

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO CENTRO TECNOLÓGICO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

FELIPE SARNAGLIA DE ALMEIDA

SISTEMA DE MONITORAMENTO DE DESBALANCEAMENTO DE CORRENTE ENTRE MOTORES DE TRANSPORTADORES DE CORREIA DO PORTO DE TUBARÃO

VITÓRIA – ES JUNHO/2018

FELIPE SARNAGLIA DE ALMEIDA

SISTEMA DE MONITORAMENTO DE DESBALANCEAMENTO DE CORRENTE ENTRE MOTORES DE TRANSPORTADORES DE CORREIA DO PORTO DE TUBARÃO

Parte manuscrita de Projeto de Graduação do aluno **Felipe Sarnaglia de Almeida**, apresentado ao Departamento de Engenharia Elétrica do Centro Tecnológico da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito para obtenção do grau de Engenheiro Eletricista.

Orientador: Prof. Dr. Oureste Elias Batista Coorientador: Eng. Leonardo Elias Moschen Chisté

VITÓRIA – ES JUNHO/2018

FELIPE SARNAGLIA DE ALMEIDA

SISTEMA DE MONITORAMENTO DE DESBALANCEAMENTO DE CORRENTE ENTRE MOTORES DE TRANSPORTADORES DE CORREIA DO PORTO DE TUBARÃO

Parte manuscrita de Projeto de Graduação do aluno **Felipe Sarnaglia de Almeida**, apresentado ao Departamento de Engenharia Elétrica do Centro Tecnológico da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito para obtenção do grau de Engenheiro Eletricista.

Aprovada em 04 de Julho de 2018

COMISSÃO EXAMINADORA:

Prof. Dr. Oureste Elias Batista Universidade Federal do Espírito Santo Orientador

Eng. Leonardo Elias Moschen Chisté Vale Coorientador

Prof. Dr. Walbermak Marques dos Santos Universidade Federal do Espírito Santo Examinador

MSc. Ricardo Carminati de Mello Examinador

Agradecimentos

Agradeço a Vale por disponibilizar todos os recursos necessários para o desenvolvimento deste trabalho.

Resumo

Este trabalho tem como objetivo o desenvolvimento de um sistema que monitore o desbalanceamento de corrente entre motores de transportadores de correia. Assim como o estudo dos impactos nos equipamentos e rotina da manutenção. Todo o sistema foi desenvolvido usando o sistema *PIMS* e os impactos analisados pela metodologia de FTA, junto com um estudo de caso para ilustrar o problema. No fim concluiu-se que o sistema é prático e que impacta de forma positiva nas operações e manutenção do Porto de Tubarão.

Palavras-chave: desbalanceamento de corrente. transportador de correia. monitoramento. manutenção. confiabilidade.

Abstract

This work's purpose is to develop a system that monitors current imbalance between conveyors' motors, as well as the study of impacts on equipment and maintenance routine. The whole sistem was developed using the PIMS system and the impacts analyzed using FTA methodology, along with a case study to illustrate the problem. At the end it was concluded that the system is practical and has a positive impact on the operations and maintenance of the Tubarão Port.

Keywords: current unbalance. conveyor belt. monitoring. maintenance. confiability.

Lista de ilustrações

Figura 1 – Acionamento
Figura 2 – Curva Característica
Figura 3 – Acoplamento hidráulico de fluido constante
Figura 4 – Desbalanceamento de corrente
Figura 5 – Desligamento seguido de religamento
Figura 6 – Combinado de todas as telas
Figura 7 – Tela Principal
Figura 8 – Tela Overview
Figura 9 – Tela Gerencial
Figura 10 – Tela Gerenciamento Limite Máximo de Desbalanceamento 30 $$
Figura 11 – Tela Detalhe para transportador com 2 acionamentos 3
Figura 12 – Tela Detalhe para transportador com 3 acionamentos
Figura 13 – Tela Detalhe para transportador com 4 acionamentos
Figura 14 – Tela de Tendência para transportador com 2 acionamentos 33 $$
Figura 15 – Tela de Tendência para transportador com 3 acionamentos 34
Figura 16 – Tela de Tendência para transportador com 4 acionamentos 34
Figura 17 – Árvore de Falha
Figura 18 – Arranjo dos acionamento do estudo de caso
Figura 19 – Gráfico corrente estudo de caso

Lista de tabelas

Tabela 1 –	Símbolos de uma FTA.	 21

Lista de abreviaturas e siglas

PIMS Plant Information Management Systems

FTA Fault Tree Analysis

TR Transportador

Sumário

1	INTRODUÇÃO	12
2	EMBASAMENTO TEÓRICO	13
2.1	Conjunto Acionamento	13
2.1.1	Motor de Indução Trifásico	13
2.1.2	Acoplamento Hidráulico	15
2.1.3	Redutor	16
2.1.4	Tambor	17
2.1.5	Desbalanceamento de Corrente	17
2.2	Gerenciador de Energia em Transportadores de Correias	19
2.3	Plant Information Management Systems	19
2.4	Fault Tree Analysis	20
3	METODOLOGIA	23
3.1	Premissas	23
3.2	Desenvolvimento das Telas	23
3.3	Ganhos e Impactos	24
3.3.1	Gerenciador inibido	24
3.3.2	Disponibilidade dos equipamentos	24
4	RESULTADOS	26
4.1	Telas de Monitoramento	26
4.1.1	Tela Principal	27
4.1.2	Overview	28
4.1.3	Gerencial	29
4.1.4	Tela Gerenciamento Limite Máximo de Deslanceamento	30
4.1.5	Tela Detalhe	31
4.1.6	Tela de Tendência	33
4.2	Ganhos e Impactos	35
4.2.1	Gerenciador inibido	35
4.2.2	Disponibilidade do equipamento	35
4.2.2.1	Estudo de caso	38
5	CONCLUSÃO	40

REFERÊNCIAS

1 Introdução

Nos dias de hoje, empresas como a Vale S.A. têm investido em manutenção preditiva como uma forma de manter máquinas e equipamentos críticos disponíveis o maior tempo possível. Uma vez que uma parada não programada devido a falha nos equipamentos pode levar a prejuízos na produção muito maiores do que o custo do próprio equipamento. (SILVA et al., 2011)

Dentre as técnicas e tecnologias que auxiliam a preditiva, o monitoramento remoto tem ganhado força em equipamentos críticos que necessitam ser observados de forma constante e intensiva. O monitoramento remoto evita a utilização de recursos humanos em locais de exposição a perigos e se torna mais rápida a avaliação dos equipamentos.

Para conjuntos de acionamento formados por motor, acoplamentos e redutor existem no mercado técnicas como a análise de vibração e a análise de assinatura elétrica do motor. Ambas as técnicas visam identificar falhas no conjunto de forma remota, necessitando apenas de um profissional capacitado para fazer a leitura correta e análise dos dados. Para se ter uma ideia, o método de análise da corrente de assinatura elétrica dos motores é capaz de identificar problemas no enrolamento do estator, problemas rotóricos, problemas no acoplamento, problemas na carga acoplada, eficiência e carregamento do sistema, problemas no rolamento, entre outras. (SILVA et al., 2011)

Baseado nessa metodologia de acompanhamento remoto de equipamento visando a análise de falhas, foi proposto o desenvolvimento de um sistema que monitorasse a diferença entre a corrente dos motores em transportadores com mais de um acionamento. A necessidade de tornar visível esse problema vem da possibilidade de identificar funcionamento incorreto dos acionamentos, como por exemplo, excesso ou falta de fluido nos acoplamentos. Além disso, o sistema implantado no Porto de Tubarão para economia de energia em transportadores de correia depende diretamente da equalização dos acoplamentos, que reflete em desbalanceamentos dentro dos limites aceitáveis.

O Porto de Tubarão tem em suas instalações 105 transportadores. Porém, apenas 41 possuem mais de um acionamento, sendo que 34 têm as correntes dos motores cadastradas no PIMS. Portanto, o trabalho atuará nesses 34 transportadores, tendo uma possível expansão para 41. Os objetivos são o desenvolvimento de telas de monitoramento de desbalanceamento de corrente entre motores de transportadores e estudo dos impactos da implantação do sistema e das falhas que podem ser identificadas através do mesmo

2 Embasamento Teórico

2.1 Conjunto Acionamento

Por análise, observou-se que os acionamentos de todos os transportadores que compõe este trabalho são compostos principalmente por: motor, acoplamento hidráulico e redutor. Sendo o torque do conjunto acionamento transmitido para a correia transportadora através do tambor. A Figura 1 foi retirada de uma montagem no SolidWorks de um transportador real. Nela pode ser visualizado todo o conjunto acionamento e o tambor.

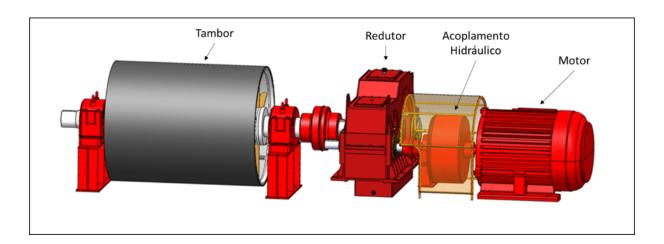


Figura 1 – Acionamento

Fonte: Produção do próprio autor.

2.1.1 Motor de Indução Trifásico

O motor de indução é uma máquina formada pelo estator e pelo rotor, ao passo que o estator recebe a corrente alternada e o rotor a induzida. Excitando a máquina com uma fonte polifásica equilibrada, um campo magnético girante é produzido no entreferro. A interação entre o campo girante e o campo gerado pela corrente induzida no rotor leva a máquina ao movimento. (FITZGERALD; KINGSLEY JR, 2006) O rotor de um motor de indução trifásica pode ser do tipo gaiola de esquilo ou bobinado. Nas aplicações de transportadores de correia no Porto de Tubarão, todos os motores são do tipo rotor de gaiola de esquilo, com tensão de alimentação de 4.160V e potência de até 1000CV.

A partir do circuito equivalente do motor de indução trifásico é possível obter as relações entre a potência e torque do motor. Conforme a equação a seguir: (SEN, 1996)

$$P_{aa} = T_{mec} \times w_{sin} \tag{2.1}$$

Onde:

P_{ag} Potência transmitida no entreferro;

T_{mec} Torque mecânico requerido ao motor;

 w_{sin} Velocidade síncrona.

Uma vez que a corrente varia de forma direta com relação à potência, a Equação 2.1 permite compreender a relação entre o torque e corrente, fato que será de estrema importância para entender as possíveis causas do desbalanceamento. Posteriormente será visto como algumas situações de não conformidade interferem nos valores dessas grandezas.

Os gráficos que mostram a relação entre fator de potência, rendimento, escorregamento, corrente e potência são chamados de curvas características dos motores. Como o próprio nome diz, essas curvas são próprias para cada motor de indução, porém, o comportamento é similar para a maioria dos motores. A curva da Figura 2 é referente a um motor WEG gaiola de esquilo 1.000CV, 60Hz, 4,16kV e 8 polos.

CURVAS CARACTERÍSTICAS EM FUNÇÃO DA POTÊNCIA Motor trifásico de indução - Rotor de gaiola 100 0.0 1.0 2.0 3.0 4.0 5.0 Α 90 0.9 **₹** 0.8 80 **₺ 0.7** 70 **₺ 0.6** ጀ 50 0.5 ± 0.4 40 160 _____ 120 A - Rendimento (%) 0 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100 110 120 13 Fator potência 80 60 70 80 90 100 110 120 130 Potência fornecida em relação à nominal (%)

Figura 2 – Curva Característica

Fonte: WEG.

2.1.2 Acoplamento Hidráulico

A primeira lei de Newton diz que se nenhuma força atua sobre um corpo, sua velocidade não pode mudar. (RESNICK; HALLIDAY; WALKER, 2009). Essa propriedade é conhecida como inércia. Sendo que, quanto maior a massa do corpo maior a inércia, ou seja, maior é sua tendência de manter-se em repouso ou movimento retilíneo uniforme.

Transportadores de correia são equipamentos que, comumente, possuem grande inércia, principalmente quando estão carregadas de material. Colocar um transportador em movimento pode exigir que a aceleração da massa a ser movimentada seja controlada de forma que as força não sejam tão elevadas. Acoplamentos hidráulicos podem ser aplicados com essa finalidade, transmitindo de forma gradual a potência do motor, acelerando o equipamento no tempo necessário. (VALE, 2012).

Acoplamentos hidráulicos são dispositivos de transmissão de potência que trabalham pelo princípio Föttinger. Eles são compostos normalmente por duas rodas de pás, denominadas roda da bomba e da turbina, e uma tampa envolvente, conforme Figura 3. (VOITH, 1999).

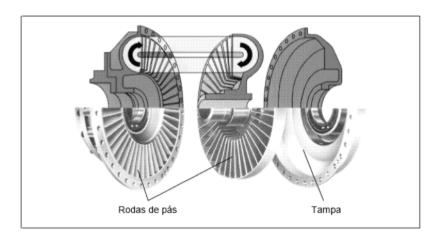


Figura 3 – Acoplamento hidráulico de fluido constante.

Fonte: VOITH, 1999.

Seu funcionamento pode ser comparado a um sistema formado por uma bomba movimentando uma turbina hidráulica, onde a roda bomba é conectado ao eixo de entrada e a roda turbina ao eixo de saída. Uma carcaça envolve os componentes de forma que o fluido circule dentro do sistema. Não há contato físico entre as rodas. A transmissão de potência é feita por meio do fluido, de forma que qualquer diferença de velocidade angular entre os dois lados resulte em uma força no eixo de saída gerando um torque. (VALE, 2012)

A quantidade de fluido define o funcionamento do acoplamento e a quantidade de torque transmitido do motor para o redutor. Fluido insuficiente provoca sobrecarga

térmica, já que haveria um excesso de atrito gera do pelo movimento relativo entre as pás e o fluido. Por outro lado, enchimento excessivo do mesmo pode danificar o acoplamento por causa da alta pressão interior, além da carga acoplar de forma menos gradativa, aumentado a corrente de partida do motor. Os acoplamentos hidráulicos de forma geral possuem proteção contra sobrecarga térmica. Essa proteção se dá por um dispositivo chamado parafuso ou bujão fusível. Seu funcionamento é parecido com o de uma válvula de panela de pressão. Quando o fluido aquece acima de uma determinada temperatura a pressão interna aumenta e esse dispositivo é ativado, expelindo o fluido em alta temperatura. Quando isso ocorre, poderão haver prejuízos ambientais, dependendo do fluido utilizado, e acidentes com queimaduras, se houver colaboradores no entorno. (VOITH, 1999; VALE, 2012)

Existem acoplamentos hidráulicos de fluido variável e constante. Os variáveis alteram a quantidade de fluido entre as rodas de pás afim de variar a velocidade do transportador. Os acoplamentos constantes possuem quantidade de fluido constante, não alterando a velocidade. Na maioria das aplicações do Porto de Tubarão não se faz necessária a variação de velocidade do transportador, portanto, em sua maioria, os acoplamentos hidráulicos são do tipo que a quantidade de fluido é constante.

2.1.3 Redutor

Redutores são usados quando a rotação de projeto de um equipamento é baixa para uma dada potência. Como nessas condições o valor do motor aumenta consideravelmente, torna-se mais econômico o uso de um motor de alta rotação conectado a um sistema de engrenagens, chamado redutor. Um ponto chave desses equipamentos é a lubrificação. O óleo lubrificante é escolhido de acordo com o tipo de engrenagens, rotação do motor, temperatura de operação, carga e condições do óleo. (MOURA; CARRETEIRO, 1978)

Todo redutor possui uma relação de redução própria. Essa relação é dada pela razão entre a rotação de entrada e a rotação de saída. Além disso, a quantidade de dentes de cada engrenagem e o torque transmitido também dependem dessa relação, conforme a equação a seguir: (BUDYNAS; NISBETT, 2011)

$$e = \frac{N_o}{N_i} = \frac{T_i}{T_o} = \frac{Z_o}{Z_i} \tag{2.2}$$

Onde:

- e Relação de redução;
- w_i Rotação de entrada;

- w_o Rotação de saída;
- T_i Torque de entrada;
- T_o Torque de saída;
- Z_i Quantidade de dentes na engrenagem motora;
- Z_o Quantidade de dentes na engrenagem movida.

2.1.4 Tambor

Também conhecido como polia acionadora, o tambor é responsável pela transmissão do torque do motor para a correia, movimentando o transportador. O diâmetro do tambor é umas das principais características, sendo que, quanto maior, maior a vida útil da correia, devido ao menor esforço de flexão. (ELETROBRÁS, 2009) Além disso, o diâmetro também interfere na velocidade de rotação do motor.

Sabe-se que a velocidade linear (v) é diretamente proporcional ao produto entre a velocidade angular (ω) e o raio do tambor (r), conforme Equação 2.3. (RESNICK; HALLIDAY; WALKER, 2009)

$$v = \omega.r \tag{2.3}$$

Considerando a velocidade linear da correia constante, qualquer diferença entre os raios dos tambores refletirá na corrente. Em outras palavras, em um transportador com mais de um acionamento, se houver diferença entre o diâmetro dos tambores, essa diferença se refletirá na velocidade de rotação dos motores, causando uma diferença na corrente.

2.1.5 Desbalanceamento de Corrente

Na maior parte do tempo os motores dos transportadores de correia operam sobredimensionados. Isso é feito de forma intencional, pois seu dimensionamento leva em consideração o caso de maior exigência, partir o transportador com carga de projeto (20% à mais que a nominal) cheio. Nessa situação é extremamente importante que todos os motores acoplem, pois, a falta de um pode levar os outros a sobrecorrente, acionando as proteções e fazendo com que o transportador não entre em movimento. Caso isso ocorra a ação é esvaziar a correia de forma manual e com auxílio de pás, o que leva a companhia a perdas de produtividade irreparáveis. Portanto, é essencial que os acoplamentos trabalhem equalizados distribuindo a carga de forma proporcional para todos os acionamentos.

Para identificar situações onde há desequilíbrio na distribuição de carga entre os acionamentos utiliza-se o conceito de desbalanceamento de corrente, que representa a

diferença entre o percentual da corrente nominal que cada motor está requerendo. Essa teoria não pode ser confundida com o desbalanceamento de corrente entre fases, o que está sendo estudado neste projeto é a diferença de corrente entre os acionamentos. Segue na Equação 2.4 formulação do cálculo de desbalanceamento de corrente.

$$D_{\%} = \left| \frac{I_{t1}}{I_{n1}} - \frac{I_{t2}}{I_{n2}} \right| \times 100\% \tag{2.4}$$

Onde:

D_% Desbalanceamento de corrente;

I_t Corrente de trabalho;

I_n Corrente nominal.

Uma das premissas para a análise de desbalanceamento é que não pode ser feita quando o transportador estiver a vazio. Isso se deve ao fato de que todos os motores estarão com corrente a vazio, se os acionamentos forem idênticos, as corrente são praticamente as mesmas e, se não forem idênticos, estarão na mesma faixa com relação a nominal. A Figura 4 é um exemplo real onde, no primeiro cursor, o transportador não tem carga e as correntes estão bem pareadas, resultando em um desbalanceamento próximo de zero. Porém essa situação pode mascarar a presença de desbalanceamento alto, conforme mostrado no segundo cursor, onde o transportador está com taxa efetiva maior do que zero e o desbalanceamento chega a 20%. Uma vez que o desbalanceamento é sempre a comparação do valor percentual de corrente entre dois motores, a avaliação do valor do desbalanceamento também não pode ser feita quando apenas um motor está ligado. Cenário que será explicado na seção 2.2.

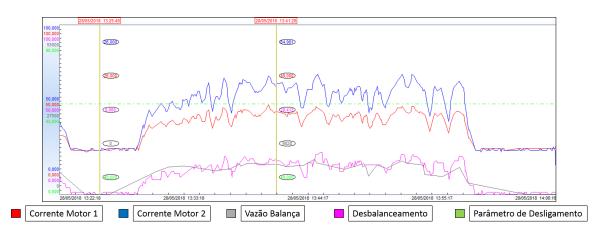


Figura 4 – Desbalanceamento de corrente

2.2 Gerenciador de Energia em Transportadores de Correias

O Gerenciador de Energia é um sistema com a finalidade de reduzir o consumo de energia elétrica utilizando o desligamento/religamento dos motores de acordo com a taxa instantânea que está sendo movimentada pelo transportador de correia. O sistema monitora o valor da corrente do motor, caso este fiquei abaixo do parâmetro de desligamento por um determinado tempo, ele é desligado. Se o motor que continuou operando atingir o parâmetro de religamento, o que estava desligado entra em funcionamento. Portanto, só existe em transportadores com mais de um acionamento.

Algumas premissas de funcionamento do gerenciador são importantes, porém, a que se relaciona a este trabalho é a inibição do desligamento em caso de desbalanceamento de corrente acima do limite. Por exemplo, se um transportador com 3 acionamentos está operando com apenas 2 motores ligados devido a atuação do gerenciador, apresenta desbalanceamento acima do limite, o gerenciador não desligaria o segundo motor mesmo se a carga pudesse ser movimentada por apenas 1 motor em condições normais de desbalanceamento. O Gerenciador é desabilitado porque sua parametrização deve ser alterada a fim de evitar, principalmente, desligamentos seguidos de religamento, pois são prejudiciais ao acoplamento e motor. Na Figura 5 pode observar que a corrente do motor 2 ficou abaixo do parâmetro de desligamento por um determinado tempo e foi desligado pelo Gerenciador. Após o desligamento, toda a carga começou a ser movimentada apenas pelo motor 1, porém neste instante a corrente do motor subiu de forma abrupta, ultrapassando a corrente nominal. Como essa corrente chegou a um valor alto o Gerenciador entendeu que seria necessário religar o outro motor, e assim o fez. A diferença entre o desligamento e religamento foi de apenas 5 segundos e isso ocorreu devido ao desbalanceamento de corrente. Caso as correntes estivessem equilibradas o motor não teria sido desligado, pois o parâmetro é ajustado ajustado pra isso. Neste caso, a solução a ser tomada é reduzir o parâmetro de desligamento do motor 2, o que é um inconveniente, pois ele deve retornar ao valor anterior quando o desbalanceamento for corrigido, se não, a economia de energia é reduzida.

2.3 Plant Information Management Systems

Plant Information Management Systems (PIMS) são sistemas que adquirem dados de processo e os armazenam num banco de dados, permitindo o acesso a dados históricos. Além disso os dados são disponibilizados de diversas maneiras (SOUZA, 2005). Existem diversos fabricantes de software que implantam esse sistema. Para esse projeto foi utilizado o pacote da Aspentech que, além do PIMS, possui uma ferramenta para criação de telas, sistemas certificados pela Vale disponibilizados para utilização dos empregados. Os

softwares correspondentes às respectivas funções são: $Process\ Explorer$ e $Process\ Graphics\ Editor$.

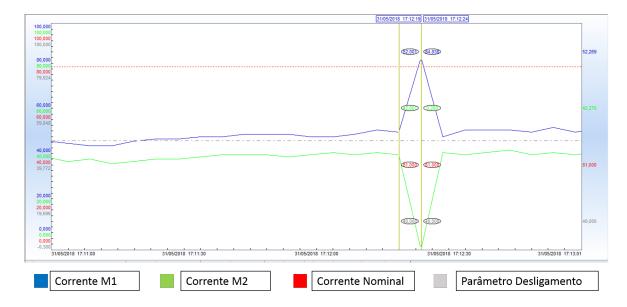


Figura 5 – Desligamento seguido de religamento

Fonte: Produção do próprio autor.

2.4 Fault Tree Analysis

Fault Tree Analysis (FTA), que em português significa Análise de Árvore de Falha, é uma abordagem dedutiva e baseada em falha. Por ser uma abordagem dedutiva, FTA começa com o evento indesejado e depois são determinadas as suas causa através de um processo reverso. Quando as causas são determinadas, uma árvore de falha é feita contendo representação lógica dos eventos e a relação entre eles que levam ao evento indesejável. Portanto, a árvore de falha é modelo qualitativo que fornece informações importantes sobre as causas de um evento (STAMATELATOS et al., 2002).

É importante ter em mente que a árvore de falha é um modelo. Assim, são consideradas apenas as causas realistas, desconsiderando as irrelevantes.

O método de uma FTA pode seguir essas 9 fases (STAMATELATOS et al., 2002):

- a) Definir equipe de trabalho É montada uma equipe multidisciplinar responsável pela coordenação dos trabalhos e recursos envolvidos na elaboração da FTA;
- b) Definir o sistema de interesse Especificação e definição das condições iniciais e limites do sistema para que haja ocorrência de falha;
- c) Definir evento topo Evento topo é o evento indesejável e recebe esse nome pois é colocado no nível mais alto da árvore. Os eventos topo devem ter as seguintes características (HELMAN; ANDERY, 1995):

- As causas podem ser conhecidas;
- São mensuráveis, de forma que sua ocorrência possa ser identificada;
- Podem ser controlados, minimizados ou bloqueados mediante providências técnicas ou administrativas.
- d) Definir estrutura do corpo da árvore Neste momento são determinados os eventos intermediário, que levam diretamente ao evento topo. Esta etapa envolve dois elementos principais:
 - Estrutura da lógica (representado por portas lógicas);
 - Contribuição direta (definição dos eventos).

Na Tabela 1 são exibidos todos símbolos utilizados na elaboração da árvore de falha desse projeto, assim como suas respectivas funções. Vale lembrar que existem muitas outras simbologias, porém não é a proposta do trabalho explicar todas.

Tabela 1 – Símbolos de uma FTA.

Símbolo	Função
Evento	Pode representar a combinação de outros eventos ou, quando indicado junto com um círcuclo ou losango, é a falha primária.
	Porta lógica OU – A falta de saída ocorre se pelo menos uma falta de entrada ocorrer.
\bigcirc	Evento Falta Primário – Marca o limite da análise.
\Diamond	Evento falta não totalmente desenvolvido quanto a suas causas.

- e) Desenvolver a árvore de falha O desenvolvimento da árvore deve ser feito até que todos os ramos tenham um evento falta ou não desenvolvido. Sendo que o nível de detalhamento depende do analista responsável pela elaboração da árvore de falha.
- f) Resolver a árvore de falha É a análise da árvore de falha para identificar todas as possíveis combinações que podem causar o evento topo.
- g) Identificação das dependências entre os eventos A dependência entre os eventos é determinada pelo chamado *Minimal cut sets*, que a partir número finito de diferentes formas de se chegar ao evento topo partindo dos eventos primários

- e manipulação de lógicas Booleanas, expressa a forma mais simplificada de se chegar ao topo. (STAMATELATOS et al., 2002)
- h) Executar uma análise quantitativa Essa fase gera resultados estatísticos a respeito da falha e da manutenção sobre os eventos da árvore de falha. Dessa forma, é possível determinar a probabilidade do evento topo e importância dos eventos base.
- i) Interpretação dos resultados O resultado da análise de falha é usado como base para tomar decisões sobre o sistema em estudo. Pode-se citar como ecemplos, o julgamento de aceitabilidade, identificação de oportunidade de melhoria, recomendações de melhoria e justificativa de alocação de recursos para melhoria.

3 Metodologia

O projeto começou com a indicação da necessidade de criar um método mais efetivo e eficiente para a identificação de transportadores com desequilíbrio entre as correntes dos acionamentos. Posteriormente, foram estabelecidas algumas premissas e desenvolvidos alguns protótipos para apresentação em uma reunião com os usuários finais, que ocorreu em seguida. Na reunião foram feitas algumas modificações para simplificar as telas e definiu-se como ficaria o produto final e suas premissas.

3.1 Premissas

- a) A indicação e avaliação de desbalanceamento deve ser feita de forma automática, exigindo o mínimo do usuário final;
- b) A análise de desbalanceamento só pode ser feita com o transportador carregado e com no mínimo 2 motores acionados;
- c) É considerado como desbalanceado qualquer equipamento que apresentar desbalanceamento de corrente acima do limite por 5 minutos completos, num intervalo de 5 dias;
- d) O limite máximo de cada transportador foi definido de acordo com os valores de operação comum de desbalanceamento apresentados durante operação nos últimos 2 anos;
- e) As telas consideram apenas 3 situações para o transportador: desligado/a vazio/apenas um motor ligado; desbalanceamento acima do limite; desbalanceamento abaixo do limite;

3.2 Desenvolvimento das Telas

Foi definido na reunião a criação de 6 telas: Tela Principal; Overview, Gerencial; Gerenciamento Limite Máximo de Desbalanceamento; Detalhe; Tendência. Sendo que todas foram desenvolvidas no software *Graphic Editor*, exceto a tela Gerenciamento Limite Máximo de Desbalanceamento, que foi desenvolvida diretamente no *Process Explore*. A diferença na utilização do software de desenvolvimento é que no Graphic Editor permite variar os valores apresentados de acordo com a linha do tempo, o que não é possível no outro software. Isso será melhor compreendido dentro da seção 4.1 onde é explicado o funcionamento de cada tela.

A base do funcionamento de todas as telas desenvolvidas no *Graphic Editor* são as tags do sistema PIMS. Elas carregam as informações do sistema de desbalanceamento e seus valores são apresentados nas telas através de funções lógicas.

Para esse trabalho fora desenvolvidos 3 tipos de tag:

- a) Limite Máximo de Desbalanceamento Essa *tag* carrega o valor do desbalanceamento limite de cada equipamento e pode ser alterada na tela Gerenciamento Limite Máximo de Desbalanceamento (subseção 4.1.3);
- b) Desbalanceamento Calcula o desbalanceamento entre os motores a cada 5 segundos. O tempo de amostragem foi definido de forma que a aplicação não impactasse no servidor;
- c) Flag de Equipamento Desbalanceado Essa tag analisa num intervalo de 5 dias se o desbalanceamento ficou acima do limite por pelo menos 5 minutos ininterruptos, seguindo o que foi definido nas premissas. O tempo de amostragem foi de 5 minutos.

O desenvolvimento da tela no Process Explore foi similar à criação de formulários no Excel. A programação foi em quase toda em Visual Basic. SQL foi usado apenas para buscar e escrever valores das *tags* no banco de dados.

3.3 Ganhos e Impactos

3.3.1 Gerenciador inibido

A operação no Porto de Tubarão varia de acordo com a demanda por minério de ferro. Portanto, os ganhos obtidos com o gerenciador variam de mês para mês e ano para ano. Dessa forma, para avaliar os impactos do sistema de monitoramento de desbalanceamento foram analisados os ganhos que seriam capturáveis no ano de 2017.

Os possíveis ganhos relacionados ao gerenciador ocorrem quando é possível evitar sua inibição por desbalanceamento de corrente. Portanto, para contabiliza-los foram baixados os dados das correntes dos motores quando o gerenciador foi inibido. Diante desses dados de corrente, foi simulado o funcionamento do gerenciador através de uma macro no Excel e computado os ganhos.

3.3.2 Disponibilidade dos equipamentos

A principal intenção da metodologia voltada para identificação dos impactos relacionado à disponibilidade física do equipamento não é medi-los de forma quantitativa, mas sim identificar como o sistema pode ajudar na rotina da manutenção, levando a uma maior disponibilidade do equipamento.

O primeiro passo foi identificar o que poderia levar o equipamento ao desbalan-

ceamento e com isso definir quais falhas esse desequilíbrio de corrente pode funcionar como um alerta de que algo está errado. Para isso, foi utilizado a metodologia da FTA apresentada na seção 2.4, sendo que seu desenvolvimento contou com apoio de engenheiros eletricista e mecânico com ampla experiência na manutenção. Durante as discussões com os especialistas dos dois ramos de atuação, chegou-se aos eventos que poderiam levar ao desbalanceamento. Apesar de o desbalanceamento acima do limite não ser uma falha, a metodologia da árvore de falha é uma excelente ferramenta para enxergar os seus motivos, auxiliando na identificação rápida das causas e evitando problemas maiores.

4 Resultados

Conforme descrito na proposta de projeto, como produto final foram obtidos 6 tipos de tela para detecção e indicação de transportador com desbalanceamento de corrente entre acionamentos. Além disso, os impactos previstos pela implantação do sistema acompanham como produto.

4.1 Telas de Monitoramento

Visando atender às necessidades dos usuários finais, o projeto foi finalizado com as seguintes telas: Tela Principal; Overview, Gerencial; Gerenciamento Limite Máximo de Desbalanceamento; Detalhe; Tendência. Sendo que as duas últimas variam de acordo com a quantidade de acionamento. Esses itens serão melhor detalhados nas subseções a seguir.

Na Figura 6 podem ser vistos todos os tipos de tela numa só imagem.



Figura 6 – Combinado de todas as telas

4.1.1 Tela Principal

Na tela principal é possível visualizar o estado do desbalanceamento de todos os transportadores, conforme exibido pela Figura 7. Nela foram marcados alguns campos cujo as funcionalidades são:

- a) Campo 1 Identificar o transportador e a sinalizar se o equipamento está com desbalanceamento de corrente. Esse campo é o meio principal do usuário visualizar se o transportador está ou não com desbalanceamento acima do limite.
- b) Campo 2 Exibir o estado do transportador de acordo com o instante selecionado na barra de tempo que fica na parte inferior da tela. Nele podem ser exibido 3 estados do transportador: a vazio, 1 motor ON (um motor ligado) ou o valor instantâneo do desbalanceamento junto com a identificação dos motores, sendo que, para transportadores com mais de dois acionamentos, o valor exibido é o maior desbalanceamento dentre os existentes.
- c) Campo 3 Apresentar o estado do transportador de forma visual e, quando o mouse é pressionado em cima da imagem, abrir a Tela Detalhe do respectivo equipamento. Se o transportador estiver nos estados onde o desbalanceamento não pode ser analisado, ou seja, desligado, a vazio ou com apenas um motor ligado, a imagem fica na cor cinza. As cores vermelha ou verde aparecem se o desbalanceamento instantâneo estiver acima ou abaixo do limite estabelecido, respectivamente.
- d) Campo 4 Apresentar para o usuário o significado de cada cor que aparece no Campo 3 e a quantidade de transportadores com desbalanceamento normal e acima do limite. Sendo essa quantificação exibida de forma geral e por área.

Além dos campos mencionados anteriormente, a Tela Principal possui dois botões no canto direito que, quando pressionados, abrem as telas Overview ou Gerencial, de acordo com a identificação de cada botão.

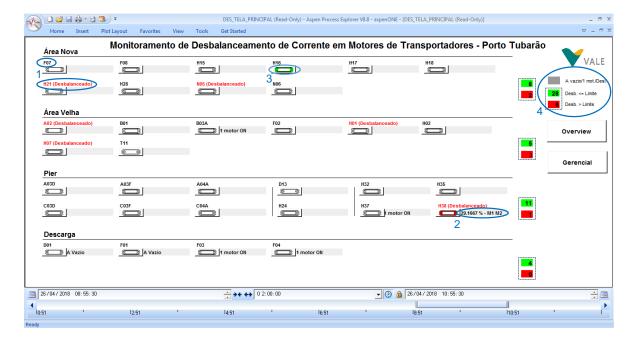


Figura 7 – Tela Principal

4.1.2 Overview

A tela Overview é uma tela com a função de tornar visual e facilitar a identificação dos transportadores com desbalanceamento de corrente acima do limite. Ela mostra por meio de uma vista superior do Porto de Tubarão o estado de cada transportador com as cores verde, vermelha ou preta, indicando respectivamente que o equipamento não está desbalanceado, está desbalanceado ou não está entre os 34 transportadores do projeto.

Assim como na Tela Principal, o Overview também possui no canto superior direito a quantificação dos equipamentos desbalanceados. Além dos botões que abrem as telas Gerencial e Tela Principal.

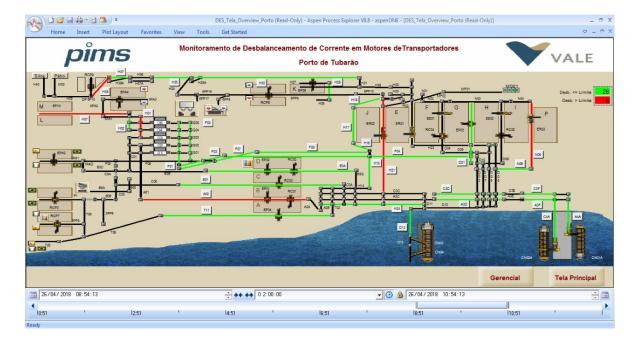


Figura 8 – Tela Overview

4.1.3 Gerencial

A criação da tela Gerencial foi com intuito de auxiliar os supervisores e gerentes das áreas. Por isso, os dados apresentados por ela são resumidos, diretos e mostram uma visão geral do estado do Porto de Tubarão e suas áreas com relação ao desbalanceamento. Na Figura 9 é possível observar que a maioria das informações são exibidas em porcentagem do 34 transportadores. Isso reforça a ideia de exibir um relatório de fácil visualização e que se chegue a conclusões rápidas sobre o estado das áreas e do porto.

No canto esquerdo da tela, é exibido um gráfico de barra vertical que informa o percentual do total de transportadores que estão com desbalanceamento acima e abaixo do limite. Os outros gráficos exibem a mesma informação, porém organizados por área e através de um gráfico horizontal. Abaixo do nome de cada área, ficam destacados em vermelho os equipamentos que não estão com operação dentro do limite. Por fim, no canto inferior esquerdo encontra-se a legenda dos gráficos.

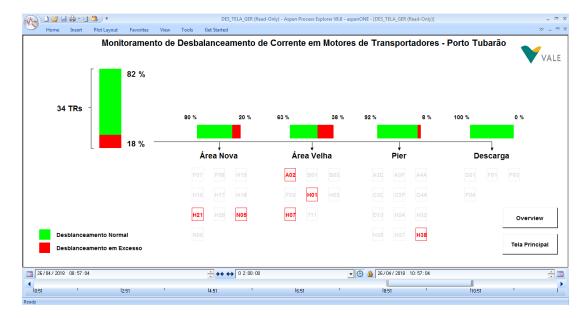


Figura 9 – Tela Gerencial

4.1.4 Tela Gerenciamento Limite Máximo de Deslanceamento

Na Figura 10, é possível ver a tela de gerenciamento de limite máximo. Nessa tela, é gerenciado o limite máximo de desbalanceamento admitido por cada transportador. O valor é ajustado de forma individual. Para alterar o valor do limite, basta selecionar o equipamento desejado na lista e pressionar o botão "Editar". Em seguida, aparece um pop-up que recebe o novo valor e confirma a alteração.

Home Insert Piet Layout Favorites View Tools Get Started

Would Macros Designer

Would Macr

Figura 10 – Tela Gerenciamento Limite Máximo de Desbalanceamento

4.1.5 Tela Detalhe

O propósito das telas Detalhes é passar informações mais detalhadas sobre cada transportador. Na Figura 11, é exibida a tela para um transportador com 2 acionamentos. Ao centro da tela, são exibidas as informações do desbalanceamento instantâneo entre os acionamentos 1 e 2, limite máximo de desbalanceamento e as correntes percentuais de cada motor. Nos cantos estão os botões de navegação entre as telas. As outras informações foram divididas em campos indicados na figura com suas respectivas numerações.

- a) Campo 1 Funciona da mesma forma que o Campo 1 mostrado na subseção 4.1.1. Sendo que, para transportadores com desbalanceamento dentro do limite, aparece apenas o nome do equipamento em cor preta.
- b) Campo 2 Esse campo também se repete na subseção 4.1.1 no Campo 3. A legenda abaixo indica o significado de cada cor que o campo pode exibir.

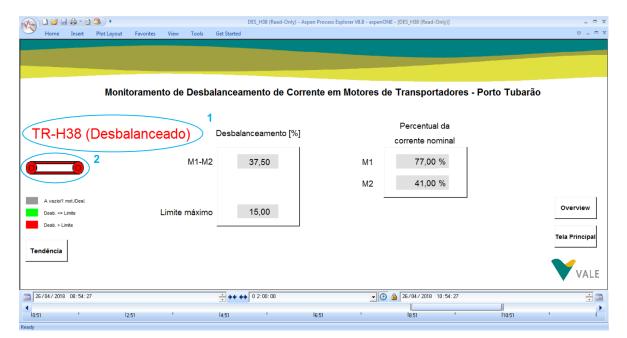


Figura 11 – Tela Detalhe para transportador com 2 acionamentos

Fonte: Produção do próprio autor.

As figuras a seguir são das Telas Detalhe de equipamentos com 3 e 4 acionamentos. O funcionamento delas é igual à de 2 acionamentos, porém com mais informações devido a quantidade de motores.

→ □ ≅ □ ⊕ · □ 3) = DES_D01 (Read-Only) - Aspen Process Explorer V8.8 - aspenONE - [DES_D01 (Read-Only)] Monitoramento de Desbalanceamento de Corrente em Motores de Transportadores - Porto Tubarão Percentual da TR-D01 Desbalanceamento [%] corrente nominal M1-M2 A Vazio 39,37 % M1 37,36 % M2 A Vazio M1-M3 41,47 % A Vazio M2-M3 15,00 Limite máximo Tendência 26/04/2018 08:55:44 <u>→</u> ⊕ <u>â</u> 26/04/2018 10:55:44 → **++ +→** 0 2:00:00 | |10:51 **4** l0:51

Figura 12 – Tela Detalhe para transportador com 3 acionamentos

Monitoramento de Desbalanceamento de Corrente em Motores de Transportadores - Porto Tubarão Percentual da Desbalanceamento [%] corrente nominal TR-D13 M1-M2 0,00 % M1-M3 0,00 % M2 M1-M4 МЗ 72,37 % M2-M3 60,42 % M2-M4 11,65 M3-M4 Tendência 18,00 Limite máximo 26/04/2018 06:57:31 10.51

Figura 13 – Tela Detalhe para transportador com 4 acionamentos

4.1.6 Tela de Tendência

Na Tela de Tendência o usuário pode acompanhar a tendência de variação do desbalanceamento no tempo, através do gráfico situado no meio da tela, conforme a Figura 14. Essa tela funciona como um complemento da Tela Detalhe e também varia de acordo com a quantidade de acionamentos presente no transportador.

Alguns campos foram destacados na imagem e estão descritos a seguir.

- a) Campo 1 Indica o nome do transportador.
- b) Campo 2 A animação da figura funciona da mesma forma que o Campo 2 da subseção 4.1.5.
- c) Campo 3 Indica se o transportador está com desbalanceamento de corrente acima do limite máximo exibindo a mensagem "DESBALANCEADO" em vermelho, caso não estiver, nenhuma mensagem aparece.
- d) Campo 4 É o desbalanceamento limite máximo ajustado para o transportador.
- e) Campo 5 É o valor do desbalanceamento no instante indicado pela linha do tempo.

No gráfico, além do perfil de variação do desbalanceamento, também é possível visualizar o limite máximo de desbalanceamento (linha azul). Como a ferramenta não possui cursor para navegar dentre do gráfico, foi necessário criar linhas para dar ao usuário a possibilidade de quantificar o desbalanceamento através do gráfico. A legenda a esquerda refere-se ao gráfico.

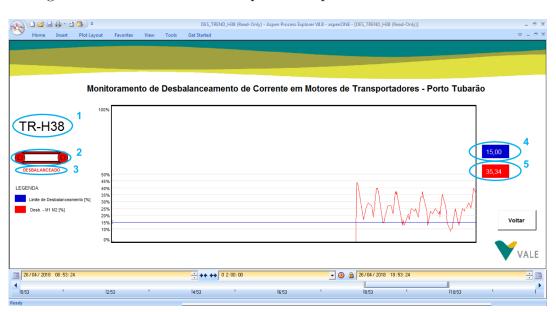


Figura 14 – Tela de Tendência para transportador com 2 acionamentos

As figuras a seguir são das Telas Tendência de equipamentos com 3 e 4 acionamentos. O funcionamento delas é igual à de 2 acionamentos, porém com mais informações devido a quantidade de motores.

Figura 15 – Tela de Tendência para transportador com 3 acionamentos

Fonte: Produção do próprio autor.

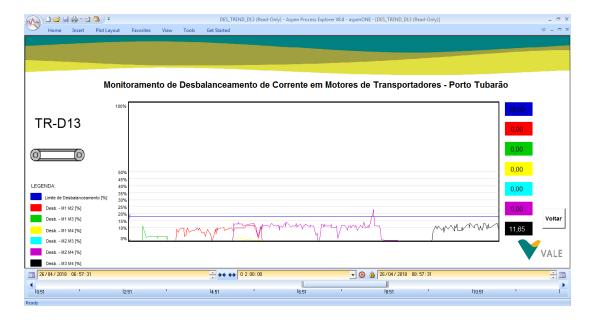


Figura 16 – Tela de Tendência para transportador com 4 acionamentos

4.2 Ganhos e Impactos

4.2.1 Gerenciador inibido

Na etapa de coletas de dados, identificou-se que o gerenciador foi inibido em 17 transportadores de correia no ano de 2017, sendo que em 10 TRs apresentaram redução nos ganhos energéticos. Após simular o funcionamento do gerenciador no dados saneados, foi concluído que o o Porto de Tubarão deixou de economizar 40MWh em um ano.

4.2.2 Disponibilidade do equipamento

Através da árvore de falha elaborada (Figura 17) é possível identificar as prováveis causas do desbalanceamento de corrente. Na Figura 17 foi estabelecido o Desbalanceamento acima do limite como sendo o evento topo. Uma camada abaixo pode ser observado que já existem dois eventos base (Eventos a2 e a3), porém a presença do losango logo abaixo representa que eles são do tipo não desenvolvidos, pois não ocorrem frequentemente e suas causas não foram totalmente desenvolvidas. Portanto serão comentados de forma simplória. Erro de montagem pode representar problemas de alinhamento no conjunto acionamento. O desalinhamento são desvios no posicionamento dos eixos e levam o conjunto acionamento a vibrações excessivas que podem refletir na corrente do motor. Em acionamento posicionados em tambores diferentes, sendo um desalinhado e outro não, o excesso de vibração em um deles pode representar uma diferença entre a corrente dos motores. Problema de lubrificação pode levar a perdas por atrito acima do normal, exigindo maior potência e, consequentemente, maior corrente do motor. Esse fato também pode elevar a diferença entre as correntes dos motores dos acionamentos de um transportador, aumentando o desbalanceamento entre eles.

Duas camadas abaixo do evento topo podem ser observados quatro eventos falhas, todos relacionados à qualidade ou quantidade irregular de fluido no acoplamento hidráulico através da porta lógica "OU". Um transportador em que um dos conjuntos acionamentos apresentar *Vazamento* ou *Erro na quantidade de fluido inserido* ou *Atuação do Bujão Fusível* ou *Fluido contaminado* no seu acoplamento hidráulico vai estar com desbalanceamento de corrente alto.

A presença de vazamento no acoplamento hidráulico causa escapamento do fluido acoplador. Um acoplamento com quantidade de fluido abaixo do recomendado pelo fabricante faz com que a carga não seja totalmente transmitida para o eixo do motor. Com isso o motor não "enxerga" a carga, e em casos extremos ele opera como se estivesse a vazio. Neste caso o motor mantém a corrente a vazio mesmo quando o transportador recebe a carga, ou seja, não transmite torque para o redutor. Podem existir duas consequências desse fato. A primeira é o acionamento do bujão fusível, causado pela elevação da temperatura do fluido, que por sua vez aquece devido ao atrito existente entre as pás que compõe o acoplamento

hidráulico. A segunda consequência, é a parada do equipamento. Como a quantidade de material na correia do transportador depende muito da demanda por minério de ferro e do tipo de operação (descarga, embarque ou movimentação), mesmo com algum acionamento não acoplando pode ser possível movimentar a correia transportadora. Porém, se a carga subir a corrente dos motores acoplados podem entrar em sobrecarga e ativar a proteção, causando paradas inesperadas com o transportador carregado de material.

O evento a4.2 (Erro na quantidade de fluido inserido/retirado) também faz o transportador operar desbalanceado. Quando a quantidade do fluido é baixa, suas consequências são iguais as do vazamento. Porém, se o acoplamento for preenchido com excesso de fluido o resultado é diferente. Excesso de fluido no acoplamento hidráulico pode danificar o acoplamento devido a pressão e ainda sobrecarregar o motor durante a partida. Isso ocorre porque o motor parte praticamente com a carga já acoplada, a transferência de torque ocorre de forma muito menos gradativa. Na operação, esses fatos podem levar a paradas não programadas. Com relação a manutenção, pode ser necessário a substituição do acoplamento.

Todos acoplamentos hidráulicos existentes no universo deste trabalho possuem proteção contra sobreaquecimento do fluido, chamado comumente de bujão fusível. O sobreaquecimento tem algumas origens, que são a baixa quantidade de fluido e excesso de partida em um curto intervalo de tempo. Quando essa proteção é ativada, o fluido é literalmente expelido, causando os prejuízos que já foram mencionados. O evento Atuação do Bujão Fusível, apesar de ter sido comentado em outros eventos, foi definido como um evento causa, já que não há sensoriamento na sua ativação, sendo assim, é possível que o transportador continue operando, elevando ao desbalanceamento de corrente. A identificação da atuação do dispositivo é feita através de inspeções ou quando o defeito causa a parada de um transportador.

Presença de fluido contaminado no interior dos acoplamentos hidráulicos é bastante comum. Principalmente pelo fato da maioria dos acionamentos estarem instalados em locais com bastante poeira e propensos a queda de material. Outro fato que contribui para isso, é a utilização de água de processo para o enchimento de acoplamento. A presença de particulado pode causar o entupimento dos orifícios dosadores ou gicleur, cuja função é dosar o fluido que fica dentro do circuito de trabalho do acoplamento hidrodinâmico, dessa forma, controlando o tempo de partida. O entupimento pode reduzir o tamanho efetivo do orifício, aumentando o tempo de partida, podendo resultar no superaquecimento do acoplamento e descarga do fluido pelo bujão fusível (REXNORD, 2014), levando a consequências comentadas anteriormente. O tipo do contaminante também é um fato importante, pois dependendo do material, as propriedades do fluido podem alterar, aumentando a abrasividade e modificando a viscosidade, causando danos ao acoplamento.

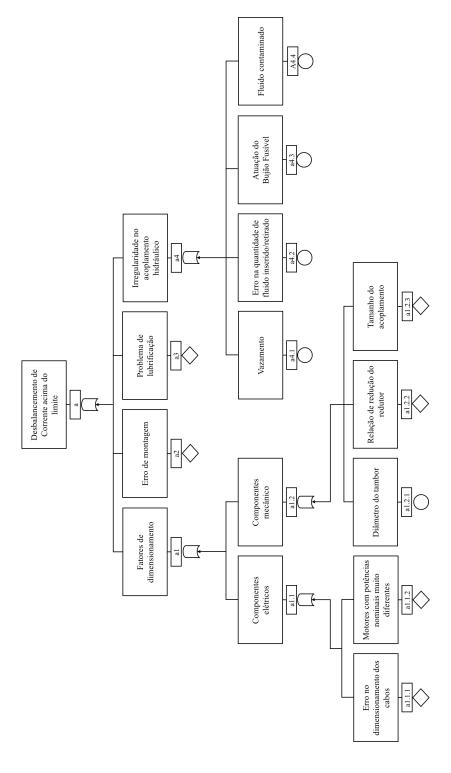


Figura 17 – Árvore de Falha

Na última camada, pode-se encontrar cinco eventos não desenvolvidos. Nos relacionados aos Componentes Elétricos, tem-se Erro no dimensionamento dos cabos e Motores com potências muito diferentes. O primeiro pode ser considerável, principalmente em motores que ficam muito distantes da sala elétrica, significando grande perda por

resistência ôhmica caso a secção transversal do cabo esteja subdimensionada, elevando as perdas e a corrente requerida pelo motor. O segundo evento é observado porque motores com dimensões diferentes possuem curvas características diferentes, portanto trabalham em faixas de corrente distintas. Com relação aos Componentes Mecânicos, tem-se Relação de redução do redutor e o Tamanho do acoplamento. Acionamentos com redutores com relação de redução diferentes exigem potências diferentes dos seus motores, pois haverá disparidade entre as velocidades angulares. Conforme visto na Equação 2.1, considerando o torque da carga como constante, quanto maior a velocidade angular maior a potência fornecida e, consequentemente, a corrente, causando o desbalanceamento. Acoplamentos hidráulicos com tamanhos diferentes também diferem nos torque transmitidos, podendo levar ao desbalanceamento.

O evento causa Diâmetro do tambor (a1.2.1) é muito importante, pois sua ocorrência não é rara e é de difícil identificação, por ser imperceptível sem o auxilio de equipamentos de medição. Trocas de tambores são comuns na rotina de manutenção de um transportador de correia, porém, em alguns casos, a troca é feita por um componente de dimensões diferente da do antigo. Caso seja instalado um tambor com diâmetro menor do que o anterior, o produto entre torque e velocidade angular diminui, reduzindo a potência fornecida. Se o diâmetro for maior, maior a potência. A discrepância entre os diâmetros, que também podem ocorrer devido a desgastes no revestimento do tambor, tem grande interferência no desbalanceamento de corrente dos motores, conforme o estudo de caso a seguir.

4.2.2.1 Estudo de caso

Um transportador composto por 4 acionamentos distribuídos, conforme a Figura 18. Esse transportador passou por uma modificação em que todos os seus acionamentos foram completamente substituídos por redutores, acoplamentos hidráulicos e motores de 1.000 CV idênticos. Na fase de comissionamento, as correntes dos motores presentes no tambor B apresentaram valores muito inferiores ao dos motores do tambor A.

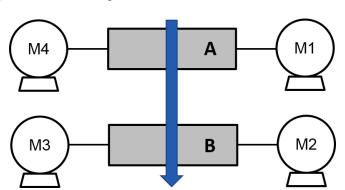


Figura 18 – Arranjo dos acionamento do estudo de caso

Após todos os acoplamentos serem preenchidos com a quantidade de fluido igual e recomendada pelo fabricante, observou-se desbalanceamentos por volta de 40% (Figura 19). As investigações apontaram uma diferença de 26 milímetros no diâmetro dos 2 tambores devido ao desgaste de um deles e que isso estava impactando de maneira significativa no desbalanceamento. Pela Figura 19, pode-se observar que a corrente do motor 1 chegou ao pico de 123 A operando na taxa nominal do transportador, 16.000 toneladas/hora. A carga máxima para o equipamento ultrapassa esse valor, podendo receber ocasionalmente taxas efetivas maiores do que 20.000 toneladas/hora. A corrente nominal de todos os motores é 135 A, portanto os motores 1 e 4 operaram com correntes entorno de 90% da nominal, enquanto os outros dois operaram com correntes entorno de 48%. Como os motores dos transportadores são projetados para suportarem um evento de máximo esforço, na situação encontrada de desequilíbrio de carga, o equipamento não responderia como o esperado. A situação mais crítica é se por algum motivo, como por exemplo desalinhamento da correia, o transportador parasse completamente cheio. Na ocorrência desse evento, os dois motores que apresentam maior corrente aplicariam quase que a totalidade da força necessária para colocar a corrente em movimento, mas como não foram dimensionados para isso, as proteções de sobrecorrente seriam ativadas, não deixando o equipamento entrar em movimento.

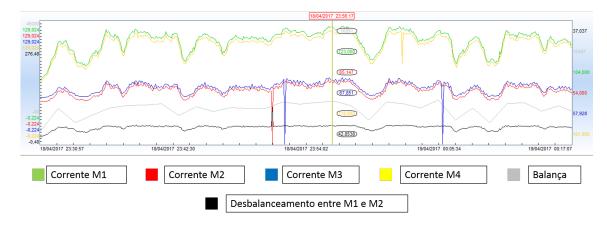


Figura 19 – Gráfico corrente estudo de caso

5 Conclusão

O primeiro desafio deste trabalho foi aprender a criar e programar as telas. Devido a ausência de documentação e treinamentos, a aprendizagem sobre os softwares utilizados se deu de forma autodidática, com o auxílio de tela existentes. Ao final, conseguiu-se desenvolver o sistema de forma consistente e exatamente como foram idealizado.

Com relação aos impactos do uso do Sistema de Monitoramento de Desbalanceamento de Corrente em Motores de Transportadores, conclui-se que seus ganhos energéticos são de pouca relevância, uma vez que consumo energético do Porto de Tubarão é muito maior do que os ganhos apresentados (40 MWh). Por outro lado, o uso do sistema para garantir um desbalanceamento dentro dos limites é essencial para o funcionamento do Gerenciador de Energia.

Os impactos na disponibilidade dos equipamentos estão todos relacionados a prevenção de falhas mais graves e paradas de produção inesperadas. Isso foi explicado através da árvore de falha, mostrando os principais eventos que podem ser identificados através do desbalanceamento de corrente. Além disso, o sistema ajuda na priorização de equipamentos que precisam de mais atenção. Isso é de suma importância, uma vez que o Porto de Tubarão é muito extenso e alguns acionamentos de difícil acesso.

Ao final desse trabalho, é possível concluir que os objetivos foram alcançados com o desenvolvimento do sistema e estudo dos impactos. Sendo o impacto principal relacionado ao cotidiano das equipes de manutenção, permitindo um acompanhamento remoto do estados dos equipamentos e facilitando a gestão dos ativos por parte dos gerentes e supervisores de cada área. Uma oportunidade de melhoria seria a identificação automática de qual falha está causando o desbalanceamento. Para isso, seria necessário aumento da instrumentação de campo afim de identificar exatamente quais os eventos.

Referências

BUDYNAS, R. G.; NISBETT, J. K. Elementos de Máquinas de Shingley: Projeto de engenharia mecânica. 8. ed. Porto Alegre: AMGH, 2011. Citado na página 16.

ELETROBRÁS. Correias transportadoras: guia básico. Brasília: IEL/NC, 2009. Citado na página 17.

FITZGERALD, A. E.; KINGSLEY JR, C. *Máquinas Elétricas*. 6. ed. Porto Alegre: Bookman, 2006. Citado na página 13.

HELMAN, H.; ANDERY, P. R. P. Análise de falhas (aplicação do método FMEA e FTA). Belo Horizonte: Fundação Cristiano Ottoni, 1995. Citado na página 20.

MOURA, C. R. S.; CARRETEIRO, R. P. Lubrificantes e lubrificação. 8. ed. Rio de Janeiro: LTC, 1978. Citado na página 16.

RESNICK, R.; HALLIDAY, D.; WALKER, J. Fundamentos De Física - Volume 1 - Mecânica. 8. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2009. Citado 2 vezes nas páginas 15 e 17.

REXNORD. Instalação e manutenção: Acoplamento hidrodinâmico Falk. EUA, 2014. Disponível em: http://www.rexnord.com.br. Acesso em: 08 Junho, 2018. Citado na página 36.

SEN, P. C. *Principles of electric machines and power electronics*. 2. ed. USA: John Wiley and Sons, 1996. Citado na página 13.

SILVA, L. E. B. da et al. Desenvolvimento de um sistema de detecção de defeitos precoces em motores de indução. In: *Anais do sexto Congresso de Inovação Tecnológica em Energia Elétrica*. Fortaleza, Brasil: [s.n.], 2011. Disponível em: . Acesso em: 23 Abril, 2018. Citado na página 12.

SOUZA, A. J. Sistema de Gerência de Informação de Processos Industriais via WEB. Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2005. Citado na página 19.

STAMATELATOS, M. et al. Fault Tree Handbook with Aerospace Applications. Washington, DC, USA: NASA Office of Safety and Mission Assurance, 2002. Citado 2 vezes nas páginas 20 e 22.

VALE. Trilha Técnica Manutenção Portuária: Acoplamentos Hidráulicos de Enchimento Constante. Vitória, 2012. Citado 2 vezes nas páginas 15 e 16.

VOITH. Instruções de montagem e de funcionamento: Turboacoplamentos com enchimento constante. Alemanha, 1999. Disponível em: http://www.voith.com. Acesso em: 24 Abril, 2018. Citado 2 vezes nas páginas 15 e 16.