)	h	547,1	378,5	451,8	287,0	566,4	390,4	548,2	376,8
Utilização Física (UF)	%	76,2%	59,6%	62,0%	45,5%	78,2%	60,6%	76,0%	59,0%
Rendimento Operacional (RO)	%	73,5%	50,9%	60,7%	38,6%	76,1%	52,5%	73,7%	50,6%
Horas Perdidas de Produtividade	h	0,00	-123,3	0,00	-184,6	0,00	-41,4	0,00	-98,0
Horas Efetivas de Produtividade	h	547,1	501,7	451,8	471,6	566,4	431,8	548,2	474,8
Eficiência de Produtividade (EP)	%	100%	132,6%	100%	164,3%	100%	110,6%	100%	126,0%
Eficiência de Produtividade Nominal	%	62,3%	82,5%	110,0%	180,8%	31,5%	34,8%	84,8%	106,8%
Overall Equipment Effectiveness (OEE)	%	73,5%	67,4%	60,7%	63,4%	76,1%	58,0%	73,7%	63,8%
Volume Produção	t	2 043 412	1 873 916	248 556	259 473	1 425 446	1 086 650	3 717 414	3 220 039
Perfil de Perda	Unidade	Perda/Ganho (t)		Perda/Ganho (t)		Perda/Ganho (t)		Perda/Ganho (t)	
Disponibilidade Física (DF)	%	-234 622		-33 403		-158 334		-426 386	
Utilização Física (UF)	%	-395 228		-57 226		-284 679		-735 618	
Rendimento Operacional (RO)	%	-629 850		-90 629		-443 013		-1 162 004	
Produtividade Relativa	t/h	460 354		101 546		104 217		664 630	
Perda de Volume ROM	t	-169 496		10 917		-338 796		-497 375	
Índice Eficiência Operacional	%	91,7%		104,4%		76,2%		86,6%	

ANEXO B – Detalhamento da proposta da Metodologia de perdas utilizando OEE no eixo N4E

BRIT 01		Eixo N4E	
Prog.	Real.	Prog.	Real.
744,0	744,0	744,0	744,0
2 062	5 738	2 062	5 738
10 500	10 500	10 500	10 500
27,5	149,5	27,5	149,5
716,5	594,5	716,5	594,5
96,30%	79,9%	96,30%	79,90%
243,6	405,3	243,6	405,3
472,9	189,2	472,9	189,2
66,0%	31,8%	66,0%	31,8%
63,6%	25,4%	63,6%	25,4%
0,00	-337,2	0,00	-337,2
472,9	526,4	472,9	526,4
100%	278,3%	100%	278,3%
19,6%	54,6%	19,6%	54,6%
63,6%	70,7%	63,6%	70,7%
974 987	1 085 310	974 987	1 085 310

Perda/Ganho (t)	Perda/Ganho (t)
-166 041	-166 041
-418 936	-418 936
-584 977	-584 977
695 300	695 300
110 323	110 323
111,3%	111,3%

ANEXO C – Detalhamento da proposta da Metodologia de perdas utilizando OEE no eixo N5

BSM 03		Hopper 03		N5	
Prog.	Real.	Prog.	Real.	Prog.	Real.
744,0	744,0	744,0	744,0	744,0	744,0
2 444	3 312	0	0	2 444	3 312
6 500	6 500	500	500	7 000	7 000
22,3	118,4	744,0	744,0	22,3	118,4
721,7	625,6	0,0	0,0	721,7	625,6
97,00%	84,1%	0,00%	0,0%	97,00%	84,09%
161,7	256,9	0,0	0,0	161,7	256,9
560,0	368,7	0,0	0,0	560,0	368,7
77,6%	58,9%	0,0%	0,0%	77,6%	58,9%
75,3%	49,6%	0,0%	0,0%	75,3%	49,6%
0,00	-131,0	0,00	0,0	0,00	-131,0
560,0	499,8	0,0	0,0	560,0	499,8
100%	135,5%	100%	0,0%	100%	135,5%
37,6%	51,0%	0,0%	0,0%	34,9%	47,3%
75,3%	67,2%	0,0%	0,0%	75,3%	67,2%
1 368 711	1 221 414	0	0	1 368 711	1 221 414

Perda/Ganho (t)	Perda/Ganho (t)	Perda/Ganho (t)
-182 166	0	-182 166
-285 321	0	-285 321
-467 487	0	-467 487
320 190	0	320 190
-147 297	0	-147 297
89,2%	0,0%	89,2%