



MESTRADO PROFISSIONAL
USO SUSTENTÁVEL DE RECURSOS NATURAIS EM REGIÕES
TROPICAIS

RODRIGO FONSECA CAVALCANTI DE ALBUQUERQUE

**ANÁLISE DE PARADAS OPERACIONAIS NO TRANSPORTE
DE MINÉRIO DE FERRO SOBRE CORREIAS, EM CLIMA
TROPICAL, NA MINA DO COMPLEXO INDUSTRIAL S11D
DA VALE - CANAÃ/PA**

Belém / PA
2020

RODRIGO FONSECA CAVALCANTI DE ALBUQUERQUE

**ANÁLISE DE PARADAS OPERACIONAIS NO TRANSPORTE
DE MINÉRIO DE FERRO SOBRE CORREIAS, EM CLIMA
TROPICAL, NA MINA DO COMPLEXO INDUSTRIAL S11D
DA VALE - CANAÃ/PA**

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Uso Sustentável de Recursos Naturais em Regiões Tropicais, área de Ciências Ambientais, do Instituto Tecnológico Vale Desenvolvimento Sustentável (ITV).

Orientador: Sérgio Ivan Viademonte da Rosa, Ph.D.

**Belém / PA
2020**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

A345 Albuquerque, Rodrigo

Análise de paradas operacionais no transporte de minério de ferro sobre correias, em clima tropical, na mina do Complexo Industrial S11D da Vale - Canaã/PA / Rodrigo Fonseca Cavalcanti de Albuquerque -- Belém-PA, 2020.

50 f.: il.

Dissertação (Mestrado Profissional em Uso Sustentável de Recursos Naturais em Regiões Tropicais) - Instituto Tecnológico Vale, 2020.

Orientador: Sérgio Ivan Viademonte da Rosa, Dr.

1. Transportador de Correia. 2. Análise de Dados. 3. Pluviometria. 4. Operação Industrial. I. Rosa, Sergio I. Viademonte da. II. Título

CDD. 23. ed. 338.2098115

Bibliotecária responsável: Nisa Gonçalves / CRB 2 – 525

RODRIGO FONSECA CAVALCANTI DE ALBUQUERQUE

**ANÁLISE DE PARADAS OPERACIONAIS NO TRANSPORTE
DE MINÉRIO DE FERRO SOBRE CORREIAS, EM CLIMA
TROPICAL, NA MINA DO COMPLEXO INDUSTRIAL S11D
DA VALE - CANAÃ/PA**

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Uso Sustentável de Recursos Naturais em Regiões Tropicais, área de Ciências Ambientais, do Instituto Tecnológico Vale Desenvolvimento Sustentável (ITV).

Data da aprovação:

Banca examinadora:

Sérgio Ivan Viademonte da Rosa
Orientador – Instituto Tecnológico Vale (ITV)

Nome do Avaliador interno
Membro interno – Instituição (Sigla)

Nome do Avaliador externo
Membro externo – Instituição (Sigla)

Dedico este trabalho de pesquisa a Deus, aquele que orienta minha vida, e à minha família, por acreditar em mim.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a minha família pela paciência e palavras de incentivo durante o desenvolvimento desse trabalho. Ao meu orientador Dr. Sergio Viademonte pelo auxílio e comentários fornecidos para direcionamento em busca dos resultados da pesquisa e do meu gestor Renato Gomes Costa pela liberação para o curso de Mestrado no ITV-DS.

Aos colegas da Vale S/A das áreas de Sustentabilidade, Leonardo Neves, Mauro Castro, Leno Brabo, Melquisedeque Silva, da Pesquisa Mineral Carlos Augusto Medeiros, da Implantação de Projetos de Capital André Dantas e da Tecnologia Derick Silva pelo auxílio à coleta de dados para análise na pesquisa e pelas indicações de referências de leis, normas regulamentadoras e obras científicas para aprofundamento de tópicos desse trabalho.

Também não poderia deixar de agradecer os pesquisadores do departamento de Climatologia do ITV-DS, Dr. Douglas Ferreira, Dra. Claudia Priscila Costa e Dra. Renata Tedeschi pela disponibilidade para realizar esclarecimentos e transmitir conhecimentos sobre a pluviometria em regiões tropicais.

RESUMO

O trabalho proposto nesse documento dedica-se a uma investigação de paradas operacionais no transporte de minério de ferro e canga ferruginosa em transportadores de correias na mina do Complexo S11D. A investigação foi concentrada no funcionamento e paradas operacionais de transportadores de correia sob precipitações pluviométricas e umidades relativas do ar de região tropical, especialmente às ocorridas na Floresta Nacional (FLONA) de Carajás. O relatório técnico em apêndice apresenta estudos de análise de dados obtidos dos sistemas de informação industrial e de equipamentos de monitoramento pluviométrico instalados no Complexo Industrial S11D. Dentre os diversos transportadores do Complexo S11D, delimitamos o estudo ao transportador de identificação TR-1085KS-01, o qual possui alta relevância de escoamento de produção da mina, pois situa-se na saída do fluxo produtivo da mina (também chamada linha singela). Através de metodologia de análise exploratória de dados, avaliou-se as condições climáticas ambientais desfavoráveis para o funcionamento do transportador de identificação TR-1085KS-01 e suas variáveis físicas de operação, baseadas nas paradas operacionais já ocorridas no fluxo produtivo na mina S11D. Os resultados obtidos indicaram poucas dependências entre os dados dos sistemas de informação industrial e de monitoramento pluviométrico instalados no Complexo Industrial S11D. Porém houve medidas da umidade relativa do ar e precipitações pluviométricas que mostraram condições mais favoráveis para ocorrência de paradas operacionais do transportador de correia TR-1085KS-01. Há oportunidade para explorar a integração das tecnologias dos sistemas de monitoramento, a fim de utilizar dados climatológicos para suporte a tomada de decisão da produção da Vale S/A.

Palavras-chave: Transportador de Correia, Análise de Dados, Clima Tropical, Operação Industrial.

ABSTRACT

The work described in this document is an investigation of operational stops of iron ore and ferruginous clay transport on conveyor belts in the S11D Complex mine. The investigation was concentrated on operational running and operational stops, subjected to rainfalls and relative umidity in tropical region, especially those occurring in the Carajas National Forest (FLONA). The appendix technical report presents studies including data analysis of data obtained from industrial information systems and rainfall monitoring equipment installed at the S11D Industrial Complex. Among the various carriers of the S11D Complex, we will delimit the study to the conveyor belt TR-1085KS-01 tagged, which has high relevance for mine production flow, as it is located at the output of the mine's productive flow (also called single line). Through exploratory data analysis methodology, were evaluated the unfavorable climate conditions for the operation of the specific conveyor TR-1085KS-01 and its physical operating variables, based on the operational stops already occurring in the production flow at the S11D mine. The obtained results indicated little dependence between these data of industrial information and rainfall monitoring systems installed at the S11D Industrial Complex. However, there were measurements of relative humidity and rainfall that showed the most favorable operational conditions for TR-1085KS-01 belt conveyor downtime. There is an opportunity to explore the integration of monitoring system technologies in order to use climatological data to support Vale S/A's production decision making.

Keywords: Conveyor Belt, Data Analysis, Tropical Climate, Industrial Operation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Plano Diretor do Complexo Industrial S11D	12
Figura 2 - Representação conceitual em setembro/2015 da mina do Complexo S11D	15
Figura 3 - Figura 3. TR-1085KS-01, Pilha Pulmão de Minério de Minério de Ferro e TR-1085KS-02 na Mina do Complexo S11D.....	15
Figura 4 - Mina do Complexo S11D e o lançamento de minério de ferro hidratado do TR-1085KS-01 na pilha pulmão	16
Figura 5 - Séries temporais da produção de minério de ferro e da precipitação pluviométrica de Carajás no período de 2004 a 2016	20
Figura 6 - Ilustração dos componentes do Transportador de Correia	21
Figura 7 - Localização geográfica da Floresta Nacional de Carajás (esquerda); Município de Canaã dos Carajás (direita)	23
Figura 8 - Região da Mina S11D	24
Figura 9 - Parâmetros técnicos operacionais	25
Figura 10 - Vista interna do TR-1085KS-01 operando sem minério de ferro	26
Figura 11 - Estação Pluviométrica da Mina	26
Figura 12 - Exemplo ilustrado de tela sinóptica do transportador TR-1085KS-01 ...	28
Figura 13 - Exemplo ilustrativo da ferramenta TAG Browser	29
Figura 14 - Exemplo ilustrativo dos valores das TAGs de status	30
Figura 15 - Correspondência da direção do vento (Win Dir) e identificador das análises	36
Figura 16 - Histogramas das variáveis da Pesquisa: a) Status de Funcionamento, b) Taxa de Produção, c) Pluviometria; d) Temperatura, e) Umidade Relativa do AR, f) Ponto de Orvalho, g) Velocidade do Vento, h) Direção do Vento e, i) Pressão Atmosférica	38
Figura 17 - Matriz de correlação dos dados da Pesquisa	42
Figura 18 - Boxplot de Status de Funcionamento do TR-1085KS-01 e Umidade Relativa do Ar	44
Figura 19 - Regressão linear da Umidade Relativa do Ar e Taxa de Produção do TR-1085KS-01	45
Figura 20 - Boxplot de Status de Funcionamento do TR-1085KS-01 e Pluviometria	45
Figura 21 - Regressão linear da Pluviometria e Taxa de Produção do TR-1085KS-01	46
Figura 22 - Boxplot de Pluviometria e taxa de produção do TR-1085KS-01	46

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

DS – Desenvolvimento Sustentável

ITV – Instituto Tecnológico Vale

NBR – Norma Brasileira Regulamentadora

TR – Transportador de Correia

SUMÁRIO

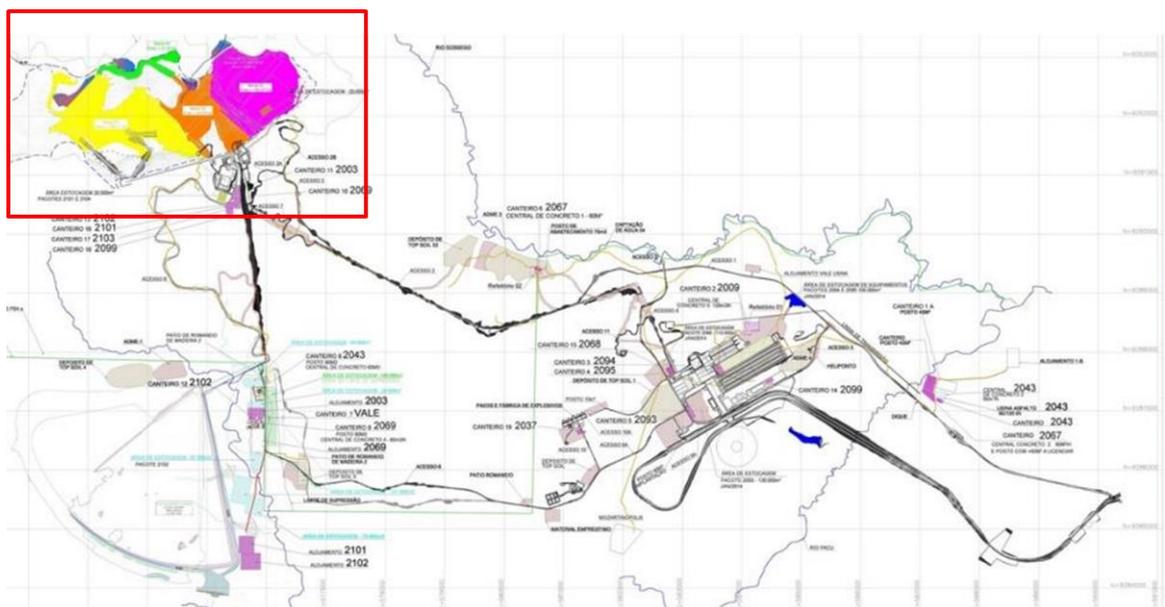
1	INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA	12
2	REFERENCIAL TEÓRICO	17
2.1	A CLIMATOLOGIA PLUVIOMÉTRICA COMO UM PADRÃO DE TENDÊNCIA	17
2.2	GESTÃO DA MANUTENÇÃO E CONTROLE OPERACIONAL DE TRANSPORTADORAS DE CORREIA, INCREMENTADOS COM ANÁLISE DE DADOS	18
-	ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO	22
3	OBJETIVOS	23
3.1	OBJETIVO GERAL	23
3.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	23
4	MATERIAIS E MÉTODOS	23
4.1	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	23
4.2	DADOS	27
4.2.1	Dados operacionais do transportador de correia TR-1085KS-01	27
4.2.2	Dados climatológicos	31
4.2.3	Pré-processamento	34
4.3	METODOLOGIA	39
4.3.1	Indicação da hipótese e/ou questão a ser investigada	39
4.3.2	Projeto do experimento para responder à pergunta	40
4.3.3	Coleta de dados de acordo com o experimento planejado	40
4.3.4	Realização de análise dos dados	40
4.3.5	Produção da resposta para hipótese ou pergunta	41
5	ANÁLISES	41
5.1	TESTE DE NORMALIDADE	41
5.2	MATRIZ DE CORRELAÇÃO	42
5.3	ANÁLISES DE CORRELAÇÕES ENTRE AS VARIÁVEIS CLIMATOLÓGICAS E DE PRODUÇÃO	44
6	CONTRIBUIÇÕES	46
7	DISCUSSÃO	47
8	CONCLUSÃO	49
	REFERÊNCIAS	51
	APÊNDICES	54

1 INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA

A Vale S/A é uma empresa de mineração que utiliza transportadores de correia em diversas unidades de negócio e também em transporte de diferentes tipos de minérios a granel. Esses equipamentos são muito importantes para a continuidade de produção nas Minas e Usinas de beneficiamento, conforme conceitua Lineker [1], bem como para o escoamento da produção de minérios através do carregamento de navios nos portos da Vale S/A.

Em 30 anos de exploração mineral na província mineral de Carajás, localizada no Sudeste do Pará, a Vale S/A implantou o Complexo S11D Eliezer Batista, o qual iniciou sua operação em dezembro de 2016. No projeto de engenharia do fluxo produtivo da planta industrial, foram implantadas correias transportadoras, em larga escala, para atingir a capacidade de produção de 90MTA (**M**ilhões de **T**oneladas por **A**no de Minério de Ferro) em 5 anos [2]. Isso permitirá a Vale S/A ampliar o potencial de extração de minério de ferro no Pará para 230MTA [3]. O corpo mineral S11 de minério de ferro, mapeado pela Vale S/A na região de Carajás, possui uma reserva potencial de 10 bilhões de toneladas de minério de ferro, sendo o bloco D isoladamente, um dos quatro existentes representado na Figura 1, com reserva de 4,24 bilhões de toneladas métricas. A Figura 1 ilustra em destaque, quadrado vermelho, o bloco D da área da mina de minério de ferro, no complexo industrial S11D.

Figura 1 - Plano Diretor do Complexo Industrial S11D.



Fonte: Imagem do arquivo 0000KS-G-90002_REV_7.dwg extraído do Arquivo Técnico S11D da Vale S/A, com adaptação do autor.

Na engenharia desenvolvida para implantação do Complexo S11D, houve a adoção do sistema *Truckless*, que inovou tecnologicamente a forma de operar uma mina de minério de ferro e provocou mudanças nas rotinas operacionais, de manutenções e do planejamento da lavra.

O sistema *Truckless* utiliza uma máquina de britagem móvel de minério dentro da mina S11D e o transporte do minério de ferro britado é realizado através de correias transportadoras, permitindo uma grande redução do custo de produção do minério de ferro fino *Sinter Feed* (granulometria de 12,5 mm e 0,15 mm definido por Carvalho et al. [4]) de alto teor de qualidade do produto da Vale S/A, **Minério de Ferro (MFe) 67%** (referência do mercado *Spot* é um teor de MFe 62%), e trazendo uma vantagem competitiva no mercado internacional da mineração. Carvalho et al. [4] conceitua a unidade de tonelada métrica seca (dmtu – dry metric tonne unit) por 1% de ferro contido em uma tonelada de minério, excluindo-se a umidade. O preço por tonelada de uma determinada quantidade de minério de ferro é calculado multiplicando-se os centavos de dólar/dmtu pelo percentual de teor de ferro contido. Os contratos internacionais de minério de ferro são cotados em centavos de dólar por tonelada métrica seca (c/dmtu).

Em Carvalho et al. [4] denominam-se que os minérios de ferro explorados para fins comerciais são: itabirito, hematita e canga. A canga ferruginosa é uma cobertura terrestre do produto residual da alteração de uma rocha por processos de intemperismo químicos que, nos climas úmidos e tropicais, realiza-se em qualquer tipo de rocha. Quando acontece o processo de laterização (solubilização dos constituintes químicos de uma rocha) nos tipos de rocha de minério de ferro citados, temos como principais elementos o hidróxido de alumínio ($\text{Al}(\text{OH})_3$) e o de ferro ($\text{Fe}(\text{OH})_2$).

Por negociações comerciais da Vale S/A com clientes, o resultado da produção de minério de ferro do Complexo S11D, refere-se como um único produto comercializado. Apesar de existirem as diferenças de teor e constituições químicas entre os dois tipos de minério de ferro (*Sinter Feed* e *Canga de Minério de Ferro*).

A utilização dessas correias transportadoras implantadas no Complexo S11D proporcionarão para Vale S/A uma economia de 93% no consumo de água e 77% no uso de combustível, reduzindo em 50% a emissão de Gases de Efeito Estufa (GEE), indicadores apresentados no editorial Vale S/A [2], quando comparado aos métodos convencionais de lavra e produção em minas que utilizam caminhões *Off Roads*.

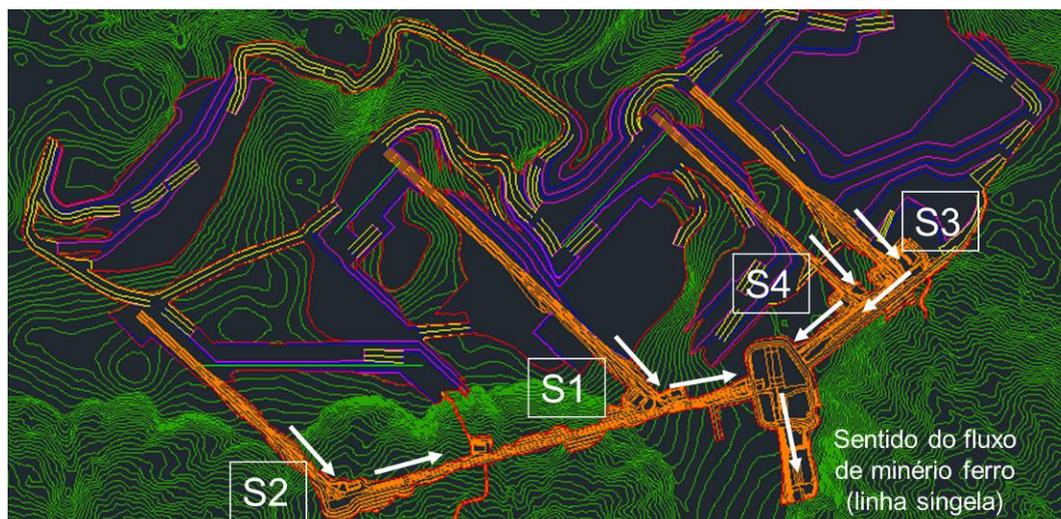
Apesar da vantagem competitiva que o Complexo S11D trouxe para Vale S/A, com o transporte do minério de ferro e canga ferruginosa sobre correias transportadoras em larga escala, o processo produtivo no S11D ainda apresenta oportunidades de aperfeiçoamento e necessidade de estudos de melhorias operacionais. As perdas operacionais do processo produtivo são acompanhadas gerencialmente, sendo estratificadas e classificadas Viana [5] pelo tipo e origem, para análise do perfil das perdas operacionais.

A indústria da mineração também se depara com a necessidade de reinventar processos produtivos tradicionais que durante anos significaram o estado da arte da engenharia de extrativismo mineral. Com a implantação do Complexo S11D, a Vale S/A inovou em processos produtivos de minério de ferro, utilizando o sistema *truckless*. Entretanto as perdas operacionais, intrínsecas do processo desse sistema, atualmente tem sido alvo de estudos, melhorias e adequações no processo realizados pela equipe operacional Vale S/A do S11D.

Otimizar a performance operacional do transporte de minério de ferro e canga ferruginosa nos transportadores de correia é um desafio multidisciplinar e não trivial que exige avaliações dos problemas ocorridos para ajustes e acertos nos equipamentos ou processos que mitiguem as causas das paradas operacionais. O minério de ferro e canga ferruginosa do S11D apresentam um comportamento higroscópico (espaços internos vazios da estrutura física da rocha são preenchidos por água), o que altera as condições de material especificado para o transporte de minério de ferro em transportadores de correia do S11D.

A Figura 2 ilustra a área de lavra na mina do S11D, a qual possui 4 sistemas principais, ou corredores, de transporte de minério de ferro e esses corredores de escoamento do fluxo de minério de ferro convergindo para uma linha única de alimentação do armazenamento temporário, ou pilha pulmão Lineker [1], que serve para regulação do envio de minério de ferro para o processamento da usina de beneficiamento do Complexo S11D.

Figura 2 - Representação conceitual em setembro/2015 da mina do Complexo S11D.



Fonte: Extraída do levantamento topográfico do Planejamento de Mina S11D da Vale S/A, com adaptação do autor.

A Figura 3 destaca a pilha pulmão de estoque temporário do minério de ferro, para envio do minério de ferro e canga ferruginosa à usina de beneficiamento, e também 2 transportadores de correia (TR-1085KS-01 – chegada do fluxo da mina; TR-1085KS-02 – saída do fluxo da pilha pulmão) que completam o trecho do circuito produtivo da área 1085KS da mina do Complexo Industrial S11D.

Figura 3 - TR-1085KS-01, Pilha Pulmão de Minério de Minério de Ferro e TR-1085KS-02 na Mina do Complexo S11D.



Fonte: Foto de Salviano Machado para relatório de Performance do Projeto S11D em dezembro/2016, com adaptação do autor.

Em situações de altas precipitações climáticas, o minério de ferro lavrado nos 4 sistemas de escoamento de produção da mina tem contato com água, a qual provoca alterações físico-química no minério transportado, formando uma polpa argilosa ou lama [6]. Esse minério hidratado (em contato com a água), reduz a continuidade operacional em sistemas com correia transportadora, pois eleva os níveis de adensamento e viscosidade da canga ferruginosa, dificultando o escoamento do material transportado sobre as correias transportadoras e provoca um alto índice de paradas no processo. A Figura 4 ilustra esse processo.

Figura 4 - Mina do Complexo S11D e o lançamento de minério de ferro hidratado do TR-1085KS-01 na pilha pulmão.



Fonte: Imagem extraída da inspeção em campo liderada pelo Supervisor Operacional Milton Gama em março/2017.

A análise conjunta de dados operacionais dos transportadores de correia, associados aos dados climatológicos da área da mina do Complexo S11D, podem auxiliar na detecção dos momentos mais propícios para ocorrências de paradas operacionais, sugerindo manutenções preventivas ou mudanças de parâmetros operacionais que mitiguem tais paradas. Isso é de grande valia para suporte às decisões operacionais da continuidade de funcionamento dos equipamentos, da alteração dos parâmetros operacionais do equipamento ou da promoção de interrupções no funcionamento do equipamento para antecipar manutenções.

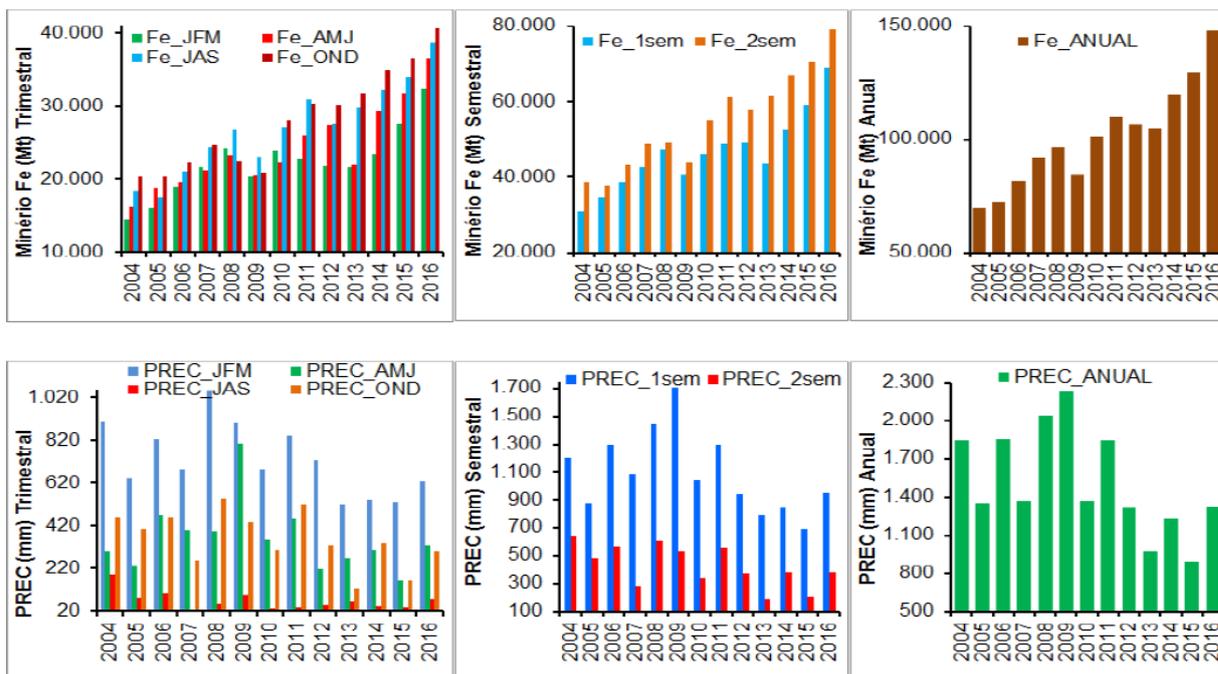
2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 A CLIMATOLOGIA PLUVIOMÉTRICA COMO UM PADRÃO DE TENDÊNCIA

Estudos climatológicos da precipitação pluviométrica avaliados por Shelton [7] são importantes para entendermos os fatores ambientais do clima que interferem no processo produtivo e os momentos em que seus efeitos são mais influentes. No estudo de Souza et al. [8] há a análise dos níveis de precipitação na região Amazônica, os quais indicam que a região é regida pelos sistemas meteorológicos da Zona de Convergência Intertropical – ZCIT, da Zona de Convergência do Atlântico Sul - ZCAS e por Linhas de Instabilidade – LI [8].

Miranda [9] apresenta o estudo da interferência da precipitação pluviométrica no volume de minério de ferro produzido pela Vale S/A. Analisa-se o ciclo de oscilação pluviométrico da região amazônica de 2004 até 2016, identificando os meses dos trimestres do ano através do conjunto de três letras consecutivas (Ex.: janeiro, fevereiro e março pela sigla JFM), e sua correlação com quantidade produzida de minério de ferro da Vale S/A nesse mesmo período. Em Souza et al. [8] são citados os padrões climatológicos de precipitação na região amazônica, regimes: chuvoso (janeiro a maio) e seco (julho a novembro), que reforçam as condições climáticas de maior incidência de precipitação pluviométrica nas operações da Vale S/A da região de Carajás. Logo na Figura 5 nota-se a interferência negativa da precipitação pluviométrica no volume produzido de minério de ferro pela Vale S/A na região de Carajás.

Figura 5 - Séries temporais da produção de minério de ferro e da precipitação pluviométrica de Carajás no período de 2004 a 2016.



Fonte: Extraída do estudo de Miranda [9].

Os gráficos em linha superior da Figura 5 indicam a produção de minério de ferro entre os anos de 2004 a 2016, representados nas periodicidades trimestral, semestral e anual respectivamente da esquerda para direita. As representações da pluviometria nas mesmas periodicidades trimestral, semestral e anual, podem ser observadas nos gráficos em linha inferior da Figura 5, os quais indicam a pluviometria da região no mesmo período da produção de minério de ferro, representada na parte superior entre os anos de 2004 a 2016. Nota-se que há o aumento do volume de minério de ferro produzido à medida que o volume de precipitação diminui no mesmo período e vice-versa.

2.2 GESTÃO DA MANUTENÇÃO E CONTROLE OPERACIONAL DE TRANSPORTADORES DE CORREIA, INCREMENTADOS COM ANÁLISE DE DADOS

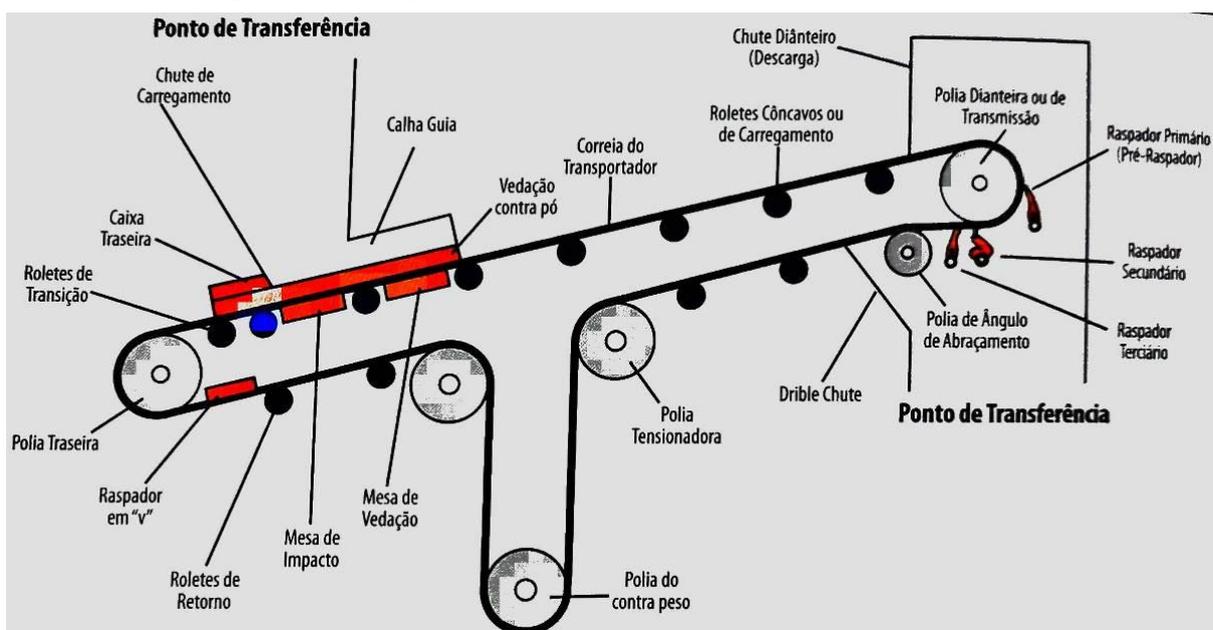
Transportadores de correia são equipamentos concebidos para operar em modo contínuo, com alta eficiência operacional, larga capacidade de transporte de carga (limitada pela largura e velocidade da correia do transportador) de acordo com Swinderman [10]. Possuem estrutura simplificada e pouca necessidade de manutenção [11].

Swinderman [10] comenta sobre os diversos transportadores de correia para manuseio de materiais a granel, assim como o minério de ferro e canga ferruginosa, são compostos essencialmente por seis elementos [8], listados abaixo e ilustrado na figura 6:

1. Correia, a qual forma a superfície móvel sobre a qual o material a granel viaja;
2. Polias, as quais apoiam e movem a correia, controlando sua tensão;
3. Transmissão, a qual fornece energia para uma ou mais polias para mover a correia;
4. Estrutura, a qual suporta e alinha os componentes rolantes;
5. Sistemas de suporte da correia, os quais apoiam os filamentos de carregamento e retorno da correia;
6. Pontos de transferência, os quais carregam ou descarregam os materiais do transportador.

Swinderman [10] também ainda apresenta a existência de sistema auxiliar para aperfeiçoar o funcionamento dos transportadores de correia, contemplando componentes a saber: *tensores, raspadores, detectores de fragmentos de ferro, calhas de transferência e vedações, sistema de suporte da correia, corda de emergência, sistemas de supressão e coleção de pó e sistemas de proteção climática.*

Figura 6 - Ilustração dos componentes do Transportador de Correia.



Fonte: Extraída de Swinderman [10].

O regime operacional e de falhas operacionais desses equipamentos são objeto de estudo em diversos trabalhos no campo da engenharia elétrica e mecânica. Laan [12] comenta que para realizar as análises dos modos operacionais, visando a confiabilidade e disponibilidade física desses sistemas eletromecânicos, são necessárias observações no domínio do tempo, pois seus parâmetros operacionais se alteram e são essenciais nessas análises. Em sua norma NBR 5462 [13], a ABNT define a confiabilidade como a capacidade de um item desempenhar uma função requerida sob condições especificadas, durante um dado intervalo de tempo. Já a disponibilidade física é definida como a capacidade de um item estar em condições de executar uma certa função em um dado instante ou durante um intervalo de tempo determinado. Logo essas análises tratam-se de uma área especializada da engenharia focada na análise de produtos e processos de sistemas, a qual considera as condições do uso, tempo e ambiente imposto ao produto ou sistema em questão.

Geralmente o ambiente e a infraestrutura do sistema eletromecânico têm uma forte influência implícita ou explícita no processo de operação do transportador de correia [12]. Alguns eventos provenientes do ambiente em torno do transportador de correia e as condições de estrutura definem um conjunto de diferentes estados de operação do equipamento, no qual o transportador de correia muda sua confiabilidade de funcionamento, estrutura de segurança operacional e seus parâmetros de regime operacional.

A análise dos dados das paradas operacionais ocorridas no tempo pode fornecer subsídio para o desenvolvimento de sistemas de alertas, funcionando como uma sentinela de análise preditiva de ocorrências ou como um agente computacional *watch dog* [14] dos dados, no auxílio a tomada de decisão citada no trabalho de Provost et al. [15].

Logo a utilização de técnicas estatísticas é importante para apoiar nessas análises dos dados e no entendimento de possíveis correlações entre variáveis, sendo uma ferramenta bastante utilizada na ciência computacional de grandes volumes de dados. Os modelos preditivos são funções matemáticas suportadas por esses tipos de análises [16].

O presente estudo tem alicerce na análise exploratória de dados (EDA) e análise de confirmação de dados (CDA) de Tukey, John W. [17], o qual uniu a utilização dessas análises numa metodologia de análise linear de dados seguindo as 5 etapas, a saber: 1 – *Indicação da hipótese e/ou questão a ser investigada*, 2 –

Projeto do experimento para responder à pergunta, 3 – Coleta de dados de acordo com o experimento planejado, 4 – Realização de análise estatística dos dados, 5 – Produção da resposta para hipótese ou pergunta. Esse processo pode ser iterativo.

ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO

O presente trabalho encontra-se organizado sob a forma de relatório técnico, como disposto no Regulamento Interno do Programa de Pós-Graduação em Uso Sustentável de Recursos Naturais em Regiões Tropicais do ITV DS.

Relatório técnico

Análise de paradas operacionais no transporte de minério de ferro sobre correias, em clima tropical, na mina do Complexo Industrial S11D da Vale - Canaã/PA

Sob autoria de:

Rodrigo Fonseca Cavalcanti de Albuquerque
Sérgio Ivan Vaidemonte da Rosa

PROD. TEC. ITV DS N062/2020
DOI 10.29223/PROD.TEC.ITV.DS.2020.62.Albuquerque

3 OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo desse estudo é investigar o comportamento operacional de transportadores de correia sob influência de variáveis climatológicas na produção do minério de ferro na área da Mina do Complexo S11D, tendo como base o transportador de correia TR-1085KS-01, a fim de auxiliar a tomada de decisões operacionais em transportadores de correia sob condições climáticas chuvosas.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Verificar a necessidade e disponibilidade de dados operacionais e climatológicos para o estudo;
- Investigar a existência de correlações entre variáveis operacionais de transportadores de correia e variáveis climatológicas nas paradas operacionais, tendo como base o transportador de correia TR-1085KS-01.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 CARCTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O local de estudo foi realizado na região de Carajás, identificado através da Figura 7, localizada no sudeste do estado do Pará do Brasil. O Complexo S11D pertence ao município de Canaã dos Carajás, apresentado na Figura 7, o qual possui parte da Floresta Nacional de Carajás.

Figura 7 - Localização geográfica da Floresta Nacional de Carajás (esquerda); Município de Canaã de Carajás (direita).



Fonte: extraída do Plano de Pesquisa ICMBIO [1], com adaptação do autor.

Para realizar o estudo fizemos uso de dados de equipamentos instalados no Complexo S11D, situados na região da Mina S11D, com visualização da localização na Figura 8.

Figura 8 - Região da Mina S11D.



Fonte: Foto de Salviano Machado para relatório de Performance do Projeto S11D em Junho/2018, com adaptação do autor

O Transportador de Correia TR-1085KS-01 foi implantado para operação de movimentação de minério de ferro na saída do fluxo da lavra, sob os parâmetros técnicos operacionais descritos na Figura 9 e visualização de seu interior operando a vazio (sem minério de ferro) apresentado na Figura 10.

Figura 9 - Parâmetros técnicos operacionais

Dados Técnicos	
Comprimento Horizontal	510.276 mm
Capacidade Nominal	25.500 t/h
Capacidade de Projeto	28.500 t/h
Largura da Correia	2.400 mm
Velocidade da Correia	6,09 m/s
Material Transportado	Minério de Ferro
Peso Específico do material	2,6 t/m ³
Granulometria do material	97% < 300 mm (Máx. 350 mm)
Motor	ABB 02 X 1.350KW – 8 Polos – 4.000 V – 897 RPM
Correia	Phoenix ST-2200 ; Comprimento 1.086m

Fonte: Vale S/A, ([20--?]).¹

¹ Dados extraídos do arquivo técnico. DF-1085KS-M-42122-M-00001_REV_3 do S11D.

Figura 10 - Vista interna do TR-1085KS-01 operando sem minério de ferro.



Fonte: Extraída do sistema de câmeras do Complexo S11D, (2018).

Também utilizamos os dados da estação pluviométrica, a qual traz a referência da localização do equipamento do fabricante Davis Instruments, modelo Vantage Vue [3], visualizado na Figura 11 e esse localizado na região da base da Torre de Comunicação de 140m, próximo a lagoa do violão, da Mina S11D, apresentada na Figura 3.

Figura 11 - Estação Pluviométrica da Mina.



Fonte: Foto de Mauro Santos Castro Eng. Meio Ambiente Vale S/A em 01/Março/2019.

Em função dos dados das coordenadas do sistema Universal Transversa de Mercator (UTM) extraídas do documento do Arquivo Técnico Vale S/A: Arranjo Geral - Plano Diretor de Obras 0000KS-G-90002_REV_7, a localização do transportador de correia TR-1085KS-01 e estação pluviométrica na mina S11D são:

- **TR-1085KS-01:** E=576000; N=9291000
- **Estação Pluviométrica:** E=572000; N=9292000

4.2 DADOS

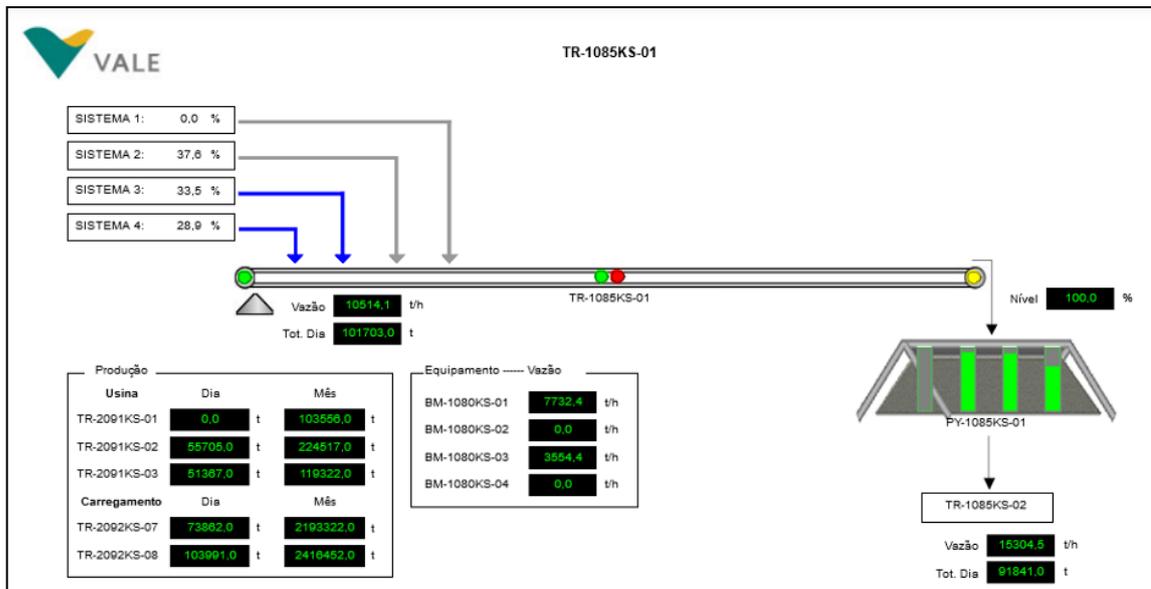
4.2.1 Dados operacionais do transportador de correia TR-1085KS-01

As variáveis utilizadas nesse estudo para caracterizar o funcionamento do transportador de correia são:

- **Status de funcionamento do Transportador de Correia TR-1085KS-01:** (STS_C);
- **Taxa de Produção do Transportador de Correia TR-1085KS-01:** (WIT_RATE).

O Transportador TR-1085KS-01 possui o sistema de controle e sinais de funcionamento monitorados através do sistema de Supervisão e Aquisição de Dados da planta industrial (SCADA - *Supervisory Control and Data Acquisition*) do fabricante ABB, modelo 800XA [4]. A partir da rede de dados industrial, os dados de processo industrial são coletados pelo *Sistema de Gerenciamento de Informações da Planta Industrial* (PIMS Serra Sul) de gestão da área de Tecnologia da Informação da Vale S/A, do fornecedor Aspentech, versão InfoPlus 21 [5], para formação do conjunto de dados analíticos do histórico operacional do equipamento. A Figura 7 ilustra um exemplo da tela sinóptica dos status das variáveis da máquina e processo produtivo. Esse sistema realiza o monitoramento de variáveis físicas de condição operacional das máquinas no S11D, permitindo acesso a uma grande base de dados histórica do Complexo S11D.

Figura 12 - Exemplo ilustrativo de tela sinóptica do transportador TR-1085KS-01.



Fonte: Extraída do sistema PIMS Serra Sul da Vale S/A.

Representa-se na Figura 12 o fluxo do minério de ferro no transportador TR-1085KS-01, no qual o recebimento de minério de ferro acontece do lado esquerdo da figura, na entrada do desenho do transportador de correia, dado pela confluência dos 4 sistemas da mina S11D, que estão destacados os percentuais de capacidade de entrega de minério de ferro no momento da visualização da imagem (Sistema 1: 0%; Sistema 2: 37,6%; Sistema 3: 33,5%; Sistema 4: 28,9%). Também estão representadas as informações da taxa de produção (vazão) 10.514,1 t/h em operação e o peso de 101.703 toneladas acumuladas de produção no dia, no momento da imagem. À direita da imagem do transportador, há o nível total percentual em 100% de minério de ferro acumulado na pilha pulmão (PY-1085KS-01), no momento da imagem. Há ainda outras informações de produção de outras áreas do Complexo S11D, tais como: Transportadores da Usina, Transportadores do Carregamento, Britagens Móveis (*Truckless*) da Mina e descarga da pilha pulmão para o transportador de correia TR-1085KS-02.

O sistema PIMS Serra Sul possui variáveis denominadas TAGs que foram cadastradas e configuradas durante a implantação do sistema no Complexo S11D. Podem ser acrescentadas novas TAGs a qualquer momento e conforme necessidade, desde que haja o sinal em funcionamento no sistema Supervisório de Controle de Processo Industrial (ABB 800XA), a fim de receber os dados dos sinais de controle e status de funcionamento do Transportador de Correia TR-1085KS-01. Há no PIMS

uma ferramenta de busca de TAGs, chamada TAG browser na Figura 8, para busca da coleção de TAGs disponíveis em cada equipamento do Complexo. Ainda há muitas TAGs para cadastrar nos equipamentos do Complexo S11D, especialmente na região da Mina, pois foi a última fase a ser implantada do projeto S11D e comissionados os sistemas de forma preliminar para o início das atividades operacionais. No Apêndice A apresentamos todas as TAGs disponíveis do TR-1085KS-01 durante o período de pesquisa desse trabalho.

Figura 13 - Exemplo ilustrativo da ferramenta TAG Browser.



Fonte: Extração do sistema PIMS Serra Sul da Vale S/A com adaptação do autor.

Na Figura 13 é exemplificada uma busca de TAGs com o critério de seleção incluindo o texto 1085KS dentro da descrição, relativo ao número da área do plano diretor do Complexo S11D. O resultado da pesquisa retorna a lista de todas as variáveis existentes (TAGs) no banco de dados, contendo o texto da área 1085KS na descrição.

As TAGs indicativas de status de funcionamento do equipamento ou algum subsistema do equipamento principal, possuem intervalo de valores de 0 a 20 mili Ampères (mA) e referenciados na Figura 9. Podemos sumarizar os valores possíveis para essas TAGs de indicação de status do equipamento, conforme indicado na Figura 14, que resumem os status de funcionamento do equipamento.

Figura 14 - Exemplo ilustrativo dos valores das TAGs de status.

Occurrence	Selection Value	SELECT_DESCRIPTION
1	-1	-1
2	0	PARADO
3	1	
4	2	
5	3	
6	4	PARADO COM ALARME
7	5	
8	6	
9	7	
10	8	FUNCIIONANDO
11	9	
12	10	
13	11	
14	12	FUNCIIONANDO COM ALARME
15	13	
16	14	
17	15	
18	16	DEFEITO
19	17	
20	18	INTERTRAVADO

Id	Descrição do sinal/evento	Valor Sinal (mA)	Status
1	Parado	0	Stop
2	Parado com alarme	4	Stop
3	Intertravamento	18	Stop
4	Defeito	16	Stop
5	Funcionando	8	Run
6	Funcionando com alarme	12	Run

Fonte: Extração do sistema PIMS Serra Sul da Vale S/A com adaptação do autor.

Dessa forma centramos as análises dos dados do PIMS Serra Sul para pesquisa, utilizando as TAGs que descreviam o status de funcionamento completo e taxa de alimentação (vazão/produktividade em toneladas/hora) do Transportador de Correia TR-1085KS-01.

As variáveis utilizadas nesse estudo para caracterizar o funcionamento do transportador de correia são:

- **Status de funcionamento do Transportador de Correia TR-1085KS-01: (STS_C);**
- **Taxa de Produção do Transportador de Correia TR-1085KS-01: (WIT_RATE).**

4.2.1.1 Obtenção dos dados

Utilizando o módulo SQL Plus do PIMS Infoplus 21, realizamos consultas (*queries*) de extração dos dados das TAGs STS_C e WIT_RATE na periodicidade de 1 em 1 minuto para obter as informações operacionais do equipamento. No período de 1 minuto para outro minuto podem haver o registro de pequenas interrupções ou eventos de mudança de ritmo da taxa de produção (t/h). O Apêndice B apresenta o código SQL utilizado para extração dos dados das TAGs do PIMS Serra Sul

trabalhadas nessa pesquisa, para o período observado de 13/março/2017 até 17/março/2019. A Tabela 1 apresenta um exemplo de subconjunto dados extraídos do PIMS Serra Sul da Mina S11D e as Tabela 2 descrições desses dados.

Tabela 1 - Exemplo de subconjunto de dados extraídos do Transportador de Correia TR-1085KS-01 no PIMS Serra Sul da Vale S/A

Data	Hora	STS_C	WIT_RATE t/h
13/03/2017	14:00:00	12	1933,32
13/03/2017	14:01:00	12	1971,17
13/03/2017	14:02:00	12	1551,6
13/03/2017	14:03:00	12	2134,92
13/03/2017	14:04:00	12	2095,48
13/03/2017	14:05:00	12	2464,73
13/03/2017	14:06:00	12	1830,38
13/03/2017	14:07:00	12	2543,77
13/03/2017	14:08:00	12	2463,42
13/03/2017	14:09:00	12	1935,35
13/03/2017	14:10:00	12	1909,3

Fonte: : : : : elaborador pelo autor, (2020).

Tabela 2 - Dados das variáveis operacionais do transportador de correia TR-1085KS-01.

Variáveis	Valores Válidos	Valores Ausentes	Mín	Máx	Média	Mediana	Variância	Desvio Padrão
1. Data	1.056.970	-	13/03/17	17/03/19	-	-	-	-
2. Hora	1.056.970	-	13:50	13:59	-	-	-	-
3. STS_C	1.056.970	-	-	-	-	-	-	-
4. WIT_RATE (t/h)	1.038.5070	18.463	0	28.497	3.933	2.586	24.602.594	4.960,10

Fonte: elaborado pelo autor, (2020).

4.2.2 Dados climatológicos

As variáveis climatológicas utilizadas no estudo dessa pesquisa são apresentadas na tabela 3.

Tabela 3 - Variáveis dos dados climatológicos

Variáveis	Descrição
1. Data	Data da observação do dado
2. Hora	Horário da observação do dado
3. Temperatura Ambiente	Temperatura em graus Celcius (°C)
4. Umidade Relativa do Ar	Relação entre a pressão parcial da água contida no ar e a pressão de vapor da água tomada à temperatura do ar (%)
5. Velocidade do Vento	Velocidade do deslocamento do ar em metros/segundo (m/s)
6. Direção do Vento	Deslocamento do ar indicada por Pontos Cardeais
7. Chuva	Pluviometria em milímetros (mm)
8. Ponto de Orvalho	Temperatura em graus Celcius do ponto de condensação (°C)
9. Pressão Atmosférica	Força exercida, por metro quadrado, decorrente da coluna de gás atmosférico acima da superfície terrestre (mmHg)

Fonte: elaborado pelo autor, (2020).

A descrição das variáveis climatológicas utilizadas nesse estudo são:

- **Data:** Variável da informação do dia da observação do dado na superfície da Mina S11D, no formato dia/mês/ano (dd/mm/aaaa).
- **Hora:** Variável de informação do horário da observação do dado na superfície da Mina S11D, no formato hora:minuto (hh:mm).
- **Temperatura Ambiente:** Temperatura em graus Celsius (°C) na superfície da Mina S11D no dia e horário da observação.
- **Umidade relativa do ar:** Relação percentual (%) entre a pressão parcial da água contida no ar e a pressão de vapor da água tomada à temperatura do ar, na superfície da Mina S11D no dia e horário da observação.
- **Velocidade do Vento:** Velocidade do deslocamento do ar em metros/segundo (m/s) na superfície da Mina S11D no dia e horário da observação.
- **Direção do Vento:** Sentido do deslocamento do ar na superfície da Mina S11D indicado por Pontos Cardeais no dia e horário da observação.
- **Chuva:** Medida em milímetros da porção de chuva na superfície da Mina S11D no dia e horário da observação. 1 mm de chuva aferida equivale ao volume de 1 litro (L) de água de chuva, que se acumula sobre uma superfície de área igual a 1 metro quadrado.

- **Ponto de Orvalho:** Temperatura em graus Celsius (°C) do vapor de água presente no ar, na qual o vapor muda para estado líquido em gotas através de condensação, aferida na superfície da Mina S11D no dia e horário da observação.
- **Pressão Atmosférica:** Força exercida, por metro quadrado, decorrente da coluna de gás atmosférico acima da superfície terrestre medida em milímetro mercúrio (mmHg), na superfície da Mina S11D no dia e horário da observação.

4.2.2.1 Obtenção dos dados

No sistema de monitoramento ambiental, o qual possui 3 estações pluviométricas no Complexo S11D, foram coletados os dados, em formato de arquivo TXT, da estação pluviométrica da região da mina, o qual é mais próxima da localização do transportador de correia TR-1085KS-01, para realização das análises climatológicas. A estação de monitoramento localizada na Mina S11D afere variáveis climatológicas e armazena a média dos valores de cada variável dentro do período de 1 hora. A Tabela 4 apresenta um exemplo de subconjunto de dados extraídos da estação pluviométrica da Mina S11D.

Tabela 4 - Exemplo de subconjunto de dados extraídos da estação pluviométrica da mina S11D

Data	Hora	Temperatura Externa (Temp Out) °C	Umidade Externa (Out Hum) %	Velocidade Vento (Wind Speed) m/s	Direção do Vento (Wind Dir) Ponto Cardeal	Chuva (Rain) mm	Ponto de Orvalho (Dew Pt) °C	Pressão Atmosférica (Bar) mmHg
13/03/17	13:00	22,6	85	3,2	E	0	23,5	758
13/03/17	14:00	24,8	77	3,2	E	0	24,1	756,8
13/03/17	15:00	25,1	72	1,6	ESE	0	23,5	755,8
13/03/17	16:00	23,3	82	1,6	ESE	0	23,8	755,2
13/03/17	17:00	22,9	86	1,6	ESE	0	23,4	754,8
13/03/17	18:00	22,2	88	1,6	ESE	0	23,3	755,1
13/03/17	19:00	21,2	89	1,6	E	0	23	755,3
13/03/17	20:00	21,1	92	1,6	ESE	0	23,1	756,3
13/03/17	21:00	20,4	96	1,6	SE	0	23	757,3
13/03/17	22:00	20,6	97	1,6	ESE	0	20,5	758,1
13/03/17	23:00	20,3	97	1,6	E	0	21,2	758,2
14/03/17	00:00	20,1	97	1,6	ESE	0	21	757,6
:	:	:	:	:	:	:	:	:

Fonte: elaborado pelo autor, (2020).

A tabela 5 apresenta a descrição dos dados das variáveis climatológicas.

Tabela 5 - Dados das variáveis climatológicas

Variáveis	Valores Válidos	Valores Ausentes	Mín	Máx	Média	Mediana	Variância	Desvio Padrão
1. Data	17.362	0	13/03/2017	17/03/2019	-	-	-	-
2. Hora	17.358	4	13:00	13:00	-	-	-	-
3. Temperatura Ambiente (°C)	16.873	489	17,80	35,20	24,48	24,10	8,03	2,83
4. Umidade Relativa do Ar (%)	6.826	10.536	0,00	100,00	56,93	53,00	752,22	27,43
5. Velocidade do Vento (m/s)	17.087	275	0,00	14,50	2,09	1,60	6,22	2,49
6. Direção do Vento (Pontos Cardeais)	13.834	3.528	-	-	-	-	-	-
7. Chuva (mm)	17.337	25	0,00	77,47	0,29	0,00	4,74	2,18
8. Ponto de Orvalho (°C)	5.807	11.555	-37,80	28,30	16,31	18,30	57,64	7,59
9. Pressão Atmosférica (mmHg)	17.334	28	710,90	1013,10	760,10	757,20	884,47	29,74

Fonte: elaborado pelo autor, (2020).

É importante salientar que os dados climatológicos coletados no período observado 13/março/2017 até 17/março/2019, tiveram influência do fenômeno sazonal La Niña [6] [7]. Conforme classificação do CPTEC / IMPE os dados do período chuvoso 2017/2018 tiveram uma classificação de influência do fenômeno La Niña Moderada [8].

4.2.3 Pré-processamento

4.2.3.1 União dos dados

Para consolidação do conjunto de dados da pesquisa, utilizamos as informações de data e hora como código identificador da união dos dois subconjuntos de dados (*dataframes*) das duas fontes de dados (PIMS Serra Sul e Estação Pluviométrica da Mina S11D). Entretanto como temos uma maior granularidade de dados na fonte de dados do PIMS Serra Sul (minuto a minuto), consideramos a repetição do valor médio aferido do intervalo de 1 hora da estação pluviométrica da Mina S11D (hora em hora), para compor o complemento da informação de minuto a minuto do PIMS Serra Sul. A Tabela 3 mostra um exemplo dessa consolidação da base de dados de pesquisa:

Tabela 6 - Subconjunto da consolidação da base de dados da pesquisa

Data	Hora	STS _C	WIT_RA TE t/h	Tempera tura Externa (Temp Out) °C	Umidade Externa (Out Hum) %	Velocidade Vento (Wind Speed) m/s	Direção do Vento (Wind Dir) Ponto Cardeal	Chuva (Rain) mm	Ponto de Orvalho (Dew Pt) °C	Pressão Atmosfé rica (Bar) mmHg
13/03/17	14:00:00	12	1933,32	24,8	77	3,2	E	0	24,1	756,8
13/03/17	14:01:00	12	1971,17	24,8	77	3,2	E	0	24,1	756,8
13/03/17	14:02:00	12	1551,6	24,8	77	3,2	E	0	24,1	756,8
13/03/17	14:03:00	12	2134,92	24,8	77	3,2	E	0	24,1	756,8
13/03/17	14:04:00	12	2095,48	24,8	77	3,2	E	0	24,1	756,8
13/03/17	14:05:00	12	2464,73	24,8	77	3,2	E	0	24,1	756,8
:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:
13/03/17	15:00:00	12	1777,35	25,1	72	1,6	ESE	0	23,5	755,8
13/03/17	15:01:00	12	1753,05	25,1	72	1,6	ESE	0	23,5	755,8
13/03/17	15:02:00	12	2450,78	25,1	72	1,6	ESE	0	23,5	755,8
13/03/17	15:03:00	12	2280,89	25,1	72	1,6	ESE	0	23,5	755,8
13/03/17	15:04:00	12	2092,95	25,1	72	1,6	ESE	0	23,5	755,8
13/03/17	15:05:00	12	2476,62	25,1	72	1,6	ESE	0	23,5	755,8
:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:

Fonte: elaborado pelo autor, (2020).

Conforme detalhado nas tabelas 2 e 5, linhas do conjunto de dados da pesquisa, com valor de alguma variável Não Disponível (NA), foram removidos da formação do conjunto de dados das análises, reduzindo o número de observações do conjunto de dados total final. Em função de problemas técnicos na estação pluviométrica da Mina S11D, nos meses de Novembro/18, Fevereiro/19 e Março/19, houve redução da disponibilidade de dados para utilização nas análises.

4.2.3.2 Variáveis temporais

A partir da estrutura do conjunto de dados da pesquisa formado, algumas adaptações foram necessárias para realização das análises de dados. A introdução da coluna mês, em número inteiro com valor de 1 a 12, respectivo ao mês do ano, para referenciar o mês da realização da leitura dos dados e identificar a qual período climático sazonal do ano a leitura faz parte.

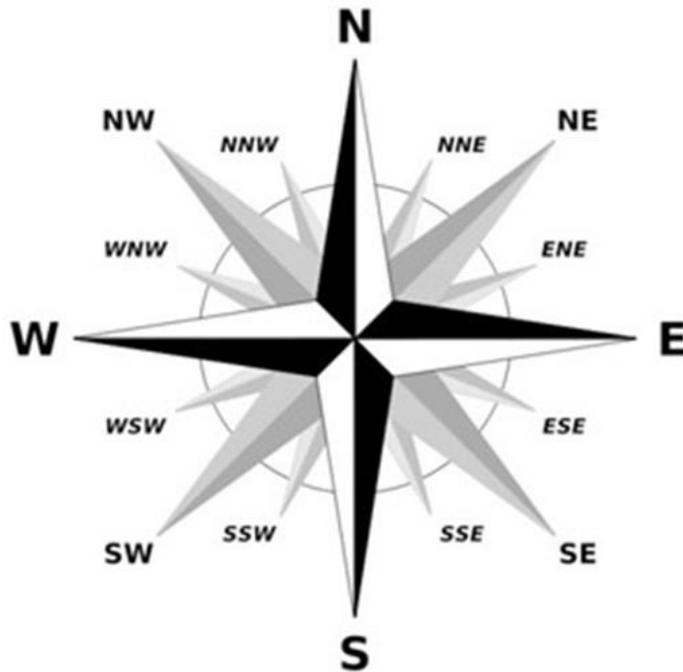
As informações de minutos e horas para análises de dados foram desconsideradas no conjunto de dados da pesquisa por não influenciar na análise do processo produtivo, o qual deve ser o mais contínuo possível e com taxas de produção o mais próximo da capacidade nominal do equipamento.

4.2.3.3 Variável direção do vento

Em função da rosa dos ventos da Figura 15, convertemos a informação da direção do vento (Win Dir) de texto dos pontos cardeais em números inteiros, seguindo o sentido horário a partir da direção Norte (N) como posição inicial do identificador da direção do vento correspondente.

Figura 15 - Correspondência da direção do vento (Win Dir) e identificador numérico das análises.

Id	Direção do Vento
1	N
2	NNE
3	NE
4	ENE
5	E
6	ESE
7	SE
8	SSE
9	S
10	SSW
11	SW
12	WSW
13	W
14	WNW
15	NW
16	NNW



Fonte: elaborado pelo autor, (2020).

4.2.3.4 Conjunto de dados final

Formamos a estrutura do conjunto de dados final com **10 variáveis** de leitura de dados e **311.662 registros** de observações para realização das análises. Na Tabela 7 é demonstrada a estrutura final com alguns dados lidos no mês de março (3).

Tabela 7 - Estrutura final de um subconjunto de dados da pesquisa

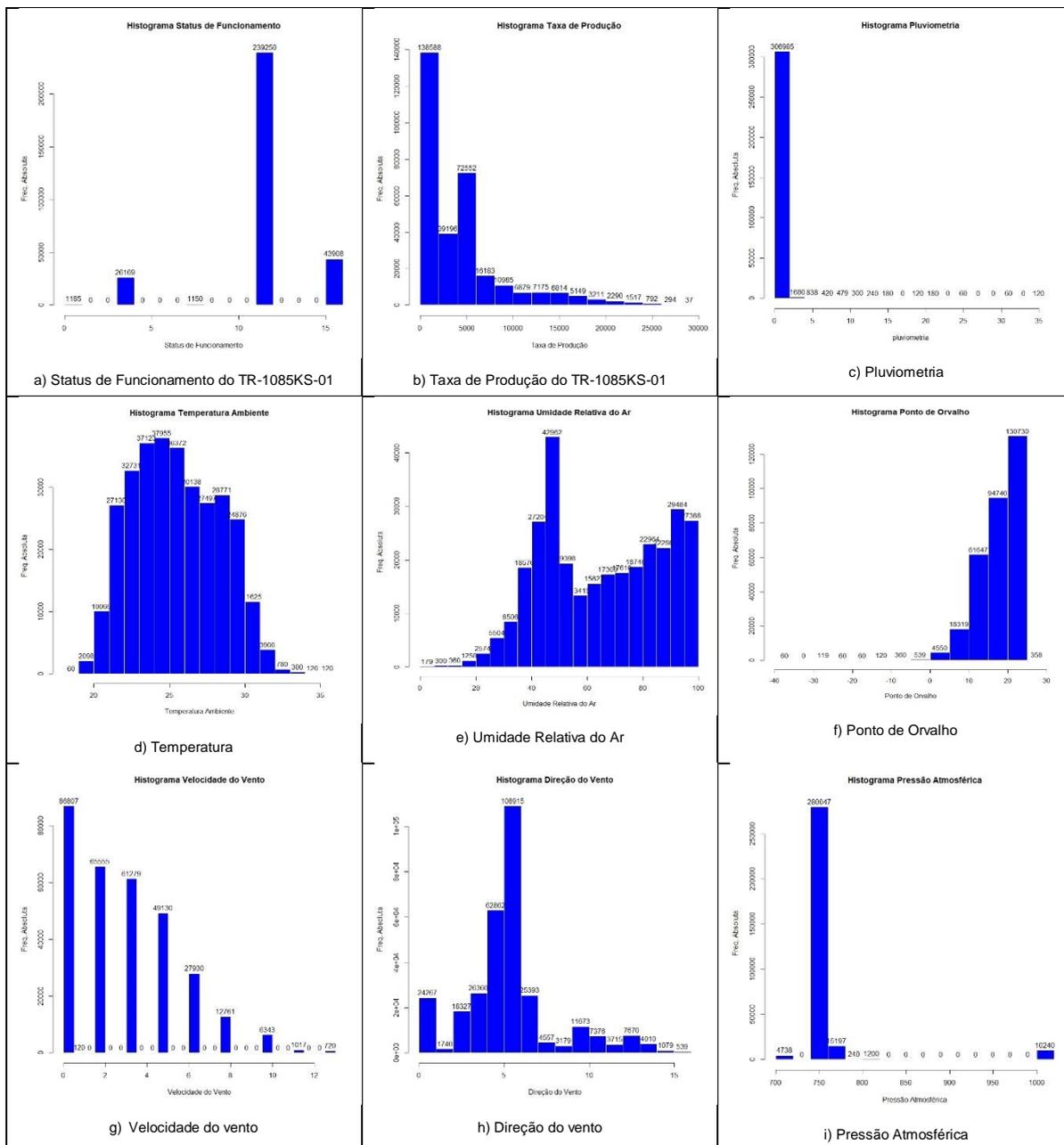
STS_C	WIT_RA TE t/h	Tempera tura Externa (Temp Out) °C	Umidad e Externa (Out Hum) %	Velocida de Vento (Wind Speed) m/s	Direção do Vento (Wind Dir) Ponto Cardeal	Chuva (Rain) mm	Mês	Ponto de Orvalho (Dew Pt) °C	Pressão Atmosf érica (Bar) mmHg
12	1933,32	24,8	77	3,2	5	0	3	24,1	756,8
12	1971,17	24,8	77	3,2	5	0	3	24,1	756,8
12	1551,6	24,8	77	3,2	5	0	3	24,1	756,8
12	2134,92	24,8	77	3,2	5	0	3	24,1	756,8
12	2095,48	24,8	77	3,2	5	0	3	24,1	756,8
12	2464,73	24,8	77	3,2	5	0	3	24,1	756,8
:	:	:	:	:	:	:	:	:	:
12	1777,35	25,1	72	1,6	6	0	3	23,5	755,8
12	1753,05	25,1	72	1,6	6	0	3	23,5	755,8
12	2450,78	25,1	72	1,6	6	0	3	23,5	755,8
12	2280,89	25,1	72	1,6	6	0	3	23,5	755,8
12	2092,95	25,1	72	1,6	6	0	3	23,5	755,8
12	2476,62	25,1	72	1,6	6	0	3	23,5	755,8
:	:	:	:	:	:	:	:	:	:

Fonte: elaborado pelo autor, (2020).

4.2.3.5 Distribuição de frequência dos dados

Os histogramas da Figura 16 apresentam as distribuições de frequência do conjunto de dados final das variáveis da pesquisa, não considerando os valores indisponíveis.

Figura 16 - Histogramas das variáveis da Pesquisa: a) Status de Funcionamento, b) Taxa de Produção, c) Pluviometria, d) Temperatura, e) Umidade Relativa do Ar, f) Ponto de Orvalho, g) Velocidade do Vento, h) Direção do Vento e i) Pressão Atmosférica.



Fonte: elaborado pelo autor, (2020).

A Tabela 8 apresenta a descrição do conjunto de dados final das variáveis após pré-processamento

Tabela 8 - Descrição do conjunto de dados final das variáveis

Variáveis	Mín	Máx	Média	Mediana	Variância	Desvio Padrão
1. STS_C	-	-	-	-	-	-
2. WIT_RATE (t/h)	0	28.496	3.933	2.586	24.602,59 4	4960,10
3. Temperatura Ambiente °C	18,70	35,10	25,47	25,30	8,16	2,86
4. Umidade Relativa do Ar (%)	2	100	65,78	65,00	467,01	21,61
5. Velocidade do Vento (m/s)	0	12,90	2,89	3,20	6,85	2,62
6. Direção do Vento (Pontos Cardeais)	-	-	-	-	-	-
7. Chuva (mm)	0	35,56	0,14	0,00	1,85	1,36
8. Mês	-	-	-	-	-	-
9. Ponto de Orvalho (°C)	-35,40	28,30	17,54	18,90	24,61	4,96
10. Pressão Atmosférica (mmHg)	710,9 0	1.013,10	765,4	757,7	2.070,70	45,50

Fonte: elaborado pelo autor, (2020).

4.2.3.6 Ferramentas de apoio

As ferramentas utilizadas para apoio ao tratamento dos dados, testes e produção de gráficos estatísticos, contidos nas fases da metodologia, foram: software R versão 3.6.1 [9], MS-Excel e MS-Access versão 2013 [10].

4.3 METODOLOGIA

No desenvolvimento do trabalho de pesquisa, seguimos o método de análise exploratória de dados para encontrar respostas, através dos dados, que comentem sobre o funcionamento do transportador de correia TR-1085KS-01 sob condições climáticas chuvosas. Seguimos as 5 etapas da análise exploratória de dados de Tukey, John W. [11]: *1 – Indicação da hipótese e/ou questão a ser investigada, 2 – Projeto do experimento para responder à pergunta, 3 – Coleta de dados de acordo com o experimento planejado, 4 – Realização de análise estatística dos dados, 5 – Produção da resposta para hipótese ou pergunta.*

4.3.1 Indicação da hipótese e/ou questão a ser investigada

Na primeira etapa de *Indicação da hipótese e/ou questão a ser investigada* é o funcionamento do Transportador de Correia TR-1085KS-01 em períodos chuvosos. O

transporte e manuseio desse minério mais hidratado, ao longo das etapas do processo, tem efeitos prejudiciais nos equipamentos industriais e conseqüentemente o fluxo de produção é interrompido mais frequentemente. O transportador de correia TR-1085KS-01 é bastante importante para a produção da mina S11D e compreender a influência das chuvas nas paradas operacionais desse equipamento é de grande valia para Vale S/A.

4.3.2 Projeto do experimento para responder à pergunta

A etapa de *Projeto do experimento para responder à pergunta*, planejamos utilizar dados de sistemas de monitoramento climatológico ambiental, localizado na mina S11D, e dados de sistema de monitoramento do processo industrial (PIMS), o qual armazena informações do comportamento operacional do equipamento Transportador de Correia TR-1085KS-01. Com esses dados podemos realizar análises de dados do funcionamento do transportador de correia TR-1085KS-01, sob influência climatológica na Mina S11D ao longo do tempo.

4.3.3 Coleta de dados de acordo com o experimento planejado

Na etapa de *Coleta de dados de acordo com o experimento planejado* acessamos o sistema PIMS, utilizando login e senha válidos do sistema, a fim de realizar consultas de dados com o módulo SQL Plus do PIMS Infoplus 21. Executamos consultas (queries) de extração dos dados das variáveis operacionais na periodicidade de 1 em 1 minuto, para obter as informações operacionais do equipamento, conforme comentado na seção 3.2.2.1 de obtenção dos dados operacionais do transportador de correia TR-1085KS-01.

Para os dados climatológicos foram coletados os dados em formato de arquivo TXT, extraídos da estação pluviométrica da região da mina S11D, a qual é mais próxima da localização do transportador de correia TR-1085KS-01, para realização das análises climatológicas. Os dados climatológicos são armazenados na estação pluviométrica na periodicidade de 1 em 1 hora, conforme citado na seção 3.2.2.1 de obtenção dos dados climatológicos.

4.3.4 Realização de análise dos dados

Na quarta etapa de *Realização de análise dos dados* utilizamos ferramentas estatísticas de análise de descritiva de dados, distribuição de frequência de

ocorrências, teste de normalidade e análises para determinar as correlações entre as variáveis, usando a linguagem de programação R [9].

4.3.5 Produção da resposta para hipótese ou pergunta

Por último na etapa de *Produção da resposta para hipótese ou pergunta*, apresentamos contribuições, discussões e conclusões para as análises de dados realizadas. Citamos as contribuições dessa pesquisa para apoiar em tomadas de decisão da gestão Vale S/A, a partir da identificação de intervalos de valores das relações dos dados para operação do transportador de correia TR-1085KS-01 na mina S11D, em que os resultados das análises podem contribuir para a gestão da Vale S/A avançar na compreensão de condições de paradas operacionais do transportador de correia TR-1085KS-01 sob influência dos efeitos climáticos.

5 ANÁLISES

5.1 TESTE DE NORMALIDADE

Nos dados da pesquisa há bastante valores repetidos e um grande volume de dados, logo optamos pelo teste de Kolmogorov-Smirnov para realizar o teste de hipótese nula. Esse teste estatístico não paramétrico visa quantificar a [distância](#) entre a função distribuição empírica da amostra e a [função distribuição acumulada](#) da distribuição de referência. A distribuição nula desta estatística é calculada sob a [hipótese nula](#) de que a amostra é retirada da distribuição de referência.

O teste de Kolmogorov-Smirnov foi testado em duas análises comparativas (H0 e H1), utilizando amostras de duas variáveis Chuva e Status de Funcionamento e Umidade Relativa do Ar e Status de Funcionamento. Os resultados foram respectivamente:

- Chuva e Status de Funcionamento (H0): $D = 0.98658$, $p\text{-value} < 2.2e-16$
- Umidade Relativa do Ar e Status de Funcionamento (H1): $D = 0.99654$, $p\text{-value} < 2.2e-16$

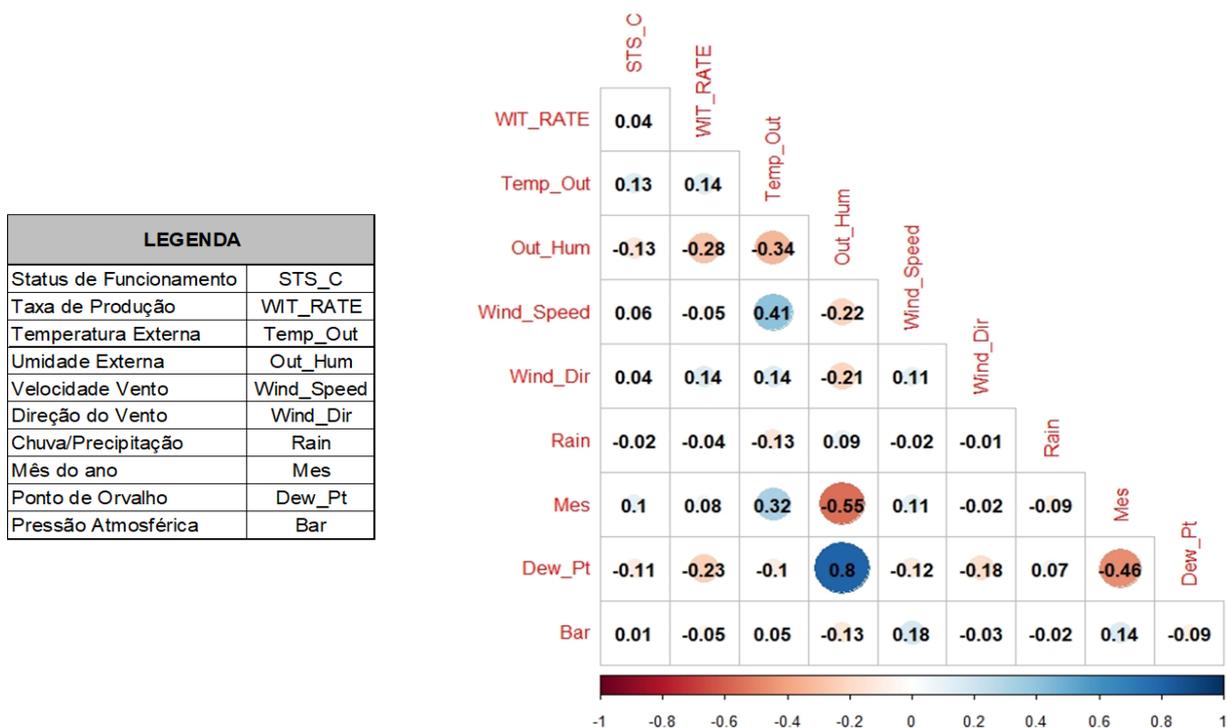
O resultado do teste Kolmogorov-Smirnov pode ser interpretado como a medida do grau de concordância entre os dados e a hipótese nula, sendo as hipóteses correspondentes à distribuição Normal. Logo para os valores de p-value encontrados não se pode admitir que o conjunto de dados em questão tenham distribuição Normal nas duas situações.

5.2 MATRIZ DE CORRELAÇÃO

Essa seção detalha as análises de correlações entre as variáveis selecionadas para a pesquisa descrita nesse documento.

Foram realizadas análises de correlações para identificar como as variáveis ambientais se relacionam com as variáveis da produção, a fim de investigar a influência em paradas de produção no transportador de correia TR-1085KS-01 e também checar a possibilidade de predição desses eventos em função das variáveis. Também foram realizadas análises de correlações entre as variáveis ambientais para entender seus relacionamentos. A Figura 17 apresenta a Matriz de correlação dos dados da Pesquisa, ilustrando os resultados dessas análises de forma sumarizada.

Figura 17 - Matriz de correlação dos dados da Pesquisa



Fonte: elaborado pelo autor, (2020).

Utilizando uma classificação qualitativa para os coeficientes de correlação [12], adotaremos os critérios de correlação abaixo para comentar as correlações das variáveis, são eles:

- **Fraca:** Valor absoluto de r entre 0,0 e 0,1.
- **Moderada:** Valor absoluto de r entre 0,2 e 0,4.
- **Forte:** Valor absoluto de r entre 0,4 e 1,0.

De forma geral os dados apresentaram correlações fracas, coeficientes de Pearson (r) com valores absolutos de correlações próximos de zero.

A correlação entre a Umidade Relativa do Ar e o Ponto de Orvalho apresentou o maior valor (0,8) de coeficiente Pearson (r). Essa é uma relação direta para o cálculo de saturação de água presente no ar, a fim de acontecer o fenômeno do orvalho. A temperatura de ponto de orvalho é a temperatura até à qual o ar úmido deve ser arrefecido, a pressão e razão de mistura constantes, para que atinja a saturação em relação à água líquida. A temperatura de ponto de orvalho é um bom indicador da quantidade de água existente numa parcela de ar [13].

Pode-se notar que os demais coeficientes de correlação forte estão relacionados a variável do mês do ano, seguindo as características climáticas da sazonalidade do ano, correspondente a região amazônica [14] [7].

A partir da variável Mês do ano as correlações respectivas com Temperatura Ambiente, Umidade Relativa do Ar e Ponto de Orvalho foram: $r = 0,32$, $r = -0,55$ e $r = -0,46$. Isso mostra uma correlação de moderada para forte entre as variáveis.

As variáveis climatológicas Temperatura Ambiente, Umidade Relativa do Ar, Velocidade do Vento, Direção do Vento apresentaram correlação moderada e demonstradas na Tabela 5 abaixo:

Tabela 9 - Coeficientes de Correlação Moderados – Tabela de Coeficientes Pearson

Correlações Moderadas	Coeficiente Pearson (r)
Umidade X Direção do vento	-0,21
Umidade X Velocidade do vento	-0,22
Temperatura Ambiente X Umidade Relativa do Ar	-0,34
Temperatura Ambiente X Velocidade do vento	0,41

Fonte: elaborado pelo autor, (2020).

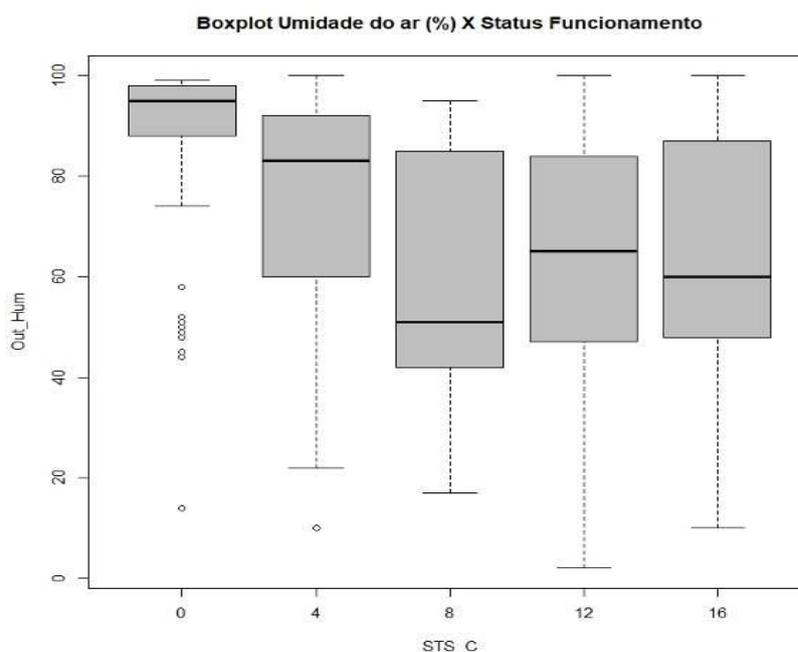
Observando as variáveis relacionadas ao funcionamento do Transportador de Correia TR-1085KS-01, identifica-se que correlação da taxa de produção (t/h) possui correlação moderada de $-0,28$ em relação a Umidade Relativa do Ar e um pouco menos de $-0,23$ em relação ao Ponto de Orvalho. Pequenas são as correlações do Status de Funcionamento do Transportador de Correia TR-1085KS-01 em relação a qualquer outra variável do conjunto de dados da pesquisa.

5.3 ANÁLISES DE CORRELAÇÕES ENTRE AS VARIÁVEIS CLIMATOLÓGICAS E DE PRODUÇÃO

Pretende-se detalhar se existem correlações significativas entre a pluviometria, umidade relativa do ar, status de funcionamento e taxa de produção do Transportador de Correia.

A Figura 18 abaixo ilustra o *Boxplot* [15] que retrata a frequência de ocorrências dos diferentes status de funcionamento do transportador de correia em função da variação da umidade relativa do ar. Nota-se que os status em funcionamento (valores 8 e 12 no eixo das abscissas) reduzem a frequência de ocorrência quando a umidade relativa do ar se torna superior a 85%.

Figura 18 - Boxplot de Status de Funcionamento do TR-1085KS-01 e Umidade Relativa do Ar

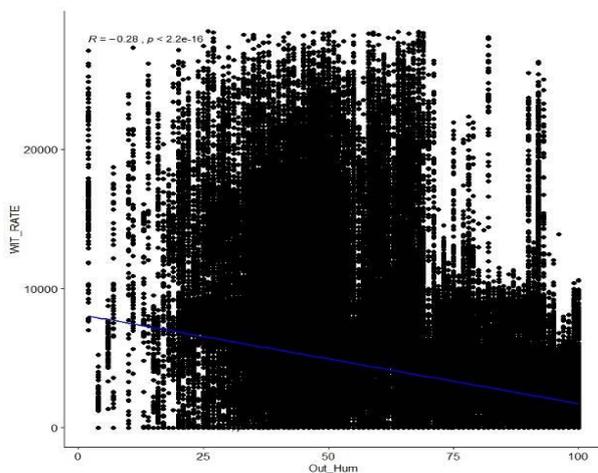


Fonte: elaborado pelo autor, (2020).

Também podemos identificar na Figura 19 que a Taxa de Produção Transportador de Correia TR-1085KS-01 reduz consideravelmente nos limiares de 75% de Umidade Relativa do Ar. Os valores elevados de uma maior porção de água na atmosfera da Mina S11D, refletem em valores de taxa de produção menores e maior frequência de status de funcionamento em parado para o Transportador de Correia TR-1085KS-01. O valor $R = -0,28$ do coeficiente de Pearson, indica uma correlação moderada entre as variáveis para afirmar que uma variável define o

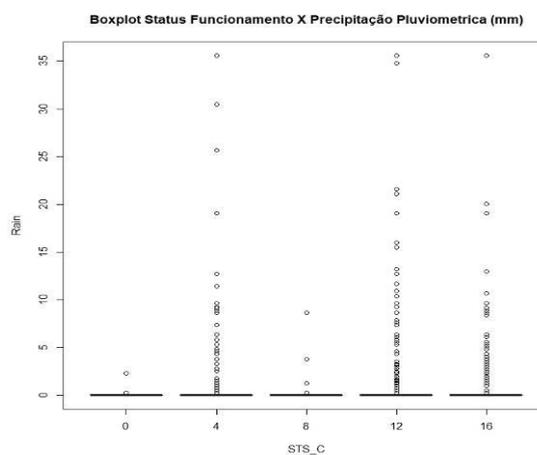
comportamento da outra. O teste de hipótese nula indicou o valor $p < 2,2 \times 10^{-16}$, mostrando que as duas variáveis não se relacionam linearmente. Observa-se o *Boxplot* na Figura 20 que a frequência do status em funcionamento (valores 8 e 12 no eixo das abscissas) do Transportador de Correia TR-1085KS-01, acontece em poucas situações de ocorrência de chuva, tendendo o transportador de correia apenas a movimentar o minério de ferro quando não há ocorrências de chuvas (pluviometria tende a 0).

Figura 19 - Regressão linear da Umidade Relativa do Ar e Taxa de Produção do TR-1085KS-01



Fonte: elaborado pelo autor, (2020).

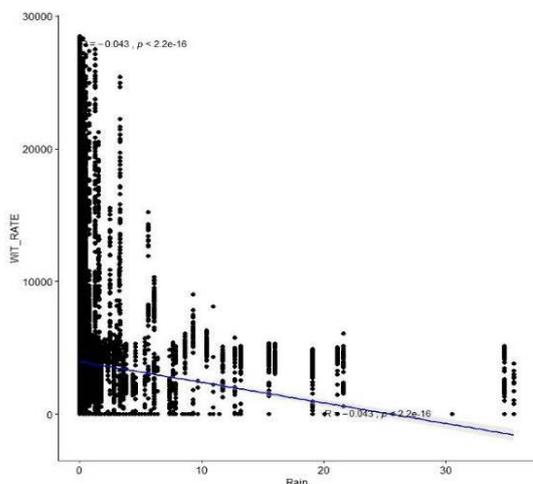
Figura 20 - Boxplot de Status de Funcionamento do TR-1085KS-01 e Pluviometria



Fonte: elaborado pelo autor, (2020).

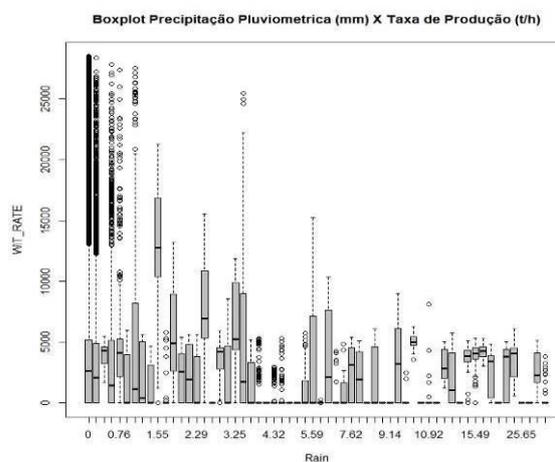
Observando a Figura 21, as Taxas de Produção se aproximam de zero a medida que as precipitações pluviométricas aumentam, representados pela concentração dos percentis com valores próximos de zero. O valor $R = -0,043$ do coeficiente de Pearson, indica uma correlação fraca entre as variáveis para afirmar que uma variável define o comportamento da outra. O teste de hipótese nula indicou o valor $p < 2,2 \times 10^{-16}$, mostrando que as duas variáveis não se relacionam linearmente. No *Boxplot* da Figura 22, as precipitações pluviométricas acima de 5,59 mm sugerem que a Taxa de Produção não ultrapasse 5.000 t/h. Têm-se mais uma influência de água na atmosfera da Mina S11D, refletindo em valores menores de taxa de produção.

Figura 21 - Regressão linear da Pluviometria e Taxa de Produção do TR-1085KS-01



Fonte: elaborado pelo autor, (2020).

Figura 22 - Boxplot de Pluviometria e taxa de produção do TR-1085KS-01



Fonte: elaborado pelo autor, (2020).

6 CONTRIBUIÇÕES

O resultado dessa investigação identificou duas contribuições a respeito do comportamento operacional do transportador de correia TR-1085KS-01 durante a produção do minério de ferro sob influência do clima tropical na área da Mina do Complexo S11D:

A precipitação pluviométrica ocasiona frequentemente paradas operacionais, havendo nessas ocasiões poucos momentos de transporte de minério de ferro com fluxo produtivo contínuo no TR-1085KS-01. No período observado da pesquisa, houve registro de parada operacional com a pluviometria mínima de 0,25 mm. Não significa que essa pluviometria seja suficiente para afirmar que o transporte de minério não seja possível, entretanto nessa magnitude de chuva já houve a interrupção o fluxo contínuo do transporte de minério;

A umidade relativa do ar é uma variável que interfere na operação do transportador de correia TR-1085KS-01 a partir de valores superiores a 75%, pois os valores da taxa de transporte de minério são reduzidos e se distanciam da capacidade nominal de 25.500 t/h de transporte de minério do equipamento. Também é observado que o status em funcionamento do TR-1085KS-01 reduz sua frequência de operação, quando a umidade relativa do ar se torna superior a 85%. Portanto a umidade relativa do ar também é um importante indicador para monitoramento das condições de paradas operacionais, mesmo sem haver a influência de chuvas.

7 DISCUSSÃO

Esta pesquisa abre espaço para avançar o estudo de paradas operacionais no transportador de correia TR-1085KS-01 na Mina S11D com uso de técnicas de engenharia de confiabilidade de ativos [16], as quais analisam variabilidades das variáveis operacionais de temperatura e vibração dos componentes constitutivos do equipamento principal transportador de correia TR-1085KS-01. Essas técnicas descrevem no domínio do tempo e da frequência formas de ondas que podem indicar comportamentos de condições operacionais propícias para haver as paradas do equipamento. Os sensores que registram nos componentes do equipamento as variáveis de temperatura e vibração não estavam disponíveis no equipamento para coleta de dados nessa pesquisa, a fim da utilização como fonte de dados para análises desse trabalho. Uma vez os sensores instalados, pode-se utilizar o sistema PIMS para armazenar os dados de temperatura e vibração gerados nos sinais eletrônicos dos sensores e repetir análises de dados juntamente com as variáveis climatológicas. Com intuito de aprofundar nas análises de dados, a estatística inferencial pode ser utilizada para buscar tirar conclusões a partir de uma fração das informações dos dados. A análise Bayesiana admite a existência de conhecimento, que os dados coletados não dão conta de prever, e que podem fazer diferença para a previsão das condições de paradas operacionais do transportador de correia TR-1085KS-01

A incidência de chuvas tem alta interferência na continuidade de operação do transportador TR-1085KS-01 no período observado. Em grande maioria, as taxas de produção diminuem para o intervalo de 5.000 t/h até 0 t/h, fazendo com que haja um status Parado do transportador de correia mais frequente e distante da capacidade nominal de ritmo de 25.500t/h da produção. Na Figura 21 se observa que independente do volume de precipitação (mm), há poucas ocorrências em que a operação se manteve com taxas de produção superiores a 5.000 t/h. Esse é um aspecto relevante para considerar para um planejamento operacional de produção, avaliando ajustes na taxa de produção a ritmos inferiores a 5.000 t/h, a fim de manter uma maior continuidade do fluxo de produção do transportador, mesmo com taxas reduzidas de t/h, porém com menor incidência de eventos de paralização completa do TR-1085KS-01 e uma operação mais contínua e sem quebras de ritmos de alimentação da pilha pulmão.

Os dados do período observado apresentaram um aumento da interferência da umidade relativa do ar na operação do transportador de correia TR-1085KS-01.

Quando os valores de umidade estão nos limiares 75% ou concentrados no intervalo entre 75% e 85% de umidade relativa do ar, as taxas de produção são bastante reduzidas e há mais ocorrências de paralisações no transporte de minério de ferro. Poucas ocorrências de produção puderam ser observadas entre de 85% até 100% do intervalo umidade relativa do ar. Logo apesar de haver ou não a precipitação pluviométrica na região da mina S11D, o indicador de umidade relativa do ar pode sinalizar uma possível condição de parada mais frequente do transportador de correia TR-1085KS-01 e sua magnitude servir de referência para as programações de produção e ajustes da taxa de produção do TR-1085KS-01 a valores inferiores a 5.000 t/h.

O minério de ferro ou canga ferruginosa quando em estado de polpa ou lama, ocasiona entupimentos de equipamentos e derramamentos internos de pilhas de minério de estocagem intermediária no interior da estrutura do prédio da Pilha Pulmão, apresentada na Figura 4. Em situações de muita umidade, a operação com minério a pequenas taxas de produção, menores que 5.000 t/h, podem contribuir para reduzir essas situações. Os derramamentos e entupimentos promovem a necessidade de limpezas industriais mais frequentes. Essas limpezas nos interiores do prédio da pilha pulmão são consideradas atividades em espaço confinado pela NBR 16577:2017 [17] e havendo uma menor frequência das limpezas industriais, reduziria a exposição de pessoas a essas atividades de risco à saúde ocupacional. Além disso a captação de água para limpeza industrial, advém de outorgas no Complexo S11D, inserido na floresta nacional de Carajás, que segue o cumprimento da lei federal no 9.433/1997 [18] de política nacional de recursos hídricos. A Vale S/A é responsável pelo volume captado de água superficial e também pelos efluentes lançados em rios. No Pará a Vale S/A paga mensalmente a TFRH (Taxa de Fiscalização de Recursos Hídricos), estabelecida na lei estadual no 8091/2014 da SEMAS-PA [19]. Logo contribuir para reduzir a captação e consumo de água (*footprint*) para as limpezas industriais, significa reduzir pagamentos de taxas e atuar de forma responsável com o meio ambiente, segundo o objetivo número 6 do desenvolvimento sustentável da ONU [20].

Sob a óptica da engenharia da manutenção, o indicador da umidade pode auxiliar a analisar a condição de realização de atividades de emendas da borracha da correia transportadora, processo de vulcanização [21] [22]. do transportador de correia TR-1085KS-01. Essas atividades são executadas no local e ao ar livre, sendo recomendado que a temperatura de fechamento da emenda de borracha da correia

deve estar 5 °C acima da temperatura ambiente. Fabricantes de correia transportadora recomendam cuidados com o enclausuramento da emenda, utilizar aquecedores de ambiente, sopradores térmicos e evitar executar a atividade da emenda da borracha da correia a temperaturas ambiente inferiores a 18 °C e umidade relativa do ar acima de 90%. [22]. Nos dados do dia 21/03/2017 do período observado, houve registro que a temperatura ambiente atingiu 18,7 °C e umidade relativa do ar 90% na mina S11D.

Também com perspectiva da manutenção, o efeito da abrasividade do minério de ferro pode ser avaliado e comparada a taxa de desgaste da borracha da correia transportadora, sob influência da umidade contida no minério de ferro, visto que o minério de ferro possui uma classificação de um material extremamente abrasivo [21].

8 CONCLUSÃO

Um diferencial competitivo para Vale S/A é conhecer cada vez mais o meio ambiente das operações em Carajás, especialmente da Mina do Complexo S11D que possui relevância significativa para os interesses econômicos da companhia. Tecnologias que contribuam para catalogar dados climatológicos e descrevam suas variações, que influenciam nas atividades operacionais e indicadores de gestão de produção, são fundamentais para companhia se manter e superar outros competidores de mercado.

Integrar as fontes de dados dos sistemas industriais e de monitoramento ambiental é um caminho para potencializar análises de programações da produção e manutenção mais completas e assertivas aos objetivos empresariais.

Os dados da pesquisa apresentaram a influência da pluviometria e umidade relativa do ar no manuseio e transporte de minério de ferro na Mina do Complexo S11D. Entretanto no período observado não houve alicerce para avançar num modelo de análise preditiva, pois com os dados coletados, as paradas operacionais no transportador de correia TR-1085KS-01 não se descreveram em função das variáveis dessa pesquisa. Avaliamos que dados que informem a características da litologia do minério de ferro transportado no transportador de correia TR-1085KS-01 é uma informação importante para ser considerada em trabalhos futuros, pois a variação da quantidade de hidróxido de alumínio ($\text{Al}(\text{OH})_3$) na composição da canga ferruginosa poderá indicar uma maior absorção de água a partir da umidade relativa do ar.

A análise prescritiva dessa pesquisa elucidou a concentração de valores de pluviometria e umidade relativa do ar que promovem limiares de interferências operacionais, que por sua vez podem ser incorporadas para atividades de programações da operação e manutenção da Vale S/A no Complexo S11D. Ter operações contínuas do transportador de correia TR-1085KS-01 é o melhor cenário produtivo, seguindo parâmetros técnicos e condições de funcionamento dentro das especificações de projeto desse equipamento. Equipamentos com operação superior a seus parâmetros técnicos recomendados de projeto, abreviam tempo de vida útil, antecipam paradas por manutenções corretivas e elevam custo operacionais [23].

Desdobramentos das programações de operação e manutenção com melhor embasamento de informações podem refletir em melhorias de indicadores de gestão sustentável para Vale S/A, como a redução de consumo e custo de tarifas de captação da água destinada a limpeza industrial, além de evitar situações de riscos de saúde ocupacional para pessoas durante a execução das limpezas industriais no ambiente confinado do interior do prédio do TR-1085KS-01.

REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5462: Confiabilidade e manutenibilidade: Terminologia**. Rio de Janeiro, 1994 p.2-3.
- _____. **NBR 16577: Espaço Confinado – Prevenção, Procedimentos e Medidas de Proteção: Terminologia**. Rio de Janeiro, 2017. p. 8-9.
- BRASIL. **Lei Federal No 9.433, de 8 de janeiro de 1997**. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L9433.htm. Acesso em: 23 jun. 2020
- BRASIL. PARÁ. **Lei Estadual No 8091, de 29 de dezembro de 2014**. Institui a Taxa de Controle, Acompanhamento e Fiscalização das Atividades de Exploração e Aproveitamento de Recursos Hídricos – TFRH. Disponível em: <https://www.semas.pa.gov.br/2014/12/30/l-e-i-no-8-091-de-29-de-dezembro-de-2014-publicado-no-doe-no-32-796-de-30122014/>. Acesso em: 23 jun. 2020
- CARVALHO, P. S. L.; MARCO, M. M. S.; ROCIO, M. A. R.; MOSZKOWICZ, J. **Insumos Básicos**, BNDES Setorial 39, Minério de Ferro (p.197-234), pp.199, pp.213. Disponível em: www.bndes.gov.br/SiteBNDES/export/sites/default/...pt/.../set3906.pdf. Acesso em: 17 set. 2018.
- CAVALCANTI, Iracema Fonseca A.; FERREIRA, Nelson J.; SILVA, Maria G. A. J.; DIAS, Maria A. F. S. **Tempo e Clima no Brasil**. São Paulo: Editora Oficina de Textos, 2009.
- COTA, Eduardo. **Implementação e avaliação de técnicas de odometria aplicadas a um dispositivo robótico móvel**. 2019. Dissertação (Mestrado) - Instituto Tecnológico Vale, Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto, 2019.
- ELETROBRÁS *et al.* **Guia Básico**. CNI - Confederação Nacional da Indústria. Edição Seriada Procel Indústria. Brasília: Correias Transportadoras, 2009.
- HASTIE, Trevor; TIBSHIRANI, R.; FRIEDMAN, Jerome. **The Elements of Statistical Learning – Data Mining, Inference, and Prediction**. 2. ed. Springer, 2017.
- KARDEC, Alan; NASCIF, Julio. **Manutenção Preditiva - Fator de Sucesso na Gestão Empresarial**. EQualitymark, 2013.
- LAAN, B. Z. V. D. System reliability analysis of belt conveyor. Literature of Delft University of Technology, 2016.
- LIKER, J. K. **O Modelo Toyota – 14 Princípios de gestão do maior fabricante do mundo**. Editora Bookman, 2005.
- MARTINEZ, Wendy L.; MARTINEZ, Angel R.; SOLKA, Jeffrey L. Exploratory data analysis with Matlab, 3. ed. Ed. CRC Press, 2017.

MIRANDA, J. A. G. **Efeito da sazonalidade climática regional na produção de minério de ferro da Vale em Carajás - Pará**. 2016. Dissertação (Mestrado Profissional em Uso Sustentável dos Recursos Naturais em Regiões Tropicais) - Instituto Tecnológico Vale. Belém, 2016.

NEPOMUCENO, L. X. **Técnicas de Manutenção Preditiva**. Editora Blucher, 1989. (volume 1).

ORGANIZAÇÕES DAS NAÇÕES UNIDAS. **Objetivos do Desenvolvimento Sustentável número 6**. 2015. Disponível em: <https://nacoesunidas.org/pos2015/ods6/>. Acesso em: 23 jun. 2020.

PROVOST, F., FAWCETT, T. **Data Science para negócios – O que você precisa saber sobre mineração de dados e pensamento analítico de dados**. Alta Books Editora, 2016. p.4-7.

RIBEIRO, André Afonso *et al.* **Plano de pesquisa geossistemas ferruginosos da Floresta Nacional de Carajás**. Brasília: ICMBIO 2017. ISBN 9788561842710. Disponível em: https://www.icmbio.gov.br/portal/images/stories/plano_de_pesquisa_flona_carajas_-_06-09-2017_-_final_2.pdf. Acesso em: 23 jun. 2020.

SELIGER, G. **Sustainability in Manufacturing – Recovery of Resources in Product and Material Cycles**. Editora: Springer pp.357-358 (2007)

SÍTIO ABB, Sistema 800XA. Disponível em: <https://new.abb.com/control-systems/system-800xa>. Acesso em: 23 jun. 2020.

SÍTIO Aspen Technology, Sistema InfoPlus 21. Disponível em: <https://www.aspentech.com/en/products/msc/aspen-infoplus21>. Acesso em: 23 jun. 2020.

SÍTIO CPTEC do INPE, ENOS. 2016. Disponível em: <http://enos.cptec.inpe.br/>. Acesso em: 23 jun. 2020.

SÍTIO Davis Instruments, **Estação Pluviométrica modelo Vantage Vue** Disponível em: <https://www.davisinstruments.com/vantage-vue/>. Acesso em: 23 jun. 2020

SÍTIO Microsoft Corporation, MS-Office 2013. Disponível em: <https://www.microsoft.com/pt-br/microsoft-365/previous-versions/microsoft-office-2013>. Acesso em: 23 jun. 2020.

SÍTIO “The R Project for Statistical Computing”, versão 3.6.1. Disponível em: <http://www.r-project.org/>. Acesso em: 15 mar. 2019.

SÍTIO Vale, Complexo Industrial S11D. Disponível em: <http://www.vale.com/hotsite/PT/Paginas/major-projeto-da-historia-da-mineracao-completa-um-ano-de-operacao.aspx>. Acesso em: 16 set. 2018.

SHELTON, M. L. **Hydroclimatology – Perspectives and Applications**. Cambridge University Press, 2009. 2009.

SHORTELL, T. Sociology, Brooklyn College. Disponível em: <http://academic.brooklyn.cuny.edu/soc/courses/712/chap18.html>. Acesso em: 23 jun. 2020.

SOUZA, E. B.; FERREIRA, D. B. S.; GUIMARAES, J. T. F.; FRANCO, V. S., AZEVEDO, F. T. M.; SOUSA, P. J. O. P. Padrões climatológicos e tendências da precipitação nos regimes chuvoso e seco da Amazônia oriental. Artigo científico do Instituto Tecnológico Vale (ITV) e Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA). **Revista Brasileira de Climatologia**. 2017.

SOUZA, Everaldo B.; KAYANO, Mary T.; TOTA, Julio; PEZZI, Luciano; FISCH, Gilberto; NOBRE, Carlos. On the influences of the el niño, la niña and atlantic dipole pattern on the amazonian rainfall during 1960-1998. **Acta Amazônica**, v. 30, n. 2, p. 305-318, 2000.

SWINDERMAN, R. T.; MARTI, A. D.; GOLDBECK, L. J.; MARSHALL, D.; STREBEL, M. G. **Foundations** - Guia Prático para um controle mais limpo, seguro e produtivo de pó e material a granel. Manual técnico da Martin Engineering Company. 4. ed. 2009.

SZIKSZAY, M. **Geoquímica das águas**. Artigo científico do Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo. 1993.

TALAIA, Mario; VIGÁRIO, Carlapp. **Temperatura de ponto de orvalho: um risco ou uma necessidade**. Imprensa da Universidade de Coimbra, 2016.

TUKEY, J. W. **Exploratory Data Analysis**. Addison-Wesley Publishing Company Inc. 1977. p. 39-46.

VALE. Diretoria de Comunicação e Relações Externas. **Editorial S11D Novos Caminhos para Mineração**. Disponível em: URL:

<http://www.vale.com/PT/initiatives/innovation/s11d/Documents/s11d-2016/assets/doc/revista-vale-s11d.pdf>. Acesso em: 07 set. 2017.

VIANA, H. R. G. **PCM - Planejamento e Controle da Manutenção**. Editora Qualitymark. 2013.

ZHAO, L.; LIN, Y. Typical failure analysis and processing of belt conveyor. **Procedia Engineering**, 2011. p.942-946.

APÊNDICES

APÊNDICE A - Lista de TAGs disponíveis do Transportador de Correia TR-1085KS-

01

Tipo de Dado	Tipo Sinal	TAG	Descrição
mili A (0 a 20)	Discreto	S11D_1085KS_TR_01_CM_STS_C	Status cabeça móvel TR-1085KS-01
binária	Discreto	S11D_1085KS_TR_01_CM_STS_C_AUX	Palavra binária do Status Cabeça Movel
N/A	Discreto	S11D_1085KS_TR_01_CM_STW_STS_C	Status sinalização de partida do cabeça móvel
constante 0 (binária)	Discreto	S11D_1085KS_TR_01_CM_STW_STS_C_AUX	Palavra binária do Status sinalização de partida do cabeça móvel
booleana	Discreto	S11D_1085KS_TR_01_EscorrAlto	Sinal de Escorregamento alto do encoder
booleana	Discreto	S11D_1085KS_TR_01_EscorrMuitoAlto	Sinal de Escorregamento muito alto do encoder
booleana	Discreto	S11D_1085KS_TR_01_FalhaRampParada	Sinal de Falha na rampa de parada (freio) do transportador
booleana	Discreto	S11D_1085KS_TR_01_FalhaSobreVel	Sinal de Falha de sobre velocidade do transportador
booleana	Discreto	S11D_1085KS_TR_01_FalhaSubVel	Sinal de Falha de subvelocidade do transportador
mili A (0 a 20)	Discreto	S11D_1085KS_TR_01_M01_MN_STS_C	Integração de Sistemas - Status do Motor M01 do transportador
binária	Discreto	S11D_1085KS_TR_01_M01_MN_STS_C_AUX	Palavra binária de Integração de Sistemas - Status do Motor M01 do transportador
mili A (0 a 20)	Discreto	S11D_1085KS_TR_01_M01_STS_C	Status de funcionamento Motor M01 do transportador
binária	Discreto	S11D_1085KS_TR_01_M01_STS_C_AUX	Palavra binária de Status de funcionamento Motor M01 do transportador
mili A (0 a 20)	Discreto	S11D_1085KS_TR_01_M02_MN_STS_C	Integração de Sistemas - Status do Motor M02 do transportador
binária	Discreto	S11D_1085KS_TR_01_M02_MN_STS_C_AUX	Palavra binária de Integração de Sistemas - Status do Motor M02 do transportador
mili A (0 a 20)	Discreto	S11D_1085KS_TR_01_M02_STS_C	Status de funcionamento Motor M02 do transportador
binária	Discreto	S11D_1085KS_TR_01_M02_STS_C_AUX	Palavra binária de Status de funcionamento Motor M02 do transportador
mili A (0 a 20)	Discreto	S11D_1085KS_TR_01_M03_MN_STS_C	Integração de Sistemas - Status do Motor M03 do cabeça móvel
binária	Discreto	S11D_1085KS_TR_01_M03_MN_STS_C_AUX	Palavra binária de Integração de Sistemas - Status do Motor M03 do cabeça móvel
mili A (0 a 20)	Discreto	S11D_1085KS_TR_01_M03_STS_C	Status de funcionamento Motor M03 do cabeça móvel
binária	Discreto	S11D_1085KS_TR_01_M03_STS_C_AUX	Palavra binária de Status de funcionamento Motor M03 do cabeça móvel
mili A (0 a 20)	Discreto	S11D_1085KS_TR_01_M04_MN_STS_C	Integração de Sistemas - Status do Motor M04 do cabeça móvel
binária	Discreto	S11D_1085KS_TR_01_M04_MN_STS_C_AUX	Palavra binária de Integração de Sistemas - Status do Motor M04 do cabeça móvel
mili A (0 a 20)	Discreto	S11D_1085KS_TR_01_M04_STS_C	Status de funcionamento Motor M04 do cabeça móvel
binária	Discreto	S11D_1085KS_TR_01_M04_STS_C_AUX	Palavra binária de Status de funcionamento Motor M04 do cabeça móvel
booleana	Discreto	S11D_1085KS_TR_01_PD	Previus Drive - Equipamento correlacionado em funcionamento (On/Off)
booleana	Discreto	S11D_1085KS_TR_01_SC_Falha	Sinal de falha no cabeça móvel do transportador
Real	Analogico	S11D_1085KS_TR_01_SC_OLLV	Nível da pilha pulmão
booleana	Discreto	S11D_1085KS_TR_01_SC_ONF1	Sinal ON/OFF do AL01 da pilha pulmão
booleana	Discreto	S11D_1085KS_TR_01_SC_ONF2	Sinal ON/OFF do AL02 da pilha pulmão
booleana	Discreto	S11D_1085KS_TR_01_SC_ONF3	Sinal ON/OFF do AL03 da pilha pulmão
booleana	Discreto	S11D_1085KS_TR_01_SC_ONF4	Sinal ON/OFF do AL04 da pilha pulmão
Real	Analogico	S11D_1085KS_TR_01_SC_Pos	Medição de Posicionamento da Cabeça Móvel - Posição (?) do encoder do cabeça móvel
Real	Analogico	S11D_1085KS_TR_01_SC_Vol1	Medição de nível da pilha (volume de material) no AL01 da pilha pulmão
Real	Analogico	S11D_1085KS_TR_01_SC_Vol2	Medição de nível da pilha (volume de material) no AL02 da pilha pulmão
Real	Analogico	S11D_1085KS_TR_01_SC_Vol3	Medição de nível da pilha (volume de material) no AL03 da pilha pulmão
Real	Analogico	S11D_1085KS_TR_01_SC_Vol4	Medição de nível da pilha (volume de material) no AL04 da pilha pulmão
binária	Discreto	S11D_1085KS_TR_01_STS_C_AUX	Palavra binária de status do transportador
N/A	Discreto	S11D_1085KS_TR_01_STW_STS_C	Status da sirene de partida do transportador
constante 0 (binária)	Discreto	S11D_1085KS_TR_01_STW_STS_C_AUX	Palavra binária da sirene de partida do transportador

APÊNDICE B - Código SQL utilizado para extração dos dados das TAGs no PIMS Serra Sul

```
local inicio, fim timestamp;
```

```
local tp integer;
```

```
local tag1, tag2 string;
```

```
--Tags consultadas
```

```
tag1 = 'S11D_1085KS_TR01_STS_C';
```

```
tag2 = 'S11D_1085KS_TR01_WIT_RATE';
```

```
--Periodo de amostragem da consulta
```

```
tp = cast('00:01:00' as int using 'dt12');
```

```
--Timestamp de inicio e de fim da consulta
```

```
inicio = cast('13-mar-17' as timestamp);
```

```
fim = cast('17-mar-19' as timestamp);
```

```
set value_between ',';
```

```
declare local temporary table MODULE.A(Name char(32), Value real, TS timestamp);
```

```
declare local temporary table MODULE.B(Name char(32), Value real, TS timestamp);
```

```
insert into MODULE.A
```

```
select name, value, ts from history where ts between inicio and fim and name = tag1 and period = tp;
```

```
insert into MODULE.B
```

```
select name, value, ts from history where ts between inicio and fim and name = tag2 and period = tp;
```

```
select * from MODULE.A join MODULE.B using (ts)
```