



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO
ESCOLA DE MINAS
COLEGIADO DO CURSO DE ENGENHARIA DE
CONTROLE E AUTOMAÇÃO - CECAU**



LUCAS ANDERY REIS

MELHORIA DO DESEMPENHO DE MALHAS DE CONTROLE

UTILIZANDO A METODOLOGIA *LEAN* SEIS SIGMA

**MONOGRAFIA DE GRADUAÇÃO EM
ENGENHARIA DE CONTROLE E AUTOMAÇÃO**

Ouro Preto, 2016

LUCAS ANDERY REIS

**MELHORIA DO DESEMPENHO DE MALHAS DE CONTROLE
UTILIZANDO A METODOLOGIA *LEAN* SEIS SIGMA**

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia de Controle e Automação da Universidade Federal de Ouro Preto como parte dos requisitos para a obtenção do Grau de Engenheiro de Controle e Automação.

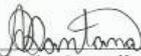
Orientadora: Prof^a. Adrielle de Carvalho Santana

Ouro Preto

Escola de Minas – UFOP

MARÇO / 2016

Monografia defendida e aprovada, em 10 de março de 2016, pela comissão avaliadora constituída pelos professores:



Profa. M.Sc. Adrielle de Carvalho Santana - Orientadora



Profa. Dra. Zirlene Alves da Silva Santos – Professora Convidada



Prof. Dr. Agnaldo José da Rocha Reis – Professor Convidado

R375m Reis, Lucas Andery.

Melhoria do desempenho de malhas de controle utilizando a
metodologia lean seis sigma[manuscrito] / Lucas Andery Reis. – 2016.

131f. : il., color., Graf., tab.

Orientador: Prof. Dr. Adrielle de Carvalho Santana.

Monografia (Graduação) – Universidade Federal de Ouro

Fonte de catalogação: bibem@sisbin.ufop.br

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos que contribuíram para a realização deste trabalho.

De modo especial, agradeço:

A Deus, por ser luz e meu guia.

Aos meus pais e irmão, pelo amor, incentivo e apoio incondicional.

À Raiane, pelo amor, companheirismo e paciência durante esta trajetória.

À Adrielle, que me aceitou como orientando, por tudo que me ensinou durante essa caminhada e principalmente pelo apoio e confiança.

À SAMARCO MINERAÇÃO S/A e ao departamento de Automação, por ter confiado em meu trabalho e ter proporcionado esta experiência.

RESUMO

Devido à desvalorização do minério de ferro, faz-se necessário reduzir os custos operacionais da empresa, que estão diretamente relacionados ao processo produtivo. Uma das maneiras de reduzi-los é melhorar o desempenho do controle regulatório. Com o baixo desempenho das malhas de controle perde-se em desempenho dos equipamentos, qualidade e produção, o que acarreta na diminuição da receita e no aumento dos custos operacionais. A partir da utilização das ferramentas de análise qualitativa e quantitativa da metodologia *Lean Seis Sigma* (modelo DMAIC) foi construído um estudo de caso com o objetivo de melhorar o desempenho das malhas de controle de uma linha de beneficiamento de minério de ferro. Para isto, foi utilizado o *software* TriCLPM que faz a gestão *on-line* do controle regulatório e possibilita quantificar o desempenho e inferir as possíveis causas e ações corretivas, as quais podem auxiliar na melhoria do controle. De posse das informações necessárias, o desempenho do controle regulatório estudado foi melhorado tendo aqui o auxílio do *software* BRTuning que faz sintonia dos controladores PID. Como previsto, as fases propostas no estudo foram executadas na sua totalidade resultando na entrega de todas as necessidades dos clientes levantadas no início da execução do estudo. Este trabalho também mostrou que a integração da metodologia adotada com as ferramentas de gestão de malhas de controle baseadas nos indicadores de desempenho utilizadas no *software* TriCLPM foi eficaz na redução da variabilidade das malhas possibilitando ganhos qualitativos e quantitativos após as melhorias realizadas. Além disso, com o resultado positivo obtido, esta pesquisa serve como referência para a melhoria do desempenho de malhas de controle no beneficiamento de minério de ferro, além de disseminar a importância de promover uma gestão do controle regulatório nos processos produtivos de uma empresa.

Palavras chave: gestão de malhas de controle, *Lean Seis Sigma*, sintonia de malhas de controle, desempenho de malhas de controle.

ABSTRACT

Due to the depreciation of iron ore, it is necessary to reduce the company's operating costs, which are directly related to the production process. One way to reduce them is to improve the performance of regulatory control. The poor performance of the control loop affects the equipment performance, the quality and the production, resulting in decreased revenue and increased operating costs. From the use of the tools of qualitative and quantitative analysis of the methodology Lean Six Sigma (DMAIC model) it was built a case study in order to improve the performance of control loop of a processing of iron ore line. For this, it was used the TriCLPM software that makes online management of regulatory control and enables to quantify the performance and infer the possible causes and corrective actions, which may assist in improving control. In possession of the necessary information, the performance of regulatory control study was improved with the help of BRTuning software that makes tuning of PID controllers. As expected, the steps proposed in the study were performed in full, resulting in the delivery of all customer needs raised earlier in the execution of the study. This work also showed that the integration of the methodology adopted by the meshes of management control tools based on the performance indicators used in TriCLPM software was effective in reducing the variability of meshes allowing qualitative and quantitative gains after the improvements. Moreover, with the positive result, this research serves as a reference for the improvement of the loop control performance in iron ore processing, and disseminating the importance of a management of regulatory control in the production processes of companies.

Keywords: control loops management, Lean Six Sigma, tuning control loops, control loops performance.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| FIGURA 1.1 – Sistema de controle em malha aberta | 12 |
| FIGURA 1.2 – Sistema de controle em malha fechada..... | 12 |
| FIGURA 2.1 – Esquema Típico de Processo | 20 |
| FIGURA 2.2 – Fluxograma das atividades da etapa Definir..... | 24 |
| FIGURA 2.3 – Fluxograma das atividades da etapa Medir | 28 |
| FIGURA 2.4 – Exemplo de Mapeamento por fluxogramas convencionais | 29 |
| FIGURA 2.5 – Exemplo de Mapeamento por raias | 29 |
| FIGURA 2.6 – Mapa do Fluxo de Valor | 30 |
| FIGURA 2.7 – Fluxograma das atividades da etapa Analisar..... | 34 |
| FIGURA 2.8 – Gráfico de Pareto | 36 |
| FIGURA 2.9 – Princípio de Pareto..... | 36 |
| FIGURA 2.10 – Modelo de FMEA | 37 |
| FIGURA 2.11 – Gráfico de Dispersão | 40 |
| FIGURA 2.12 – Gráfico de Regressão Linear | 41 |
| FIGURA 2.13 – Fluxograma das atividades da etapa Aprimorar | 42 |
| FIGURA 2.14 – Fluxograma das atividades da etapa Aprimorar | 47 |
| FIGURA 3.1 – Fluxograma da pré-moagem da linha 1 | 54 |
| FIGURA 3.2 – Fluxograma da moagem primária e deslamagem da linha 1 | 55 |
| FIGURA 3.3 – Fluxograma da flotação convencional da linha 1 | 56 |
| FIGURA 3.4 – Mapa de processo da malha de controle | 58 |
| FIGURA 3.5 – Gráfico de desempenho das malhas da linha 1 | 60 |
| FIGURA 3.6 – Gráfico de desempenho das malhas da linha 1 com benchmark e meta..... | 61 |
| FIGURA 3.7 – Sistema de medição do <i>software</i> de gestão e malhas | 62 |
| FIGURA 3.8 – Estrutura de estratificação do problema | 63 |
| FIGURA 3.9 –Estratificação do problema por área | 64 |
| FIGURA 3.10 – Estratificação do problema por tipo..... | 65 |
| FIGURA 3.11 – Resultado da estratificação por tipo de malha e por área | 65 |
| FIGURA 3.12 – Estratificação: pré-moagem x tipos de malhas | 66 |
| FIGURA 3.13 – Estratificação: moagem primária x tipos de malhas | 66 |
| FIGURA 3.14 – Estratificação: deslamagem x tipos de malhas | 67 |
| FIGURA 3.15 – Estratificação: flotação x tipos de malhas | 67 |

| | |
|---|-----|
| FIGURA 3.16 – Resultado da estratificação por tipo de malha para cada área | 68 |
| FIGURA 3.17 – Etapas do processo com respectivas malhas de controle..... | 69 |
| FIGURA 3.18 – Identificação das causas potenciais – máquina e método..... | 70 |
| FIGURA 3.19 – Identificação das causas potenciais – mão-de-obra e material | 70 |
| FIGURA 3.20 – Identificação das causas potenciais – medidas e meio-ambiente | 71 |
| FIGURA 3.21 – Análise 05 porquês – máquina..... | 71 |
| FIGURA 3.22 – Análise 05 porquês – máquina..... | 72 |
| FIGURA 3.23 – Análise 05 porquês – máquina..... | 72 |
| FIGURA 3.24 – Análise 05 porquês – material | 73 |
| FIGURA 3.25 – Análise 05 porquês – medidas | 73 |
| FIGURA 3.26 – Análise 05 porquês – medidas | 74 |
| FIGURA 3.27 – Análise 05 porquês – método | 74 |
| FIGURA 3.28 – Análise 05 porquês – método | 75 |
| FIGURA 3.29 – Análise 05 porquês – mão-de-obra..... | 75 |
| FIGURA 3.30 – Análise 05 porquês – mão-de-obra..... | 76 |
| FIGURA 3.31 – Treinamento da ferramenta TriCLPM..... | 79 |
| FIGURA 3.32 – Manutenção preventiva nos ativos das malhas de controle | 79 |
| FIGURA 3.33 – Manutenção preventiva nos ativos das malhas de controle..... | 80 |
| FIGURA 3.34 – Exemplo da tela de detalhes das malhas de controle..... | 80 |
| FIGURA 3.35 – Projetando o controlador PID pelo BrTuning..... | 81 |
| FIGURA 3.36 – Acompanhamento do indicador..... | 83 |
| FIGURA 3.37 – Percentual do tempo com controle pelo PID | 84 |
| FIGURA 3.38 – Percentual do tempo sem controle..... | 85 |
| FIGURA 3.39 – Percentual do tempo da malha saturada..... | 86 |
| FIGURA 3.40 – Plano de monitoramento..... | 87 |
| FIGURA A.1 – Análise de variabilidade da malha do tipo corrente..... | 92 |
| FIGURA A.2 – Análise de variabilidade das malhas do tipo nível set-point..... | 93 |
| FIGURA A.3 – Análise de variabilidade malhas do tipo nível pulmão..... | 94 |
| FIGURA A.4 – Análise de variabilidade malhas do tipo vazão correia..... | 95 |
| FIGURA A.5 – Análise de variabilidade malhas do tipo vazão correia..... | 96 |
| FIGURA A.6 – Análise de variabilidade malhas do tipo vazão..... | 97 |
| FIGURA A.7 – Análise de variabilidade malhas do tipo vazão..... | 98 |
| FIGURA A.8 – Análise de variabilidade malhas do tipo pH..... | 99 |
| FIGURA A.9 – Sumário dos dados da malha do tipo corrente | 100 |

| | |
|--|-----|
| FIGURA A.10 – Sumário dos dados das malhas do tipo nível set-point | 101 |
| FIGURA A.11 – Sumário dos dados das malhas do tipo nível pulmão | 102 |
| FIGURA A.12 – Carta de Controle das malhas do tipo nível pulmão | 103 |
| FIGURA A.13 – Sumário dos dados das malhas do tipo vazão correia..... | 104 |
| FIGURA A.14 – Sumário dos dados das malhas do tipo vazão..... | 105 |
| FIGURA A.15 – Sumário dos dados das malhas do tipo pH | 106 |
| FIGURA B.1 – WIC-285.1 – Controle de vazão da correia CV-20..... | 107 |
| FIGURA B.2 – WIC-250.1 - Controle do alimentador rotativo pela vazão mássica | 107 |
| FIGURA B.3 – FIC-285.1 - Controle da vazão de água para o pré-moinho PM-01..... | 108 |
| FIGURA B.4 – LIC-290.1 - Controle de nível da caixa ST-43..... | 108 |
| FIGURA B.5 – LIC-302.1 - Controle do nível da caixa ST-01 (água de retorno)..... | 109 |
| FIGURA B.6 – LIC-302.1a - Controle do nível da caixa ST-01..... | 109 |
| FIGURA B.7 – LIC-305.1 - Controle do nível da caixa ST-05 | 110 |
| FIGURA B.8 – LIC-321.1 - Controle do nível da caixa ST-09 (água de retorno)..... | 110 |
| FIGURA B.9 – LIC-321.1a - Controle do nível da caixa ST-09..... | 111 |
| FIGURA B.10 – LIC-325.1 - Controle do nível da caixa ST-47 | 111 |
| FIGURA B.11 – AIC-314.1 - Controle do pH no ciclone CS-01 | 112 |
| FIGURA B.12 – FIC-363.1 - Controle de água para o TK-25 | 112 |
| FIGURA B.13 – FIC-364.1 – Controle de água para a célula rougher | 113 |
| FIGURA B.14 – AIC-362.1 - Controle do pH da flotação | 113 |
| FIGURA B.15 – LIC-1360.1 - Controle do nível da rougher | 114 |
| FIGURA B.16 – LIC-1361.1 - Controle do nível da cleaner | 114 |
| FIGURA B.17 – LIC-1381.1 - Controle do nível ST-13 pela cleaner da scanv. | 115 |
| FIGURA B.18 – LIC-1381.1 - Controle do nível da cleaner da scavenger | 115 |
| FIGURA B.19 – FIC-535.1 - Controle de adição de amido para o TK-25 | 116 |
| FIGURA B.20 – FIC-545.1 - Controle de adição de amina para o TK-25 | 116 |
| FIGURA B.21 – LIC-1380.1 - Controle do nível da scavenger primária | 117 |
| FIGURA B.22 – LIC-13 - Controle do nível da caixa ST-13 | 117 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|-----|
| TABELA 2.1 – Quantificação e Priorização das Causas | 35 |
| TABELA 2.2 – Matriz Pugh | 43 |
| TABELA 2.3 – Exemplo de Plano de Monitoramento | 49 |
| TABELA 3.1 – VOC (voz do cliente)..... | 57 |
| TABELA 3.2 – Expressões para geração das notas de desempenho..... | 59 |
| TABELA 3.3 – Cronograma macro do projeto | 61 |
| TABELA 3.4 – Priorização das causas fundamentais | 76 |
| TABELA 3.5 – Ideias para solução das causas priorizadas | 77 |
| TABELA 3.6 – Ideias para solução das causas priorizadas | 78 |
| TABELA 3.7 – Sintonia dos controladores PID | 82 |
| TABELA C.1 – Matriz OGD | 118 |
| TABELA D.1 – Matriz RAB (rapidez, autonomia, benefício) | 121 |
| TABELA E.1 – Plano de ação..... | 127 |

SUMÁRIO

| | | |
|----------|--|-----------|
| 1 | INTRODUÇÃO..... | 11 |
| 1.1 | Formulação do Problema..... | 11 |
| 1.2 | Objetivo..... | 13 |
| 1.2.1 | Objetivo Geral..... | 13 |
| 1.2.2 | Objetivos Específicos..... | 14 |
| 1.3 | Justificativa..... | 14 |
| 1.4 | Metodologia..... | 14 |
| 1.5 | Estrutura do Trabalho..... | 17 |
| | | |
| 2 | REVISÃO BIBLIOGRÁFICA..... | 18 |
| 2.1 | Gestão de Malhas de Controle..... | 18 |
| 2.2 | Sintonia de Malhas de Controle..... | 19 |
| 2.3 | Metodologia <i>Lean Seis Sigma</i> | 21 |
| 2.3.1 | Fase Definir..... | 23 |
| 2.3.2 | Fase Medir..... | 27 |
| 2.3.3 | Fase Analisar..... | 33 |
| 2.3.4 | Fase Aprimorar..... | 41 |
| 2.3.5 | Fase Controlar..... | 46 |
| 2.4 | Estado do conhecimento..... | 50 |
| | | |
| 3 | ESTUDO DE CASO..... | 53 |
| 3.1 | Visão Geral do Processo..... | 53 |
| 3.2 | Fase Definir..... | 57 |
| 3.3 | Fase Medir..... | 62 |
| 3.4 | Fase Analisar..... | 68 |
| 3.5 | Fase Aprimorar..... | 77 |
| 3.6 | Fase Controlar e Resultados..... | 83 |
| | | |
| 4 | CONCLUSÃO..... | 88 |
| | | |
| | REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... | 89 |
| | | |
| | APÊNDICE A – Análise de Variabilidade e Oportunidade de Melhoria..... | 92 |

| | |
|---|------------|
| APÊNDICE B – Mapas de Processo | 107 |
| APÊNDICE C – Matriz OGD..... | 118 |
| APÊNDICE D – Matriz RAB | 121 |
| APÊNDICE E – Plano de Ação | 127 |

1 INTRODUÇÃO

Neste capítulo é feita a apresentação do problema tratado nesta pesquisa e são discutidos também os objetivos dessa, a justificativa da sua realização, a metodologia adotada em seu desenvolvimento bem como o contexto em que foi realizada.

1.1 Formulação do Problema

Diante do novo cenário da mineração, marcado pela desvalorização do minério de ferro, é de grande importância a redução de custos operacionais, que estão diretamente relacionados ao processo produtivo. Uma das maneiras para reduzi-los é por meio da redução da variabilidade no processo, em que as malhas de controle têm seu papel definido. O mau funcionamento das malhas de controle acarreta numa alta oscilação das variáveis de processo, ou seja, o controle regulatório é a base da unidade de processo de uma planta. Com o baixo desempenho das malhas se perde em desempenho dos equipamentos, qualidade e produção, que acarreta na diminuição da receita e aumento dos custos operacionais.

Segundo DiStefano et al (1990), um sistema de controle é a conexão de componentes físicos para comandar, direcionar ou regular um sistema. No ambiente industrial, pode-se afirmar que um sistema de controle é um determinado conjunto de equipamentos destinados a manter o controle de uma grandeza dentro de uma faixa de operação ótima. Esses sistemas podem ser chamados de malhas de controle.

Um sistema de controle pode ser definido como sendo sistema de malha aberta ou malha fechada. Ogata (2003) define sistema de malha aberta como sendo um sistema em que o sinal de saída não retorna como referência para o controlador. Ou seja, não há medição da grandeza envolvida para que seja comparada com a entrada. Pode-se dizer que este controle é manual, onde não é controlada nenhuma grandeza física e que qualquer distúrbio no sistema interfere no controle. A figura 1.1 mostra o diagrama de blocos de um sistema de controle em malha aberta, onde a saída do controlador $Y(s)$ depende somente da entrada $U(s)$ e da função de transferência $G(s)$ do controlador.

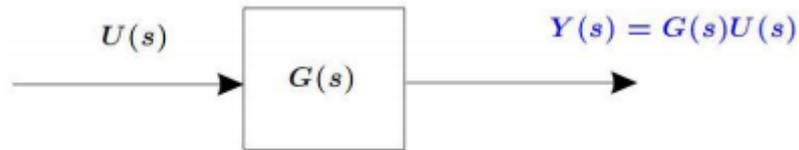


FIGURA 1.1 – Sistema de controle em malha aberta

Fonte: PALHARES, 2009.

Para o sistema de controle em malha fechada, Ogata (2003) define como sendo uma relação de comparação entre a saída e a entrada de referência, que pode ser tanto o próprio sinal de saída quanto alguma função do mesmo, incluindo integrais ou derivadas; que realimenta o controlador, com o objetivo de eliminar o erro do sistema. A figura 1.2 representa um diagrama de blocos de um sistema de controle em malha fechada, onde a entrada $R(s)$ é comparada ao sinal de realimentação $B(s)$, que é uma função $H(s)$ da saída $Y(s)$. A diferença entre $R(s)$ e $B(s)$ gera o sinal de erro $U(s)$ que alimenta $G(s)$, que representa o controlador.

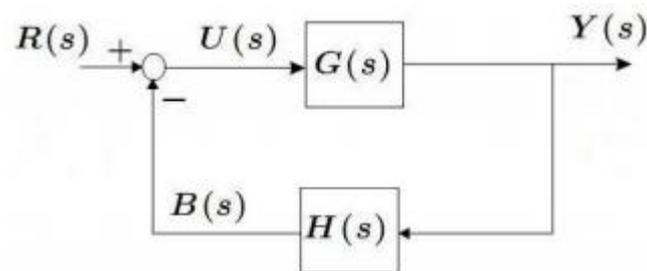


FIGURA 1.2 – Sistema de controle em malha fechada

Fonte: PALHARES, 2009.

A variabilidade nos sistemas de controle deve-se a vários fatores relacionados com as entradas físicas, como ineficiência de transmissores, e com as saídas, como desgaste e agarramento de válvulas de controle. Além de projeto e sintonia inadequados para um controlador (MAKAROVSKY; ARBEX, 2004).

Segundo KEMPF (2003), com o passar do tempo, as malhas de controle apresentam uma piora de seu desempenho devido a alterações naturais e contínuas na dinâmica dos processos. Porém as plantas industriais possuem inúmeras malhas de controle tornando a

manutenção do controle regulatório um trabalho intenso e caro. Por isso, faz-se necessário identificar de maneira simples e rápida quais malhas não estão com bom desempenho e por meio disso realizar as manutenções necessárias para a melhora de seu controle.

Com a finalidade de monitorar o desempenho das malhas de controle foram desenvolvidas várias metodologias por meio de análise não-invasiva dos dados de processo. Mesmo consolidadas, estas metodologias para monitoramento do desempenho do controle regulatório não são utilizadas em grande parte das plantas industriais (HARRIS et al., 1999).

A Samarco Mineração SA possui o *software* de auditoria TriCLPM, desenvolvido pela empresa TriSolutions, que faz a gestão *on-line* das malhas de controle. Na unidade de Germano, o *software* foi implantado em dois concentradores. Desde então, são gerados relatórios de desempenho de todas as malhas cadastradas. A partir de um histórico é possível observar que as malhas estão com baixo desempenho.

A linha de beneficiamento a ser estudada é constituída pelas etapas de moagem, classificação e concentração por flotação. A planta é composta por malhas de controle de nível, pH e adição de insumos, as quais operam por meio de controladores PID (proporcional, integral e derivativo), o qual tem como objetivo principal manter a variável de processo igual ao valor desejado, mesmo na presença de perturbações, distúrbios ou mudanças de faixa de trabalho.

O trabalho aqui apresentado mostra um estudo de caso em que uma metodologia para a gestão de malhas de controle é utilizada, com o auxílio do *software* de auditoria TriCLPM e o *software* de sintonia de controladores PID, BRTuning; visando a melhoria do desempenho das malhas envolvidas.

1.2 Objetivo

1.2.1 **Objetivo Geral**

Desenvolver o estudo do desempenho das malhas de controle de uma linha de beneficiamento de minério de ferro do concentrador 1 da Samarco Mineração SA, unidade de

Germano, localizada em Mariana, Minas Gerais, com a finalidade de melhorar seu desempenho utilizando a metodologia *Lean Seis Sigma* (modelo DMAIC) para o estudo de caso.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Utilizar um *software* de auditoria de malhas que faz a gestão *on-line* e possibilita quantificar o desempenho e inferir as possíveis causas e ações corretivas, as quais podem auxiliar na melhoria do controle.
- Aplicar a metodologia *Lean Seis Sigma* (modelo DMAIC) visando melhorar o desempenho das malhas estudadas.
- Validar a solução proposta e monitorar o desempenho das malhas trabalhadas neste estudo.

1.3 Justificativa

O controle regulatório é a base da operação do processo produtivo industrial. Qualquer problema na base se refletirá na perda de desempenho da planta e consequentemente na diminuição de receitas e aumento de custos da empresa.

A metodologia *Lean Seis Sigma* auxiliada por um *software* de gestão, pode possibilitar, de forma estruturada, a melhora do desempenho do controle regulatório.

Além disso, o estudo de caso ressalta a importância de possuir uma gestão do controle regulatório no processo produtivo da empresa, e servirá como referência para a melhoria do desempenho das malhas de controle nas demais plantas da unidade.

1.4 Metodologia

A metodologia adotada utiliza os aspectos qualitativos e quantitativos da metodologia *Lean Seis Sigma*.

Como abordagem quantitativa, o Seis Sigma utiliza, no decorrer de todas as etapas, análises de dados e medições como forma de captura de informação para tomada de decisão (REVERE; BLACK, 2003). Além disso, o programa Seis Sigma é rico em indicadores de desempenho direcionadores para melhorar o alinhamento com a estratégia (EVANS, 2004). Assim, é possível realizar o desdobramento do problema, onde realiza-se uma análise dos dados coletados, por meio de estratificação e análise estatística que podem acarretar em um estabelecimento de metas específicas para o alcance do objetivo.

Para auxiliar na análise e aumentar as possibilidades de decisão com base nos resultados quantitativos, utilizou-se a análise qualitativa como forma complementar de interpretação dos dados coletados, por meio da estruturação dos dados.

Fundamentado nos aspectos quantitativos e qualitativos, a metodologia adotada neste trabalho consiste, primeiramente, em utilizar a revisão da literatura existente para buscar informações pertinentes sobre a metodologia *Lean Seis Sigma* e a respeito da gestão *on-line* de malhas de controle com foco na melhoria do desempenho.

Em seguida, aplicar a metodologia *Lean Seis Sigma*, que é uma estratégia de excelência operacional com foco em resolução de problemas, em que é utilizado o modelo gerencial DMAIC. Este processo é constituído de cinco fases, as quais serão discutidas em detalhes neste trabalho, são elas: Definir, Medir, Analisar, Aprimorar e Controlar (*Define, Measure, Analyse, Improve e Control - DMAIC*).

- Definir: nesta etapa é desenvolvido o contrato do projeto, onde define-se o escopo, meta, o mapa de processo e quais benefícios teremos com a entrega do projeto;
- Medir: é feita a estratificação do problema, onde analisa-se dados por meio de métodos estatísticos com o objetivo de identificar problemas crônicos e oportunidades de melhorias. Também é feita a validação do sistema de medição;
- Analisar: identificar possíveis causas e por meio de análise de dados e/ou processo, encontrar as causas raízes e por fim é feita a priorização das causas raízes validadas;
- Aprimorar: criar ideias inovadoras para soluções potenciais e otimizá-las. Criar novo mapa de processo e implementar as soluções por meio de teste piloto para validação das soluções e posteriormente aplicar em larga escala;

- Controlar: acompanhar a implementação do plano de ação validando o cumprimento dos objetivos estabelecidos. Definir e implementar um plano para o monitoramento do desempenho do processo e do alcance da meta.

Durante o desenvolvimento do trabalho os dados coletados por meio do modelo DMAIC são tratados utilizando o *software* TriCLPM, desenvolvido pela TriSolutions, que faz a gestão *on-line* do controle regulatório. Por meio dele é possível acompanhar a nota de desempenho para cada malha de controle e identificar as possíveis causas do baixo desempenho. Utilizou-se também o *software* BrTuning, desenvolvido pela TriSolutions, que faz a sintonia de malhas para um ajuste preciso no controlador PID (proporcional, integral e derivativo).

1.5 Estrutura do Trabalho

A monografia está estruturada em quatro capítulos, no capítulo 1 a pesquisa é apresentada e são trazidos seus objetivos, justificativa, metodologia adotada bem como o contexto em que foi realizada.

No capítulo 2 são revisados aspectos pertinentes a literatura existente acerca dos trabalhos que envolvem conceitos relacionados à gestão *on-line* de malhas de controle, sintonia de controladores PID e o modelo DMAIC. A intenção é construir uma perspectiva teórica que fundamentasse a metodologia *Lean Seis Sigma* e os resultados de outros trabalhos que utilizaram *softwares* de auditoria do controle regulatório.

O capítulo 3 é empregado para apresentar o estudo de caso e os resultados obtidos com o desenvolvimento do trabalho.

Por fim, no capítulo 4 são tratadas as conclusões e considerações finais.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo é feita a apresentação da revisão bibliográfica acerca do modelo DMAIC da metodologia *Lean Seis Sigma* e dos trabalhos relacionados à gestão *on-line* de malhas de controle.

2.1 Gestão de Malhas de Controle

O controle regulatório é a base da operação do processo industrial. Para garantir qualidade no produto final, as malhas de controle devem estar com alto desempenho. Para isso, é necessário realizar a gestão dos ativos das malhas de controle para a manutenção do desempenho da planta (JELALI, 2006).

Os *softwares* de gestão *on-line* têm a finalidade de quantificar o desempenho da malha e inferir as causas e ações corretivas, as quais podem auxiliar na melhoria do controle. Para se ter um controle regulatório com alto desempenho e assim reduzir a variabilidade do processo, estas ferramentas de auditoria são indispensáveis.

Segundo Fonseca et al. (2004), o controlador é o principal responsável pelo desempenho do sistema de controle automático, pois sua ação compensa ineficiências dos demais elementos da malha de controle, por isso a avaliação de desempenho é essencial para garantir a eficiência do controle regulatório. Pode-se concluir que a malha de controle é um dos principais ativos da empresa e está diretamente relacionado ao desempenho produtivo e qualitativo do produto final.

As ferramentas para gestão *on-line* de malhas possuem interface OPC (*OLE for Process Control*), que possibilita a coleta não invasiva dos dados do sistema de controle da planta de forma autônoma (LONGHI et al., 2008).

Neste trabalho, é utilizado o *software* TriCLPM (*TriSolutions Control Loop Performance Monitor*) para avaliação e monitoramento do sistema de controle do processo. A gestão *on-line* permite a identificação das malhas de controle críticas com mau desempenho e das suas causas, o que reduz o tempo gasto com análises e possibilita a sua manutenção

predictiva (TRISOLUTIONS, 2014). Ainda segundo a Trisolutions (2014), o *software* possui como principais funcionalidades:

- **Relatórios:** o TriCLPM gera relatórios que permitem visualizar os problemas prioritários e suas causas. Além de fornecer uma visão geral dos ativos de controle para acompanhar o desempenho global de plantas, unidades, equipamentos e malhas de controle. Já nos relatórios detalhados, possibilita o acompanhamento específico do desempenho de cada malha de controle individualmente.
- **Acompanhamento:** o TriCLPM disponibiliza dois sistemas para registro das alterações que são realizadas ao longo do processo de manutenção contínua do desempenho.
- **Sistema de rastreamento de alteração de sintonia de controladores:** cria um histórico das modificações realizadas nos parâmetros do controlador.
- **Sistema de pedidos de ações corretivas:** gerencia o andamento das ações corretivas, montando um banco com as soluções encontradas para os diferentes problemas apresentados.

2.2 Sintonia de Malhas de Controle

Um sistema de controle tem como objetivo reduzir a influência de perturbações externas, otimizar o desempenho e garantir a estabilidade do processo. Com um controle mais eficiente tem-se uma maior proximidade entre o set-point e a variável de processo, além de um menor desvio padrão na saída.

Após identificar, por meio do *software* de gestão, as malhas de controle que necessitam de sintonia são processadas pelo *software* sintonizador para realizar a identificação dos parâmetros proporcional, integral e derivativo (equação 2.1) do controlador PID pertencente ao processo, conforme esquema da figura 2.1.

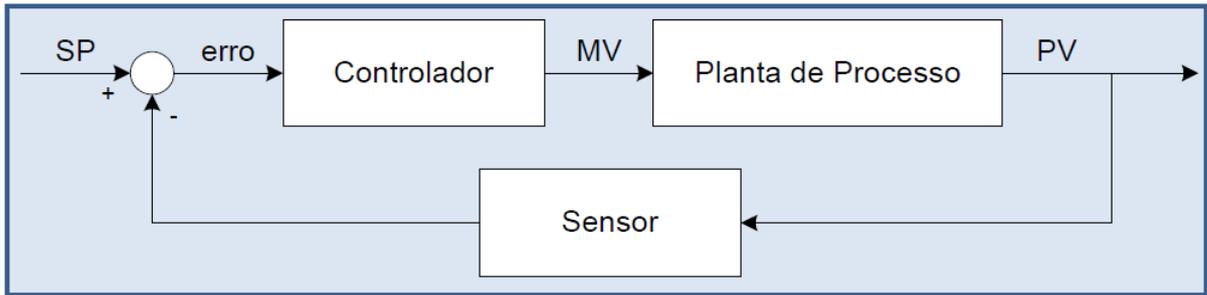


FIGURA 2.1 – Esquema Típico de Processo

Fonte: BRTUNING, 2014.

Onde:

PV: Variável de Processo (variável que se deseja controlar).

SP: Set Point (valor desejado para a PV).

MV: Variável Manipulável (variável na qual se atua para mudar a PV).

Erro: Diferença entre o SP e a PV.

$$MV(t) = K_p \left(e(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(\tau) d\tau + T_d \frac{d}{dt} e(t) \right) \quad (2.1)$$

Onde:

Ganho Proporcional: K_p

Ganho Integrativo: $K_i = K_p / T_i$

Ganho Derivativo: $K_d = T_d \cdot K_p$

Como vantagem da sintonia de controladores PID tem-se: poucos parâmetros a serem sintonizados, fácil associação entre os parâmetros de sintonia e o desempenho, além da robustez, onde uma mesma sintonia atende vários pontos de operação (BRTUNING, 2014).

Com isso, a sintonia é empregada para manter a estabilidade do processo, restaurar as condições do sistema ou mover o processo para uma nova região de operação, quando há

alteração de *setpoint*. Como objetivo real, tem-se a maximização da rentabilidade da planta com o aumento das taxas de produção e redução de custos (ISA, 2009).

Neste trabalho é utilizado o *software* BrTuning para sintonia de controladores PID, o qual possui um ambiente integrado que permite a perturbação do processo, a coleta dos dados e a identificação do modelo de sintonia das malhas de controle. Possibilita a padronização de uma metodologia para a sintonia e dispensa o uso de planilhas e cálculos manuais. Sua interface de comunicação em padrão OPC (*OLE for Process Control*) o torna capaz de atuar de forma *on-line* (TRISOLUTIONS, 2014).

2.3 Metodologia *Lean Seis Sigma*

A metodologia *Lean Seis Sigma* é resultante da integração entre o Seis Sigma e o *Lean Manufacturing*, por meio da união dos principais pontos de cada programa, onde se torna poderosa e eficaz para a solução de qualquer necessidade de melhoria de processos ou produtos. O *Lean Manufacturing* é um programa que tem por objetivo eliminar desperdícios, ou seja, exclui o que não tem valor para o cliente e imprime mais velocidade ao processo. Já o Seis Sigma tem como ponto principal a redução de custos e melhoria da qualidade de produtos e processos, o que aumenta a satisfação do cliente e os lucros da empresa (WERKEMA, 2006).

A integração entre *Lean Manufacturing* e o Seis Sigma é natural: a empresa pode – e deve – usufruir os pontos de ambas estratégias. Por exemplo, o *Lean Manufacturing* não conta com um método estruturado e profundo de solução de problemas e com ferramentas estatísticas para lidar com a variabilidade, aspecto que pode ser complementado pelo Seis Sigma. Já o Seis Sigma não enfatiza a melhoria da velocidade dos processos e a redução do *lead time*, aspectos que constituem o núcleo do *Lean Manufacturing* (WERKEMA, 2006).

O *Lean Manufacturing* surge a partir de um sistema de produção iniciado por Toyota Taiichi Ohno, na década de 50, que visa identificar e eliminar desperdícios, com o objetivo de aumentar a qualidade e a velocidade de produção e reduzir custos. No final da década de 80, o Sistema Toyota de Produção foi denominado produção enxuta (*Lean Production* ou *Lean Manufacturing*) por James P. Womack e Daniel T. Jones em um estudo sobre a indústria automobilística mundial nos anos 80, o que chamou a atenção de diversos setores industriais. Já o Seis Sigma foi desenvolvido inicialmente na Motorola na década de 80 com o objetivo de

prepara-la para enfrentar sua concorrência que possuía produtos de alta qualidade com preços baixos, tornando o programa reconhecido pelo sucesso na organização (WERKEMA, 2006).

A popularização da metodologia Seis Sigma ocorreu na década de 90 celebrado pela empresa General Electric. A GE tinha como objetivo reduzir as causas especiais de variação, ou seja, aquelas que acontecem inesperadamente e prejudica o nível de qualidade do processo. Com a redução das causas comuns da variação, a empresa alcançou expressivos resultados financeiros (WATSON, 2001).

Com foco no alcance das metas estratégicas da empresa, o Seis Sigma utiliza de ferramentas e métodos complexos, como o DMAIC que é um modelo para melhoria de produtos e processos existentes. Este modelo é constituído de cinco fases que norteiam o estudo e o desenvolvimento das soluções para melhoria no processo ou produto. Estas fases são: *Define* (Definição - D), *Measure* (Medição - M), *Analyze* (Análise - A), *Improve* (Melhoria - I) e *Control* (Controle - C). A ideia de dividir o estudo em fases é estruturar as atividades, sugerindo uma sequência lógica de resolução de problemas.

Aliado ao modelo DMAIC, ferramentas do *Lean Manufacturing* são inseridas com o objetivo de identificar soluções imediatas com utilização de técnicas simples para análise dos dados, enfatizar a maximização da velocidade dos processos e buscar a redução do *lead time* e do trabalho em processo. A maioria das ferramentas do *Lean Manufacturing* são empregadas nas etapas *Improve* e *Control* (WERKEMA, 2006).

As necessidades de aprimoramento nos processos industriais são mais importantes agora do que foram no passado e continuarão cada vez mais intensas no futuro. Um ambiente com retrabalho, estoques elevados, clientes insatisfeitos, *lead time* (tempo de atravessamento) longo, custos crescentes; está perdendo espaço para um ambiente que elimina estoque, deixa o cliente satisfeito, reduz o *lead time* e mantêm os custos estáveis. Para isto, se busca a excelência operacional, ou seja, melhor qualidade, maior velocidade e flexibilidade, além do menor custo (CAMPOS, 2013).

A incorporação *Lean Seis Sigma* tem como vantagens principais: integração entre qualidade e produtividade, compartilhamento de recursos, resultados mais rápidos e tornar uma única estratégia de aprimoramento. Além disso, a metodologia tem ajudado as organizações a desenvolver uma orientação à visão de processos, aumentar a qualidade, reduzir os custos, aumentar a satisfação do cliente e reduzir o *lead time* das operações.

No estudo de caso feito neste trabalho, a integração do *Lean Seis Sigma* foi feita baseada no modelo DMAIC cujas fases são detalhadas a seguir.

2.3.1 Fase Definir

A primeira etapa do modelo DMAIC consiste da identificação do problema, onde na seleção do projeto, a liderança identifica uma área de oportunidade de melhoria ou criação de um processo. São levantadas todas as variáveis suspeitas de influenciarem no problema.

Segundo Werkema (2004), as atividades desta etapa podem ser detalhadas de acordo com o fluxograma da figura 2.2.

Ainda segundo Werkema (2004), para a realização das atividades são disponíveis ferramentas e técnicas para auxiliar na definição com precisão do escopo do projeto. As principais são:

- Mapa de Raciocínio;
- *Project Charter* (Contrato do projeto);
- Voz do Cliente (VOC);
- SIPOC.

Estas ferramentas e técnicas serão abordadas nos próximos subcapítulos baseadas nos textos de Campos (2013).

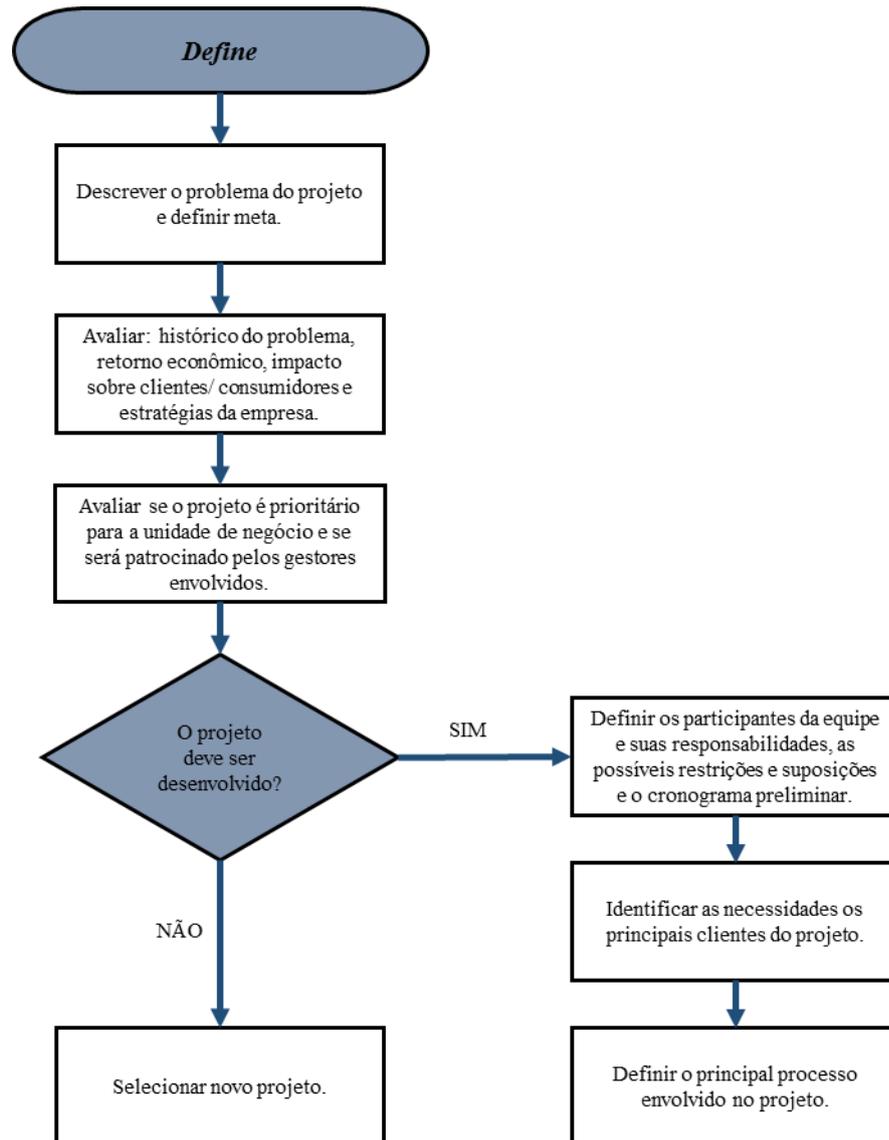


FIGURA 2.2 – Fluxograma das atividades da etapa Definir

Fonte: WERKEMA, 2004 (adaptado).

2.3.1.1 Mapa de Raciocínio

É uma documentação progressiva da forma de raciocínio durante a execução do projeto. Ela deve ser atualizada durante todas as fases do DMAIC e deve documentar:

- A meta do projeto;
- Questionamentos que surgem durante o projeto;
- O que foi feito para responder ao questionamento;

- Resumo da utilização das ferramentas de todas as etapas.

Assim, este documento se torna parte integrante no desenvolvimento do projeto. Com ele todo o histórico do problema e o estudo para a melhoria do processo ficam registrados para futuras consultas.

2.3.1.2 *Project Charter (Contrato do Projeto)*

É o produto final da fase *define*. Consiste em unir todas as informações obtidas por meio do estudo do problema e formalizar junto a liderança. Nele ficam registrados:

- A meta do projeto: descrever qual é o objetivo do projeto. Aonde se quer chegar com a sua finalização;
- Definição do problema: descrever o problema que originou o projeto de melhoria;
- Histórico resumido do problema: mostrar a evolução do problema;
- Membros da equipe: relação dos integrantes da equipe, bem como *Champion* (gerente sênior), *Sponsor* (proprietário do processo onde o projeto está inserido) e o líder do projeto;
- Definição do escopo: definir a abrangência do projeto;
- Benefícios do aprimoramento: estimar os benefícios econômicos que o projeto deve trazer;
- Análise de risco do projeto: identificar quais os riscos para o sucesso do projeto e o que se pode fazer para minimiza-los;
- Cronograma: auxiliar na imposição do ritmo necessário para conclusão do projeto. Para cada etapa deve-se ter uma data para finalização.

2.3.1.3 *Voz do Cliente (VOC)*

Possibilita ouvir as necessidades e expectativas do cliente para serem características críticas do processo. Assim, estas informações devem nortear a realização dos processos e serem monitoradas e aprimoradas constantemente.

A voz do cliente possibilita decidir qual produto e serviço oferecer, identificar aspectos e especificações para o produto e as características chaves para a satisfação do cliente.

É possível obter a voz do cliente por meio de fontes reativas (reclamações) ou fontes proativas (entrevistas, pesquisa de satisfação). Por meio do resultado se faz a transformação da voz do cliente em definições chaves, transformando-as em características críticas para a qualidade do processo.

2.3.1.4 *SIPOC*

Mapeia o processo a ser estudado. A sigla SIPOC significa *supplier* (fornecedores), *inputs* (entradas), *process* (processo), *outputs* (saídas) e *customer* (clientes).

- Fornecedor: é quem fornece as entradas para o processo;
- Entrada: recurso utilizado pelo processo;
- Processo: série de atividades que transformam entradas em saídas importantes para o cliente;
- Saída: material, serviço ou dados que resultam do processo;
- Cliente: quem recebe a saída do processo.

Com a utilização correta da ferramenta é possível identificar a justificativa da existência do processo, o que ele faz, quem utiliza o seu produto, quem são seus fornecedores, de onde vem as informações ou os materiais e o que acontece com cada entrada.

2.3.2 Fase Medir

Nesta etapa é estabelecida uma referência de medição, de modo que seja possível medir o desempenho atual do processo. São identificadas as restrições do processo como área de foco para um melhoramento futuro.

Segundo Werkema (2004), as atividades desta etapa podem ser detalhadas de acordo com o fluxograma da figura 2.3.

Ainda segundo Werkema (2004), para a realização das atividades são disponíveis ferramentas e técnicas para auxiliar na estratificação do problema. As principais são:

- Mapeamento de Processo;
- Mapa do Fluxo de Valor
- Estratificação;
- Métricas *Lean*;
- Matriz de Causa e Efeito.

Estas ferramentas e técnicas serão abordadas nos próximos subcapítulos baseadas nos textos de Campos (2013).

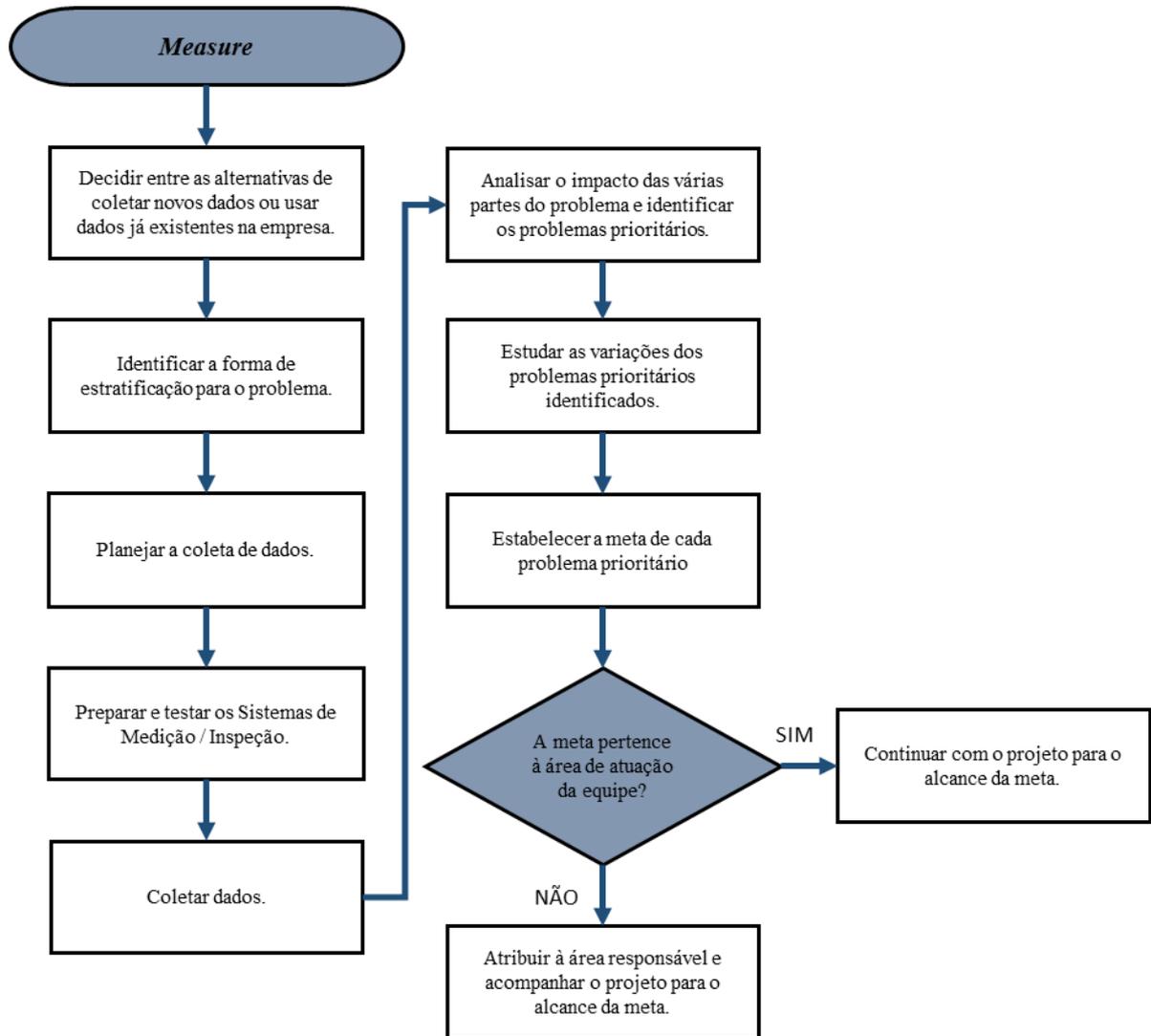


FIGURA 2.3 – Fluxograma das atividades da etapa Medir

Fonte: WERKEMA, 2004 (adaptado).

2.3.2.1 Mapeamento de Processo

Mapeamento de processo é uma forma simples, mas muito eficiente de obter a visualização do processo por meio da interligação das tarefas que o compõe. Pode representar como o processo foi concebido, como o processo realmente opera ou como o processo deveria ser. Com esta ferramenta é possível detectar gargalos, redundâncias, retrabalhos e inspeções que possam estar afetando a capacidade do processo.

Para desenhar o processo, deve-se seguir alguns passos básicos, como:

- Definir qual o processo será mapeado;
- Estabelecer o início e o fim do processo;
- Determinar quais são os requisitos dos clientes;
- Produzir os resultados que satisfazem os requisitos dos clientes;
- Desenhar o fluxo;
- Verificar se o fluxo está correto.

Quanto ao nível de detalhamento, é possível ter os níveis macro, mini e micro.

- Macro: são incluídas somente as atividades principais;
- Mini: um dos passos do nível macro é focado e mais detalhado;
- Micro: deve ser incluída a maior quantidade de detalhes de algum passo do processo.

Para o desenho do fluxo pode-se utilizar mapeamento por fluxogramas convencionais ou mapeamento por raias, conforme exemplo nas figuras 2.4 e 2.5.



FIGURA 2.4 – Exemplo de Mapeamento por fluxogramas convencionais

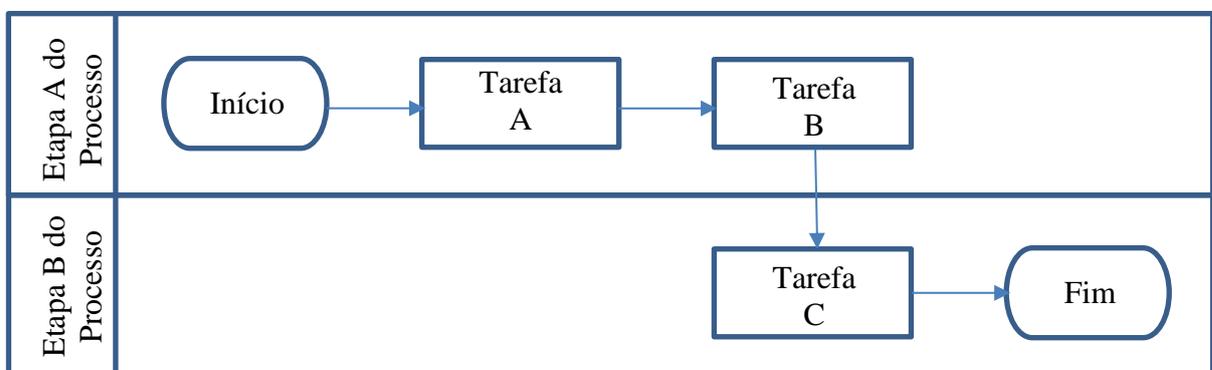


FIGURA 2.5 – Exemplo de Mapeamento por raias

2.3.2.2 Mapa do Fluxo de Valor

É um fluxo construído a partir de mapeamento de processos (exemplo na figura 2.6), com a vantagem de fornecer informações detalhadas do processo.

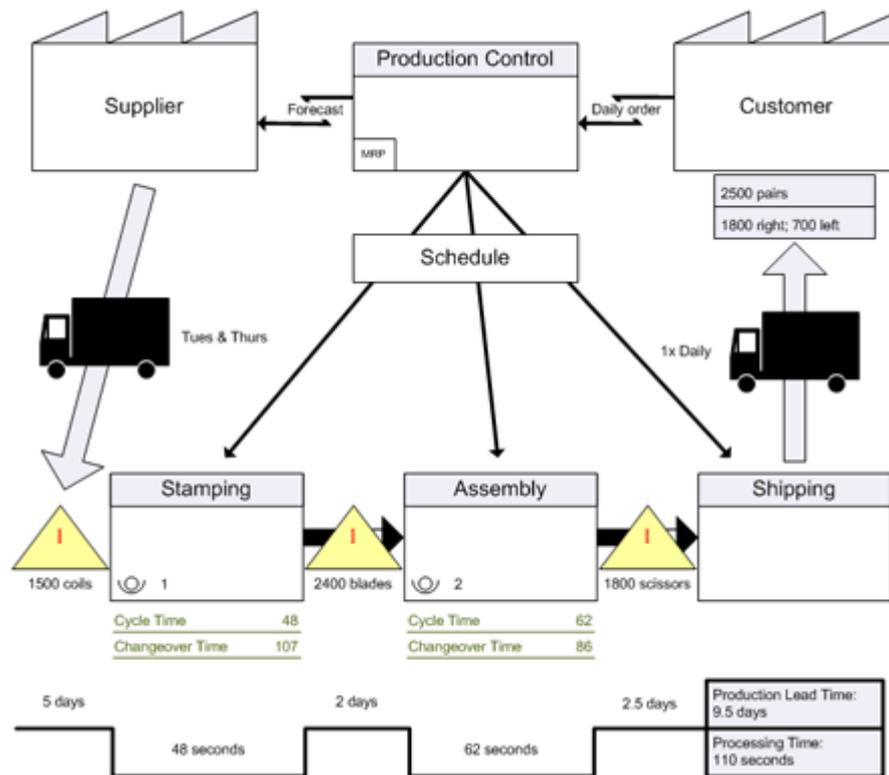


FIGURA 2.6 – Mapa do Fluxo de Valor

Fonte: MICROSOFT OFFICE, 2015.

Para uma melhor análise, o mapa deve conter toda ação necessária durante a passagem do produto pela fábrica.

Para a sua construção deve-se seguir os passos:

- Colocar a representação do cliente, fornecedor e controle de produção;
- Criar uma caixa de dados abaixo do ícone do cliente;
- Entrar com os dados de transporte e de recebimento;
- Acrescentar as operações de manufatura;
- Informar os atributos do processo;

- Mostrar os fluxos de informações;
- Adicionar símbolos de estoque;
- Informar o funcionamento do processo.

Durante a construção do mapa é importante coletar informações do estado atual enquanto se está junto aos fluxos reais de material e de informação, caminhar por todo o fluxo de valor, começar o mapeamento pela expedição final, em seguida nos processos anteriores e não se basear em tempos teóricos ou padrões.

2.3.2.3 Estratificação

É uma técnica que tem como objetivo agrupar dados em subgrupos de acordo com alguns critérios adotados. É utilizada para identificar possíveis causas que afetam determinada etapa do processo.

Existem alguns fatores para a estratificação, são eles:

- Por tempo: hora, dia da semana, mês, turno;
- Por sintoma: não conformidade, ocorrência;
- Por local: etapa, empresa, operação;
- Por tipo: produto, característica;
- Por custo: despesas, hora extra;
- Por outros fatores: método, processo, clima, ferramentas.

Por meio do agrupamento dos dados é possível identificar, estatisticamente, qual grupo está com o pior desempenho. Assim, é possível aprofundar o estudo em determinado grupo para gerar ações específicas e possibilitar o alcance da meta específica ou geral do projeto.

2.3.2.4 Métricas Lean

O objetivo das métricas *lean* é fornecer informações a respeito de cada processo e também do fluxo como um todo. As métricas escolhidas devem ser de fácil estratificação, que possam fornecer medidas para operações individuais ou de todo o fluxo de valor.

Para identificar as métricas, deve-se seguir os seguintes passos:

- Listar as métricas iniciais de acordo com as especificações do cliente;
- Determinar como serão calculadas as métricas;
- Calcular as métricas a partir dos dados existentes.

As principais métricas são:

- Tempo de ciclo: é o tempo de processamento de uma operação. Este tempo inclui o tempo de operação mais o tempo para preparar, carregar e descarregar os materiais.
- *Lead Time* (Tempo de atravessamento): é o tempo necessário para produzir um único produto, do início da primeira atividade até o término da última.
- *Changeover* (Tempo de troca): é o tempo perdido devido a mudança do tipo de produto na linha de produção.
- *Downtime*: é o tempo perdido devido a paradas programadas ou não programadas.
- *Uptime*: é o percentual de tempo de produção disponível para cada operação. É obtido da relação entre o tempo de operação total e o tempo disponível para cada operação (equação 2.2).

$$Uptime = \frac{\text{Tempo total} - \text{Tempo de máquina parada}}{\text{Tempo total}} \quad (2.2)$$

- Giro de estoque: é a velocidade com que o estoque é consumido em uma planta (equação 2.3).

$$Giro\ de\ estoque = \frac{\text{Demanda anual}}{\text{Saldo médio de estoque}} \quad (2.3)$$

- Entrega no prazo: é o percentual de pedidos entregue no prazo combinado com o cliente.
- *Takt time*: é o tempo necessário para produzir uma peça (equação 2.4).

$$TaktTime = \frac{\text{Tempo de trabalho disponível por período}}{\text{Demanda do mercado por período}} \quad (2.4)$$

- *Takt rate*: é a taxa que representa quantas peças devem ser produzidas num determinado tempo.
- *Pitch time*: é a quantidade de tempo necessário para completar uma embalagem de produtos (equação 2.5).

$$\text{PitchTime} = \text{TaktTime} \times \text{quantidade na embalagem} \quad (2.5)$$

- *Touch time*: é o tempo que o produto está sendo trabalhado.

2.3.2.5 *Matriz de Causa e Efeito*

A Matriz de Causa e Efeito é uma ferramenta que relaciona dois conjuntos de dados e define a força de relacionamento entre eles. Permite a priorização das variáveis de entrada do processo por importância, resultando nas variáveis-chaves. Esta priorização é realizada por meio de reunião da equipe e pode auxiliar na seleção do que é necessário monitorar para avaliar se existe relação de causa e efeito e se são necessários controles de entrada em processos-chaves. Os resultados do SIPOC e do mapeamento do processo auxiliam a elaboração da matriz.

A partir da elaboração da matriz é possível:

- Verificar o relacionamento entre as variáveis de entrada e saída críticas do processo;
- Obter as variáveis críticas de entrada do processo;
- Visualizar em forma matricial, a influência de cada parâmetro do processo em cada parâmetro do produto. Para verificar a intensidade do relacionamento atribui-se pesos como: nenhuma influência (0), influência fraca (1), influência média (3) e influência forte (9).

2.3.3 **Fase Analisar**

Nesta etapa são identificadas algumas relações críticas de causa e efeito que explicam a maioria das relações entre as variáveis de entrada e saída do processo. Assim, são

estabelecidas as causas fundamentais que influenciam o problema por meio da priorização das causas potenciais identificadas.

Segundo Werkema (2004), as atividades desta etapa podem ser detalhadas de acordo com o fluxograma da figura 2.7.

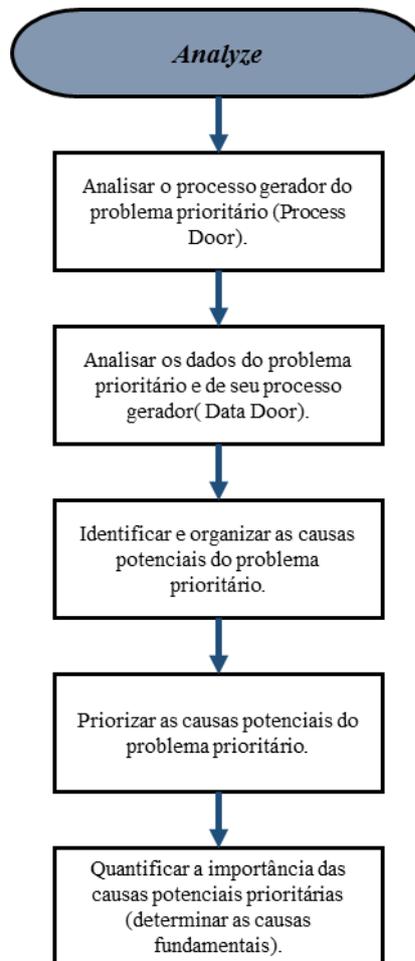


FIGURA 2.7 – Fluxograma das atividades da etapa Analisar

Fonte: WERKEMA, 2004 (adaptado).

Ainda segundo Werkema (2004), para a realização das atividades são disponíveis ferramentas e técnicas para auxiliar no aprofundamento do estudo. As principais são:

- Mapeamento de Processo;
- Mapeamento do Fluxo de Valor;
- Métricas *Lean*;
- Matriz de Causa e Efeito;

- Estratificação;
- Diagrama de Pareto;
- FMEA;
- Teste de Hipóteses;
- Análise dos 5 porquês;
- ANOVA;
- Análise de Correlação e Regressão Linear Simples.

Para resumir a etapa é utilizada uma tabela, conforme exemplo da tabela 2.1, onde identifica-se a hipótese que foi testada, o teste realizado e se houve significância do impacto no resultado. Além disto, são apontadas as causas que são efetivamente causas raiz e devem ser aprimoradas na próxima etapa.

TABELA 2.1 – Quantificação e Priorização das Causas

| Ref. | Hipótese | Análise – teste realizado | Resultado | | | Causa raiz? | Comentários |
|------|----------|---------------------------|--------------------------|---------------|-------------------|-------------|-------------|
| | | | Significância verificada | sem evidência | Não significativa | | |
| | | | | | | | |

2.3.3.1 Diagrama de Pareto

É um gráfico de colunas ordenadas em ordem decrescente e com uma linha cumulativa que mostra a soma percentual das colunas o que permite identificar quais itens são mais significativos conforme o exemplo da figura 2.8.

Em 1897, o economista italiano Vilfredo Pareto mostrava que a distribuição da renda era desigual, onde uma pequena parte da população detinha a maior renda.

Segundo este princípio, a maior parte do resultado é devido a uma parcela mínima de fatores, conforme a figura 2.9.

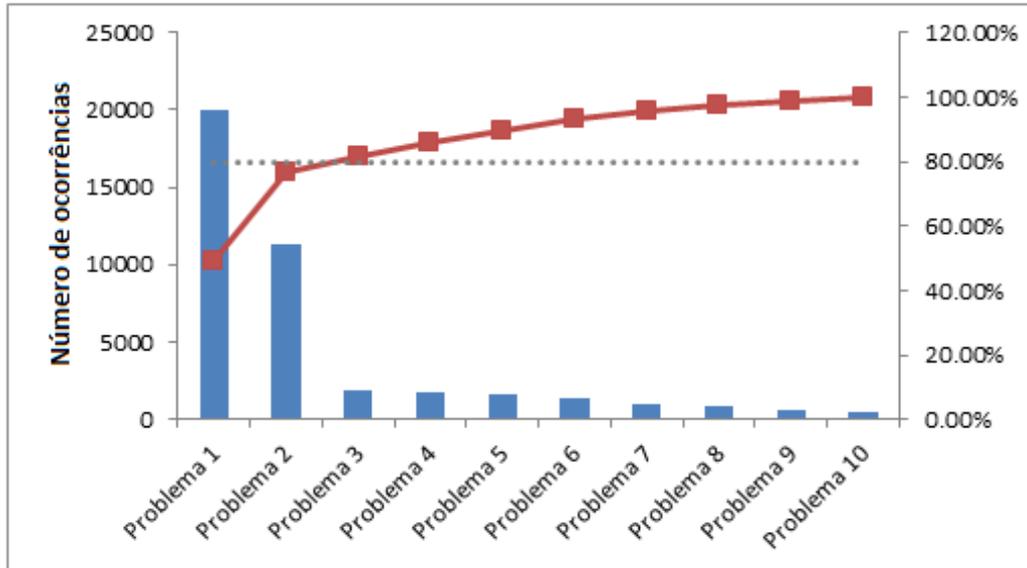


FIGURA 2.8 – Gráfico de Pareto

Fonte: EXCELTOTAL, 2015.

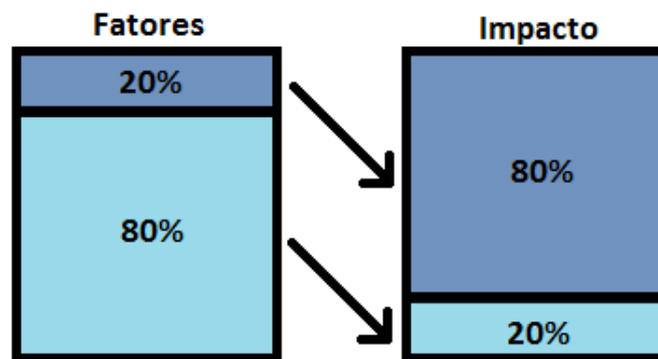


FIGURA 2.9 – Princípio de Pareto

Fonte: FREITAS, 2015 (adaptado).

A análise de Pareto é importante para priorização de problemas, metas e objetivos, identificar causas raízes, verificar procedimentos operacionais e processos de manufatura, verificar vendas de produtos e serviços e verificar alocação de recursos físicos, financeiros e humanos.

Existem duas formas para a análise do diagrama, pelo fenômeno e pela causa. Pelo fenômeno diz respeito ao resultado, sendo utilizado para descobrir qual é o item com maior

frequência: qualidade (defeitos, itens devolvidos), custo (gastos, custos), distribuição (negligência nos pagamentos, atrasos na distribuição) e segurança (acidentes, quebras, equívocos). Já pela causa diz respeito às causas de um processo, sendo utilizado para descobrir qual a maior causa do problema: operador (turno, grupo, idade), máquina (equipamento, ferramenta, modelo), matéria-prima (tipo, lote, instalações) e métodos de operação (condições, métodos, planos).

2.3.3.2 FMEA

Failure Mode and Effects Analysis – FMEA significa Análise de Modo e Efeitos de Falha. O objetivo desta ferramenta é avaliar e atuar nos modos de falhas e causas associadas ao processo ou projeto de um produto ou sistema. Segue modelo na figura 2.10.

| Failure Mode and Effects Analysis (FMEA) | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|-------------------------------|--------------------------|------------------------------|--|------------------------------------|--|---|---|-----------------------|--|--|------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| Análise do Modo e Efeito das Falhas: tem como objetivo analisar como cada X pode falhar e seu impacto no Y. | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Passos do Processo | Entradas | Modo de Falha | Efeitos de cada Falha | Severidade do Efeito | Potencial Causa de cada falha | Ocorrência da causa | Controles Atuais | Deteção da Falha | RPN | Ações Recomendadas | Responsável | Ação Tomada | SEV | OCC | DET | RPN |
| Etapa do processo onde cada X's aparece | X's priorizados da matriz C&E | Como este X pode falhar? | Qual o efeito de cada falha? | O quão severo é o efeito? Nota de 1 a 10, 10 para efeitos de maior gravidade | O que pode ter causado esta falha? | O quão frequente é esta falha? Nota de 1 a 10, 10 para grande frequência | Quais os modos para controlar a causa, a falha ou amenizar o efeito, que são utilizados hoje? | O quão eficaz é o método de controle? Nota de 1 a 10, 10 para o menos eficaz. | (Sev) x (Occ) x (Det) | Quais ações serão recomendadas para minimizar o efeito, evitar a causa ou melhorar os controles? | Quem será o responsável por cada ação? | Qual a ação realizada? | r e v i s a d o | r e v i s a d o | r e v i s a d o | r e v i s a d o |
| | | | | | | | | | 0 | | | | | | | 0 |
| | | | | | | | | | 0 | | | | | | | 0 |

FIGURA 2.10 – Modelo de FMEA

Fonte: RATH & STRONG, 2001.

A utilização do FMEA para o estudo do processo nos permite:

- Reduzir custos por meio da identificação de melhorias do processo;
- Prevenir problemas no processo;

- Criar processos mais robustos;
- Priorizar ações que diminuam o risco de falha.

Esta ferramenta pode ser utilizada em estudos de novos serviços, ferramentas e produtos, além de ser útil quando há a necessidade de alteração no processo ou modificações do projeto. Para isso, existem três principais tipos de FMEA que deve ser escolhido de acordo com o problema estudado:

- FMEA de Conceito: é utilizada para analisar conceitos para sistemas;
- FMEA de Projeto (DFMEA): é utilizada para assegurar que os problemas potenciais tenham sido considerados e abordados no desenvolvimento do produto;
- FMEA de Processo (PFMEA): é utilizada para assegurar que os problemas potenciais tenham sido considerados e abordados no desenvolvimento do processo.

2.3.3.3 *Teste de Hipóteses*

É uma técnica estatística utilizada para fazer inferências. Suas análises são baseadas em dados amostrais, mas os resultados podem ser estendidos para a população. É feita uma suposição em relação a um parâmetro da população.

Existem dois tipos de hipóteses, a nula e a alternativa. Para a hipótese nula deve-se obter evidências para rejeita-la. Já para a hipótese alternativa deve conter hipótese que se deseja aceitar.

Esta técnica pode ser realizada por meio de vários *softwares* estatísticos seguindo os passos:

- Determinar as hipóteses;
- Estabelecer o teste a ser usado;
- Coletar uma amostra e calcular a estatística de interesse;
- Calcular a estatística do teste;
- Comparar a estatística do teste com o valor tabelado;
- Aceitar ou rejeitar a hipótese.

2.3.3.4 *Análise dos 5 porquês*

Esta é uma ferramenta desenvolvida por Taiichi Ohno, pai do Sistema de Produção Toyota, que possibilita encontrar a causa raiz de um problema ou defeito após perguntar cinco vezes o porquê do problema está acontecendo, sempre relacionado à causa anterior. Não é obrigatório a utilização das cinco perguntas, pois este número vem de uma observação de Ohno de que seja suficiente para encontrar a causa raiz.

Esta ferramenta possibilita:

- Determinar o que aconteceu;
- Determinar por que aconteceu;
- Determinar ações para reduzir a probabilidade do problema ocorrer novamente.

2.3.3.5 *ANOVA*

Anova (*Analysis Of Variance*) significa teste de análise de variância. É utilizada quando tem-se duas ou mais amostras independentes e deseja-se comparar as médias destas amostras e identificar diferenças entre os grupos amostrais.

Para isto é necessário que as amostras tenham distribuição normal, sejam independentes e haja homogeneidade de variância entre os grupos.

A estatística do teste pode ser traduzida com a equação 2.6:

$$F = \frac{S_E^2}{S_D^2} \quad (2.6)$$

Onde S_E^2 é a variabilidade entre os grupos e S_D^2 é a variabilidade dentro dos grupos. Quanto maior for a variabilidade entre os grupos em relação a variabilidade dentro dos grupos, maior será a probabilidade de que exista diferença entre as médias dos grupos. Isto significa que pelo menos um dos grupos difere significativamente dos demais.

2.3.3.6 Análise de Correlação e Regressão Linear Simples

Esta análise é aplicada em dados contínuos onde existe uma variável resposta que seja influenciada por uma outra variável independente.

É utilizada para investigar as principais variáveis que afetam o desempenho de um determinado processo e observar a relação existente entre elas.

As principais técnicas são:

- Diagrama de dispersão: é um gráfico (figura 2.11) no qual cada ponto (eixo x sendo a variável independente e o eixo y a variável dependente) representa um par observado de valores. Revela a direção, a forma e a inclinação do relacionamento entre as variáveis.

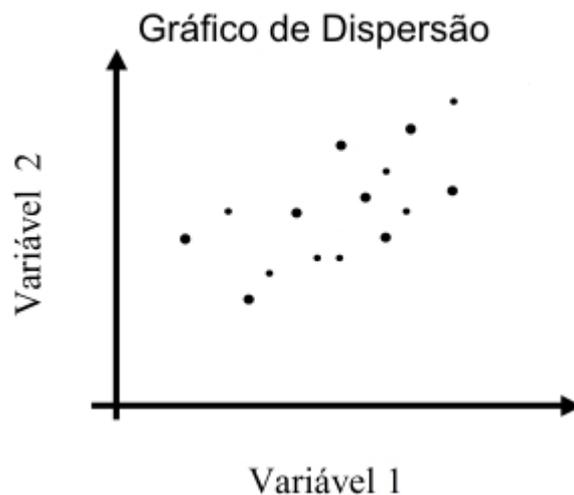


FIGURA 2.11 – Gráfico de Dispersão

- Coeficiente de Correlação: avalia o relacionamento a partir do coeficiente de correlação linear Pearson (ρ), o qual quantifica quão linear é a relação. Este coeficiente é eficaz apenas se o relacionamento entre as variáveis for linear. Quanto mais próximo de 1 em valor absoluto mais forte a relação. Este teste pode ser realizado por meio de qualquer *software* de estatística.

Análise de Regressão: expressa matematicamente a relação entre duas variáveis quantitativas (figura 2.12) com o objetivo de descrever e compreender a relação entre

duas variáveis aleatórias, projetar ou estimar uma nova observação, usar uma das observações para prever a outra e realizar ajustes na procura de melhores resultados.

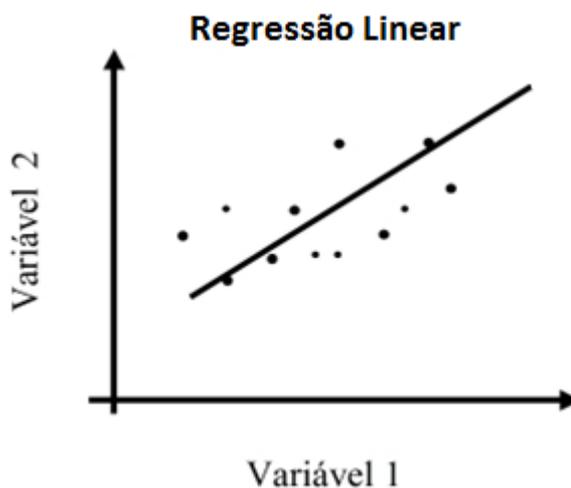


FIGURA 2.12 – Gráfico de Regressão Linear

A figura 2.12 ilustra a reta de regressão que permite representar a dependência linear entre duas variáveis quantitativas a partir de uma equação simples e prever valores para a variável dependente em relação a valores ainda não observados da variável independente, para isso, utiliza-se a equação geral 2.7:

$$Y = \alpha + \beta * X + \varepsilon \quad (2.7)$$

Onde α é o coeficiente linear e representa o intercepto, β é o coeficiente angular e representa a inclinação da reta e ε representa o erro aleatório.

2.3.4 Fase Aprimorar

Nesta etapa identifica-se as soluções que serão adotadas para a resolução dos problemas identificados a partir da fase “analisar”. As soluções alternativas são avaliadas com base na eficácia de cumprir o objetivo do projeto, de forma prática, e na aceitação do proprietário do processo.

Segundo Werkema (2004), as atividades desta etapa podem ser detalhadas de acordo com o fluxograma da figura 2.13.

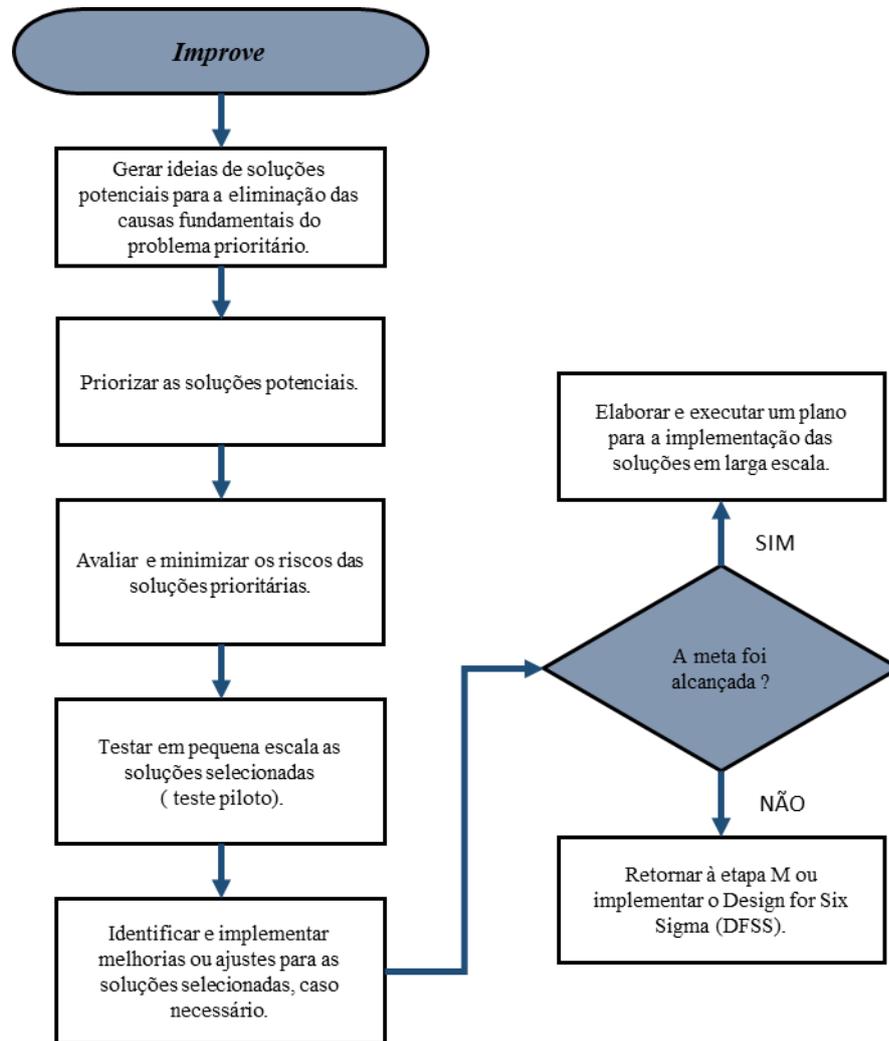


FIGURA 2.13 – Fluxograma das atividades da etapa Aprimorar

Fonte: WERKEMA, 2004 (adaptado)

Ainda segundo Werkema (2004), para a realização das atividades são disponíveis ferramentas e técnicas para auxiliar na estratificação do problema. As principais são:

- Métricas *Lean*;
- Mapa do Fluxo de Valor;
- FMEA;
- Matriz de Causa e Efeito;
- Seleção do Conceito – Matriz Pugh;
- Kaizen;

A vantagem de utilizar esta ferramenta é tomar a decisão correta, sem a necessidade de uma grande quantidade de dados, que geralmente não estão disponíveis no processo. Assim, é necessário seguir alguns passos para a construção da matriz:

- Preparar a seleção dos conceitos;
- Identificar critérios de avaliação como rapidez, qualidade, custo, grau de dificuldade e resistência dos clientes;
- Avaliar a importância relativa;
- Selecionar o conceito referência;
- Comparar as soluções alternativas com o conceito referência;
- Atribuir valores (+1) para melhor que a referência, (-1) para pior que a referência e (0) para iguais;
- Procurar pontos fortes e fracos;
- Introduzir na matriz as soluções modificadas que surgiram;
- Eliminar conceitos fracos.

2.3.4.2 Kaizen

É um programa de melhoria contínua fundamentado no trabalho em equipe e a utilização de habilidades e conhecimentos das pessoas envolvidas. Tem como objetivo melhorar a produtividade de qualquer área ou seção escolhida em qualquer empresa, onde utiliza-se diferentes ferramentas de Manufatura Enxuta para otimizar o funcionamento de algum processo produtivo. É conhecido pela sua aplicação intensiva no Sistema Toyota de Produção, como um dos fatores principais do sucesso da empresa.

A palavra Kaizen provém dos ideogramas japoneses: “Kai” que significa troca e “Zen” que quer dizer melhorar.

O evento Kaizen é focado em um projeto de aprimoramento do processo a curto prazo e pode ser utilizado para realizar qualquer ação identificada durante o projeto *Lean Seis Sigma* quando são necessários resultados rápidos e quando há a necessidade de reestruturar um processo em uma semana, por exemplo.

Passos para implantar o evento Kaizen:

- Selecionar o tema e criar uma estrutura para o evento;
- Identificar a situação atual e formular os objetivos;
- Diagnosticar o problema e formular o plano de ação;
- Implementar melhorias e avaliar os resultados;
- Acompanhar indicadores.

2.3.4.3 *Teste Piloto*

Antes da implantação do plano de ação, deve-se realizar um teste piloto para testar as soluções propostas e verificar se a mudança no processo trará os benefícios esperados e se existem alguns aspectos negativos, ou que ainda possam ser aprimorados no novo processo. O teste piloto tem as seguintes propriedades:

- É feito em pequena escala;
- É usado para avaliar e implementar uma solução;
- O objetivo é tornar mais eficaz a implementação em toda a escala;
- Fornece dados sobre os resultados esperados e expõe dificuldades do plano de implementação;
- O piloto deve testar se o processo satisfaz às nossas especificações do projeto e às expectativas do cliente.

Como vantagens, o teste piloto proporciona melhoria da solução, melhoria do plano de implementação, redução do risco de falha, confirmação de supostas relações de causa e efeito e o benefício geral é uma solução melhor com menos surpresas.

2.3.4.4 5W 2H e Plano de Ação

Plano de Ação é um conjunto de ações planejadas com meios e caminhos para alcançar a meta do projeto. É composta por uma série de atividades a serem executadas a partir de um planejamento.

A técnica do 5W 2H auxilia na construção do plano de ação para a redução da não conformidades das ações. Com esta técnica identifica-se os itens mais importantes do plano por meio das perguntas:

- “WHAT” – O que: o que será realizado;
- “WHY” – Por quê: por que será realizado;
- “WHO” – Quem: quem é responsável pela execução;
- “WHERE” – Onde: local em que deve ser executado;
- “WHEN” – Quando: ocasião em que deve ser executado;
- “HOW” – Como: como será executado;
- “HOW MUCH” – Quanto: quanto custa para executar.

2.3.5 Fase Controlar

Nesta etapa identifica-se o atingimento da meta global do projeto e estabelece ferramentas de monitoramento e repasse para os donos do processo. Além disso, para garantir que o processo esteja sob controle, são implementados controles para fornecer um retorno sobre o processo. Se necessário, são tomadas ações corretivas para colocar o processo novamente sob controle.

Segundo Werkema (2004), as atividades desta etapa podem ser detalhadas de acordo com o fluxograma da figura 2.14.

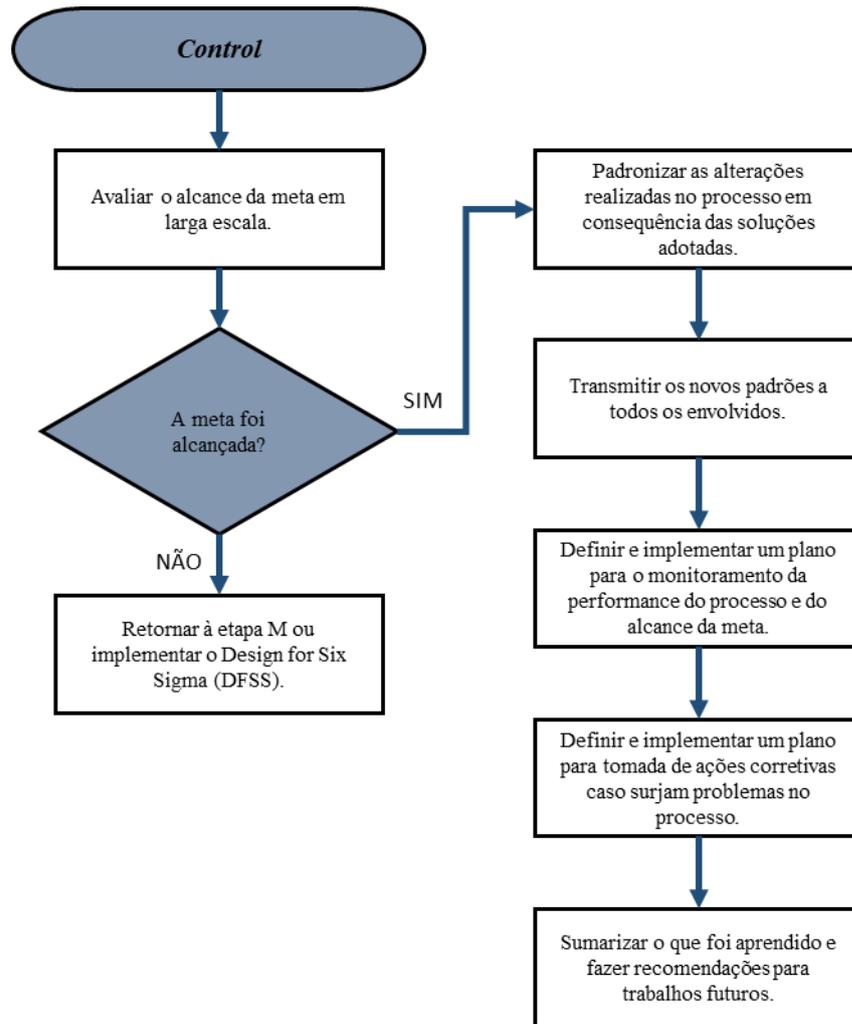


FIGURA 2.14 – Fluxograma das atividades da etapa Aprimorar

Fonte: WERKEMA, 2004 (adaptado)

Ainda segundo Werkema (2004), para a realização das atividades são disponíveis ferramentas e técnicas para auxiliar na estratificação do problema. As principais são:

- Diagrama de Pareto;
- Métricas *Lean*;
- Mapa do Fluxo de Valor;
- Poka-Yoke;
- OCAP (*Out of Control Action Plan*);
- Plano de Monitoramento;
- Fechamento, Avaliação e Transferência para o proprietário

Estas ferramentas e técnicas serão abordadas nos próximos subcapítulos baseadas nos textos de Campos (2013). Os itens Diagrama de Pareto, Métricas *Lean*, Mapa do Fluxo de Valor, já foram introduzidas anteriormente.

Para o monitoramento do indicador pode-se utilizar gráficos de linha ou cartas de controle que são disponibilizadas em vários *softwares* estatísticos. É importante escolher o gráfico adequado para cada tipo de dado a ser monitorado para que haja uma melhor identificação em caso de desvio da meta estabelecida.

2.3.5.1 Poka-Yoke

O termo “poka-yoke” vem das palavras japonesas “poka” (erro inadvertido) e “yokeru” (prevenção). O conceito de dispositivos a prova de falhas existiu por muito tempo sob diversas formas, porém, foi Shigeo Shingo, especialista da Toyota, que desenvolveu e estruturou a ideia poka-yoke com o intuito de eliminar as origens das falhas.

O objetivo principal desta ferramenta é criar barreiras ou alertas, para que o erro não seja gerado ou não passe despercebido. Com isso, é possível aumentar os ganhos e a satisfação dos clientes. Para isso, deve-se seguir os seguintes passos para implantação de um poka-yoke:

- Revisar o fluxo do processo a ser aprimorado para identificar possíveis falhas;
- Para cada erro, encontrar no processo a sua origem;
- Considerar formas potenciais para tornar a ocorrência do erro impossível: eliminação, substituição ou facilitação;
- Se for impossível prevenir o erro, considerar formas de detectar o erro ou os defeitos para minimizar seus efeitos;
- Escolher o melhor poka-yoke para cada erro ou defeito;
- Desenvolver, testar e validar o poka-yoke.

2.3.5.2 OCAP (*Out of Control Action Plan*)

OCAP significa plano de ação para falta de controle e é utilizado para descrever o fluxo de verificação das variáveis que serão monitoradas. Caso ocorra qualquer desvio é possível estabelecer ações para levar o indicador aos seus limites.

Esta ferramenta pode ser feita a partir de fluxogramas simples. É necessário apenas indicar os passos de monitoramento e como serão realizadas as ações em caso de desvio.

2.3.5.3 Plano de Monitoramento

É uma descrição resumida dos sistemas utilizados para minimizar a variação do processo, conforme exemplo da tabela 2.3, fornecendo um método estruturado para documentar e comunicar os métodos utilizados. Tem como objetivo ser um documento que apresente os métodos de controle atuais e sistemas de medição. Sendo que este deve ser atualizado quando sistemas de medição e métodos de controle forem aprimorados.

O plano de monitoramento traz alguns benefícios ao projeto, como:

- Qualidade: reduz desperdício e identifica fontes de variação;
- Satisfação do cliente: considera as características importantes para o cliente;
- Comunicação: comunica as alterações que ocorrem no processo.

TABELA 2.3 – Exemplo de Plano de Monitoramento

| PLANEJAR | VERIFICAR | | | | | AGIR |
|------------------------|------------------------|------------------------|------------------|-------------|--------------------|-----------------|
| Fluxograma do processo | Medidas ou indicadores | Especificações e metas | Método de coleta | Responsável | Método de controle | Plano de reação |
| | | | | | | |

2.3.5.4 Fechamento, Avaliação e Transferência para o proprietário

A análise final do projeto tem por objetivo identificar aspectos positivos e negativos do projeto, e aquilo que precisa ser melhorado. Além disso, identificar oportunidades para novos projetos.

Após a avaliação final, é realizada uma reunião de repasse com o proprietário do processo. Com isso, a responsabilidade de manter e melhorar o processo entregue passa a ser do proprietário.

Concluído todas as etapas, o projeto pode ser finalizado por meio de um documento firmando o fechamento do projeto e repasse do processo ao proprietário.

2.4 Estado do conhecimento

Na aplicação da metodologia *Lean Seis Sigma*, Scatolin (2005) desenvolveu um estudo de caso com o objetivo de mostrar a eficiência da aplicação do Seis Sigma num processo de manufatura com o intuito de reduzir as perdas de fibras geradas na fabricação de respiradores descartáveis. Com a conclusão do trabalho, a aplicação correta da metodologia mostrou-se eficiente na redução das perdas, onde a meta era reduzir 90%, mas conseguiu-se eliminá-las gerando uma economia, no primeiro ano, maior que \$ 110 mil. Por fim, sugere alguns cuidados no manuseio da metodologia conforme dicas abaixo:

Dica 1: escopo: focar o projeto de forma que a equipe entenda claramente os limites do trabalho. Os objetivos e os resultados serão mais agressivos;

Dica 2: disciplina: o DMAIC tem que ser seguido invariavelmente. É claro que nem todas as ferramentas serão utilizadas, porém a sequência tem que ser respeitada. É comum a equipe querer ir para solução antes de analisar todas as propostas e isto tem que ser evitado;

Dica 3: foco: o líder tem que chamar a atenção sempre para o foco do projeto, uma vez que naturalmente os membros da equipe tenderão a trazer para as reuniões assuntos fora do escopo do projeto;

Dica 4: Seleção da equipe: somente as pessoas diretamente ligadas ao processo que contribuirão com seus conhecimentos;

Dica 5: métrica correta: a sua determinação desde o início do projeto é crucial para manter o foco da equipe;

Dica 6: alinhamento do conhecimento: o mapa do Processo é fundamental para a determinação clara dos limites do projeto e o alinhamento do conhecimento da equipe;

Dica 7: envolvimento da equipe: o mais rápido possível, desde as primeiras reuniões do projeto;

Dica 8: objetividade na pontuação: tanto na Matriz De Priorização como no FMEA existe a tendência de a equipe achar tudo importante ou de prioridade ou impacto máximo. O líder deve ter habilidade de convencimento (não imposição) de mostrar o contexto geral e a necessidade de se distribuir as notas para que realmente a ferramenta seja útil quanto a sua finalidade que é a priorização;

Dica 9: prioridade: levar da Matriz De Priorização para o FMEA no máximo 10 x's porque se não a finalização desta ferramenta pode levar meses;

Dica 10: envolvimento de finanças: para credibilidade nos resultados e correto impacto nos custos, os ganhos monetários têm que ser validados por Finanças;

Dica 11: seja prático no FMEA: não permita que a equipe divague demasiadamente procurando causas irreais para as potenciais falhas. Esta ferramenta tem que ser prática e revisitada a todo tempo;

Dica 12: rigidez e formalidade no controle: aqui está um grande diferencial da Metodologia Seis Sigma: um plano de controle formalizado e acordado com o responsável. As reuniões mensais de revisão têm que ser conduzidas pessoalmente pelo líder da área.

Na utilização da gestão das malhas de controle, Rodrigues (2010), discutiu o estado atual da gestão *on-line* das malhas de controle presentes na indústria e apresentou um estudo de caso em uma planta de beneficiamento de minério utilizando o *software* PlantTriage, desenvolvido pela empresa norte-americana ExperTune, que disponibiliza indicadores de desempenho das malhas de controle e possibilita realizar sintonia das mesmas. No estudo de caso, foi utilizada uma malha de controle de pressão para avaliação do seu desempenho. Com o auxílio do software de gestão, foram verificadas suas características e realizada uma sintonia para o cálculo dos novos parâmetros do controlador. Como resultado obteve-se uma melhora considerável na oscilação do controle. Além da inspeção visual, os ganhos puderam ser observados por meio dos indicadores do software de gestão.

Já na integração da metodologia *Lean* Seis Sigma com a gestão de malhas de controle, Frias (2013) sugere que a gestão *on-line* com a utilização de indicadores de desempenho como porcentagem do tempo em automático, erro médio, variabilidade, entre outros, que são disponibilizados em softwares de auditoria, é mais eficiente do que a utilização de um

indicador individual. Ele propôs realizar um estudo de caso e utilizar o *software* de gestão Sindus OPP com foco na melhoria do processo de fabricação de papel, mais especificamente no Sistema de Preparação de Massa de uma Máquina de Papel. A metodologia utilizada foi baseada no modelo DMAIC. Foi concluído que os indicadores oferecidos pelo *software* são eficazes, pois permitiram fazer a gestão com foco na redução da variabilidade e obter ganhos qualitativos e quantitativos. Foi possível estudar e solucionar os problemas das malhas de controle, comprovando a eficácia dos indicadores de desempenho (KPIs). Por fim, cita algumas observações importantes na utilização dos indicadores de desempenho para gestão *on-line* das malhas de controle, conforme abaixo:

Não é possível ter uma avaliação assertiva quanto ao desempenho de uma malha de controle se utilizar indicadores de desempenho individualmente, seja o mesmo normalizado ou valor absoluto;

Uma análise correta de uma malha de controle deve ser feita a partir da avaliação dos indicadores de desempenho normalizados (KPIs Técnicos) e dos valores absolutos dos indicadores de desempenho com relação ao padrão e limites;

Os indicadores de desempenho de válvulas de controle, se fora dos limites, podem ser um reflexo de problemas no controle como foi o estudo de caso 1, onde não havia problemas na válvula de controle e sim na sintonia da malha de controle;

Para fazer uma correta comparação entre malhas de controle, faz-se necessário utilizar a Nota Técnica, pois a mesma é composta por todos os KPIs Técnicos (indicadores de desempenho normalizados);

Nem sempre um valor “pior” de indicadores de desempenho após uma mudança de estratégia de controle, sintonia de malha ou revisão de válvula de controle é sinal de que a malha de controle continua com um desempenho ruim, porém, estes indicadores de desempenho (em valores absolutos) devem estar dentro dos valores limites e padrões;

Os valores benchmark (KPIs Técnicos e Nota Técnica) para malhas de controle devem ser obtidos quando todos os indicadores de desempenho em valores absolutos estiverem dentro dos valores limites e padrões;

A gestão *on-line* das malhas de controle deve ser realizada a partir da Nota Técnica para gerenciamento global, ou seja, gestão de todas as malhas de controle do processo em questão, podendo assim comparar o desempenho das malhas e priorizar as malhas com os piores desempenhos;

A Nota Técnica (benchmark) deve ser um gatilho quando a Nota Técnica *on-line* de uma malha de controle estiver maior, ou seja, neste caso deverão ser verificados se os indicadores de desempenho estão dentro dos valores limites e padrões, assim como utilizar as ferramentas gráficas para um melhor diagnóstico.

3 ESTUDO DE CASO

Neste capítulo é feita a apresentação do desenvolvimento do estudo com o intuito de detalhar as fases da metodologia, bem como mostrar os resultados alcançados ao final do trabalho.

3.1 Visão Geral do Processo

O beneficiamento de minério é resultado de operações aplicadas aos bens minerais com o objetivo de alterar a granulometria, a concentração das espécies minerais presentes ou a forma, sem modificar a identidade química ou física dos minerais (LUZ et al, 2010).

Segundo Vieira (2008), na usina de concentração da SAMARCO, onde as malhas de controle, a serem estudadas, estão inseridas, o minério é alimentado inicialmente em dois moinhos de bolas. Essa etapa é denominada pré-moagem e nela ocorre a primeira adição de água de processo, de forma que esses moinhos trabalhem com uma polpa com 78% de sólidos em peso (a figura 3.1 representa uma linha da pré-moagem).

Segundo Luz et al (2010), na moagem, as partículas são reduzidas pela combinação de impacto, compressão, abrasão e atrito, a um tamanho adequado à liberação do mineral de interesse, a ser concentrado nos processos subsequentes. A moagem é a área da fragmentação que requer maiores investimentos, ocorre maior gasto de energia e é considerada uma operação importante para o bom desempenho de uma instalação de beneficiamento de minérios.

O equipamento empregado na etapa de moagem da SAMARCO é o moinho cilíndrico (bolas). Este moinho é constituído de uma carcaça cilíndrica de ferro, revestida internamente com placas de aço ou borracha, que gira sobre mancais e contém no interior uma carga de bolas de ferro ou aço.

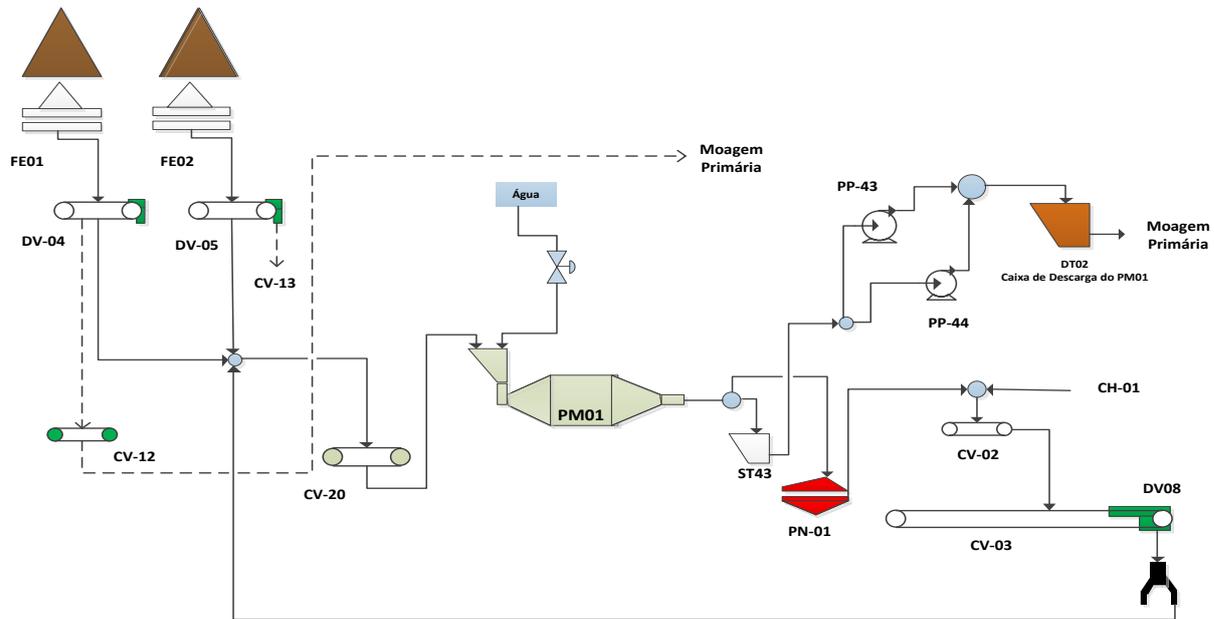


FIGURA 3.1 – Fluxograma da pré-moagem da linha 1

Fonte: SAMARCO MINERAÇÃO SA, 2014.

Ainda segundo Vieira (2008), após a pré-moagem, o minério segue para a etapa de moagem primária, composta por quatro moinhos de bolas. Esses moinhos operam em circuito fechado reverso com baterias de hidrociclones. O *overflow* dos ciclones primários constitui o produto das etapas de moagem pré-primária e moagem sendo que as espécies minerais deste produto encontram-se bem liberadas e no tamanho adequado para o processo de flotação. Após as etapas de pré-moagem e moagem primária, o minério é deslamado em três estágios de ciclonagem, denominadas raspadores, limpadores e deslamadores, que tem como finalidade à adequação da granulometria e a eliminação de partículas ultrafinas, nocivas ao processo de flotação (a figura 3.2 representa uma linha de moagem primária e deslamagem).

Segundo Luz et al (2010), classificação é o processo de separação por tamanho de partículas minerais, realizado em um meio fluido, que leva em consideração o tamanho, a forma e a densidade das partículas a serem separadas. Como fluido, a água é mais utilizada para beneficiamento de minério.

Para esta etapa é muito utilizado o ciclone, que é um equipamento desprovido de partes móveis, onde a alimentação da polpa de minério no aparelho é realizada sob a injeção de forte pressão criando um fluxo descendente em espiral ao longo das paredes internas. Possuem três orifícios, sendo um para a entrada da polpa, denominado injetor, e outros dois

orifícios para a saída, denominados ápex (*underflow* - descarga de partículas mais grosseiras) e vortex (*overflow* - descarga de partículas mais finas).

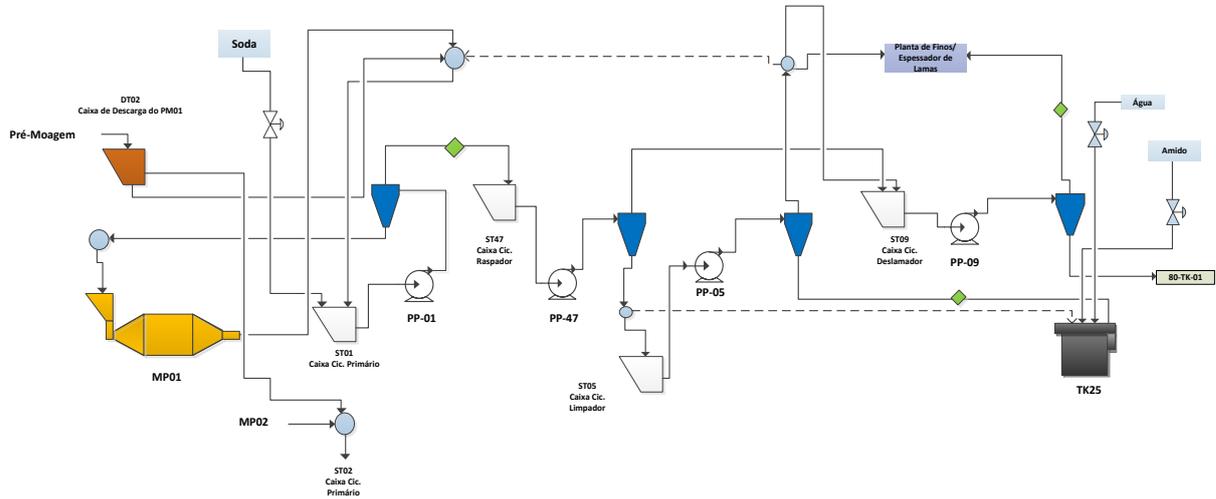


FIGURA 3.2 – Fluxograma da moagem primária e deslamagem da linha 1

Fonte: SAMARCO MINERAÇÃO SA, 2014.

A etapa de flotação mecânica é composta por quatro linhas independentes responsáveis pela concentração do minério de ferro, sendo cada linha constituída por: um condicionador primário; um condicionador secundário; um banco rougher, um banco cleaner, um banco scavenger e um banco cleaner da scavenger (a figura 3.3 representa uma linha de concentração por flotação).

Segundo Mapa (2006), a etapa de concentração, ou separação seletiva de minerais, baseiam-se nas diferenças de propriedades entre os minerais minério e os minerais de ganga. As propriedades mais comumente utilizadas, podem ser resumidas como sendo: a cor, o peso específico, a forma, o tamanho, a susceptibilidade magnética e as características de superfície. Assim, flotação é um processo de separação aplicado a partículas sólidas que explora diferenças nas características de superfície entre as várias espécies presentes.

A concentração de minerais por flotação requer três condições básicas (PERES, 2003):

- (i.) Liberabilidade: a liberação dos grãos dos diferentes minerais é obtida através de operações de fragmentação (britagem e moagem), intercaladas com etapas de separação por tamanho;
- (ii.) Diferenciabilidade: a diferenciabilidade é a base da seletividade do método. A seletividade do processo de flotação baseia-se no fato de que a superfície de diferentes espécies minerais pode apresentar distintos graus de hidrofobicidade;
- (iii.) Separabilidade dinâmica: está diretamente ligada aos equipamentos empregados. As máquinas de flotação caracterizam-se por possuírem mecanismos capazes de manter as partículas em suspensão e possibilitarem a aeração da polpa.

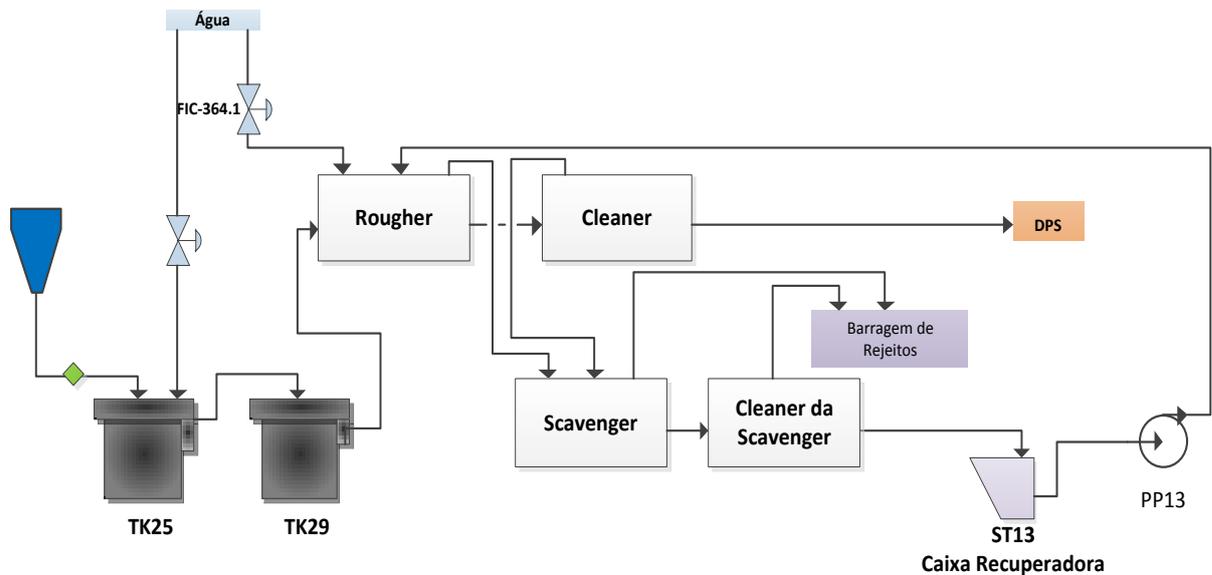


FIGURA 3.3 – Fluxograma da flotação convencional da linha 1

Fonte: SAMARCO MINERAÇÃO SA, 2014.

3.2 Fase Definir

O objetivo desta etapa é conhecer o problema que será tratado, bem como estabelecer uma meta, formar a equipe, analisar os riscos envolvidos, delimitar o trabalho por meio de um escopo e construir um cronograma macro das entregas das fases.

A primeira atividade foi identificar os clientes e conhecer suas expectativas e necessidades. Os clientes deste trabalho são os profissionais responsáveis pela operação do concentrador. Então realizou-se uma entrevista com os principais clientes onde ouviu-se suas necessidades, conforme a tabela 3.1. Além disso, foi possível identificar indicadores para mensurar as necessidades.

TABELA 3.1 – VOC (voz do cliente)

| VOC (Voz do Cliente) | Questões chave | CTQ (Indicadores) |
|--|-------------------------------------|---|
| Um processo mais estável | Reduzir a variabilidade do processo | Índice de Harris Percentual de Saturação |
| Um processo mais eficiente | Aumentar a eficiência do processo | Percentual de desempenho |
| Perda nas caixas da descarga dos moinhos | Reduzir as perdas de caixas | Percentual do tempo sem controle |

Com o objetivo de mapear o processo a ser estudado utilizou-se a ferramenta SIPOC (*Suppliers, Inputs, Process, Outputs, Customers*). O processo em questão é definido pelas etapas do funcionamento geral de uma malha de controle com suas entradas e saídas sendo os ativos e pessoas pertencentes ao sistema conforme descrito no mapa de processo da figura 3.4.

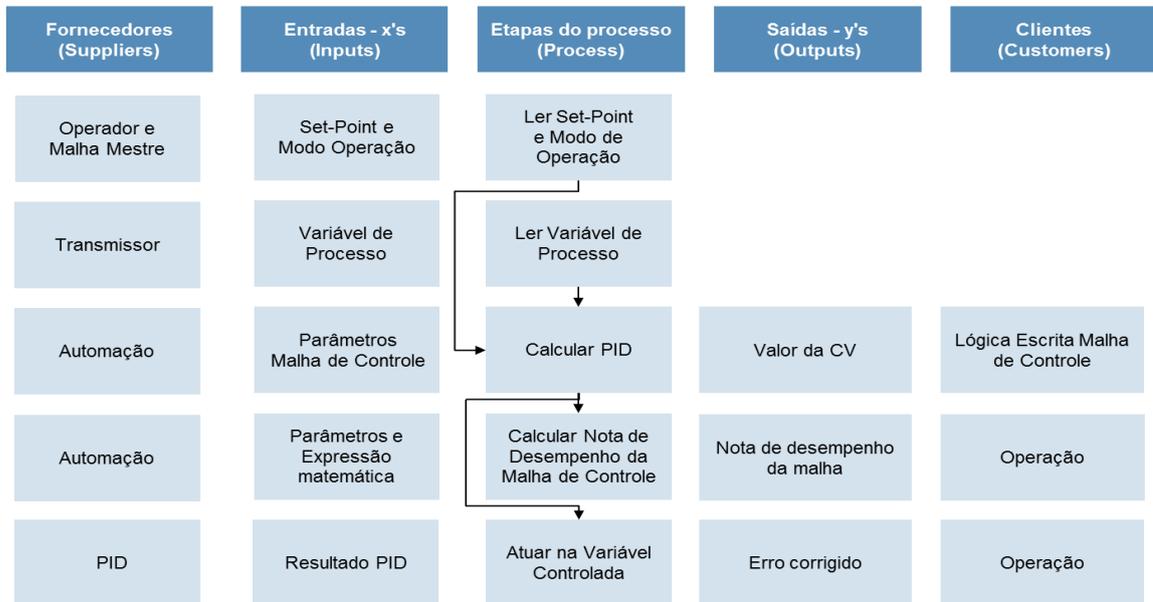


FIGURA 3.4 – Mapa de processo da malha de controle

O indicador utilizado para mensurar o problema é a “média diária da porcentagem de desempenho” (compilado manualmente) das malhas de controle. O mesmo é calculado por meio de variáveis e parâmetros de cada malha de controle independente, disponibilizados pelo *software* de gestão.

- Cálculo de compilação da média periódica da nota de desempenho geral (equação 3.1):

$$\text{Média periódica} = \frac{\sum \frac{\text{Nota Desempenho}}{\text{N}^\circ \text{ Malhas}}}{\text{N}^\circ \text{ Amostras periódicas}} \quad (3.1)$$

- Cálculo de compilação da média diária da nota de desempenho geral (equação 3.2):

$$\text{Média diária} = \frac{\sum \frac{\text{Nota Desempenho}}{\text{N}^\circ \text{ Malhas}}}{\text{N}^\circ \text{ Amostras diárias}} \quad (3.2)$$

A nota de desempenho das malhas é gerada pelo *software* de gestão TriCLPM a partir das expressões mencionadas na tabela 3.2. A expressão utilizada depende do tipo de malha. O cálculo é realizado pelo *software* a cada relatório gerado, ou seja, a cada seis horas.

TABELA 3.2 – Expressões para geração das notas de desempenho

| Tipo de Malha | Expressão de Cálculo de Desempenho |
|-----------------------------------|--|
| Nível Pulmão | $(1-\text{manualpercent}/100) * (1-\text{levelloops}/100) * (1-\text{opsatpercent}/100) * 100$ |
| Vazão (de Correia Transportadora) | $\text{If} (\text{harris} > 0.4, (1-\text{harris}^3) * (100-\text{manualpercent}) * (100-\text{opsatpercent}) / 100, (100-\text{manualpercent}) * (100-\text{opsatpercent}) / 100)$ |
| Vazão | $\text{If} (\text{sppvrat} > 1, 1 / \text{sppvrat} * (100-\text{manualpercent}) * (100-\text{opsatpercent}) / 100, (100-\text{manualpercent}) * (100-\text{opsatpercent})/100)$ |
| Nível Set-Point | $\text{If} (\text{harris} > 0.4, (1-\text{harris}^3)*(100-\text{manualpercent}) * (100-\text{opsatpercent})/100 , (100-\text{manualpercent}) * (100-\text{opsatpercent})/100)$ |
| pH | $\text{If} (\text{harris} > 0.4, (1-\text{harris}^3)*(100-\text{manualpercent}) * (100-\text{opsatpercent})/100 , (100-\text{manualpercent}) * (100-\text{opsatpercent})/100)$ |
| Corrente | $(1-\text{harris}^3) * (1-\text{opsatpercent}/100) *(1-\text{manualpercent}/100) *100$ |

Fonte: SAMARCO MINERAÇÃO SA, 2014.

Onde:

- *manualpercent*: percentual do tempo em modo manual.
- *levelloops*: cálculo da porcentagem do tempo em que uma determinada malha fica fora dos limites seguros de operação.
- *opsatpercent*: percentual do tempo em saturação.
- *harris*: cálculo do índice de Harris e da variância mínima de uma malha, além do cálculo da influência do ruído branco, tempo morto e ajuste do controlador sobre a variância total da variável de processo, num método que é uma adaptação da ideia por trás do índice de Harris.
- *sppvrat*: razão de cursos do SP em relação à PV.

Os dados históricos são obtidos no *software* de gestão de malhas de controle, TriCLPM. Este caracteriza-se por ser uma ferramenta de monitoramento de desempenho *on-line* de controladores de processo, com interfaces de acesso a relatórios, configuração e gerenciamento, totalmente disponível em WEB.

Para avaliação do histórico do problema, considerou-se o período de agosto até dezembro de 2013, conforme o gráfico da figura 3.5. Analisando num período de cinco meses, tem-se que a média diária da linha 1 é de 31,89%. Conclui-se então que o sistema de controle da linha 1 não está com um desempenho aceitável.

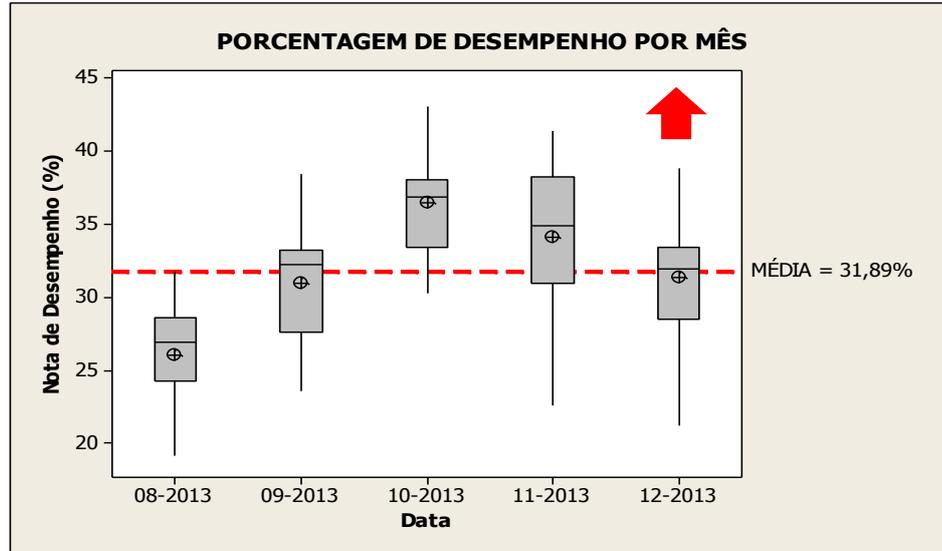


FIGURA 3.5 – Gráfico de desempenho das malhas da linha 1

Fonte: SAMARCO MINERAÇÃO SA, 2014.

É possível observar na figura 3.6, a comparação entre o desempenho da linha de beneficiamento estudada com uma malha de controle que está com uma nota de desempenho aceitável. Conforme o gráfico, existe uma diferença de 32,88% entre o a média do *Benchmark* (BM) e a da linha 1. Isto afirma a importância de trabalhar na melhoria do desempenho da linha 1.

Assim, a partir de todo o estudo preliminar do problema e das necessidades dos clientes, em acordo com a equipe técnica, a meta do projeto foi definida como: aumentar a média diária da porcentagem de desempenho de 31,89% para 50% das malhas críticas de controle da linha 1 do concentrador 1.

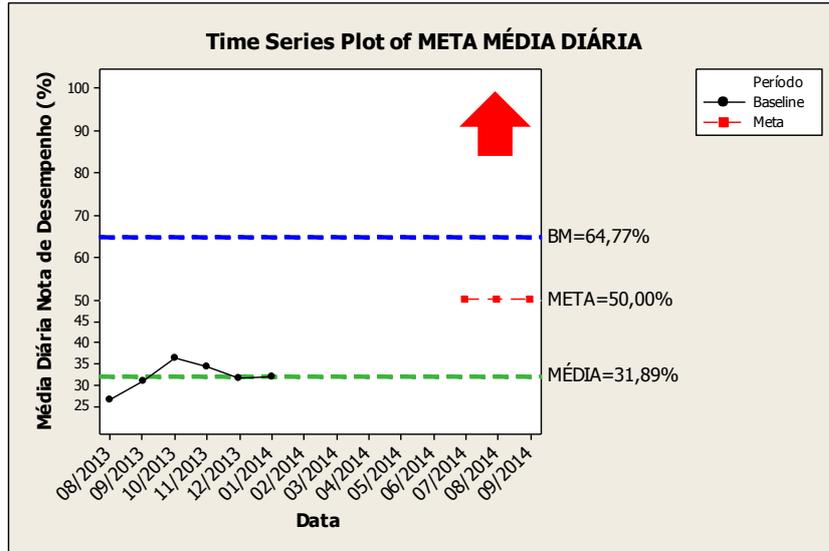


FIGURA 3.6 – Gráfico de desempenho das malhas da linha 1 com benchmark e meta

Fonte: SAMARCO MINERAÇÃO SA, 2014.

Ao final da fase, estabeleceu-se um cronograma macro de entregas para o desenvolvimento do trabalho a fim de seguir o modelo DMAIC da metodologia *Lean Six Sigma* para resolução do problema, conforme tabela 3.3.

TABELA 3.3 – Cronograma macro do projeto

| Etapas | Data |
|---------------|-------------|
| Definir | 16/01/2014 |
| Medir | 07/03/2014 |
| Analisar | 25/04/2014 |
| Aprimorar | 01/07/2014 |
| Controlar | 01/10/2014 |

Como forma de documentação foi criado um mapa de raciocínio progressivo para ser utilizada durante a execução do trabalho.

3.3 Fase Medir

O objetivo desta etapa é realizar o desdobramento do problema, onde realiza-se uma análise de variáveis buscando oportunidades de melhoria que podem acarretar em um estabelecimento de metas específicas para o alcance do objetivo.

Os dados históricos são obtidos a partir do *software* de gestão de malhas de controle TriCLPM, disponibilizado no sistema de automação da Samarco Mineração. A nota de desempenho é gerada numa escala de 0 a 100%. A figura 3.7 mostra que o *software* faz a leitura dos dados do controlador através da comunicação OPC, processa os dados, armazenados em um banco de dados e disponibiliza todas as informações ao usuário por e-mail ou via WEB após cada geração de relatório

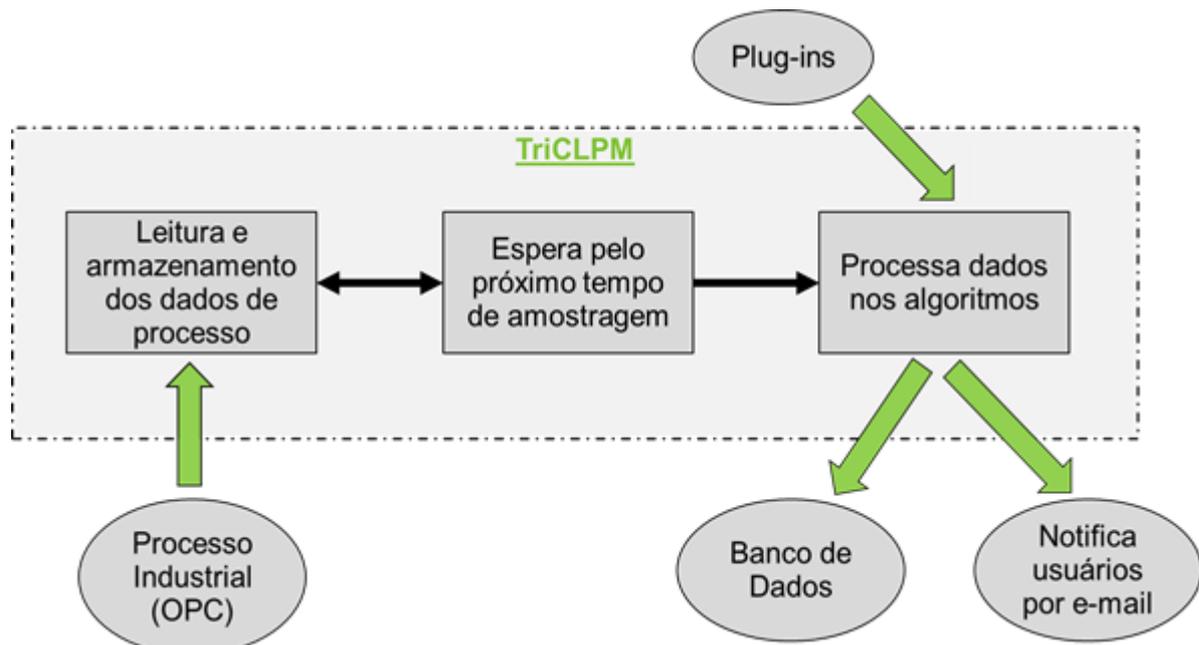


FIGURA 3.7 – Sistema de medição do *software* de gestão e malhas

Para a etapa de estratificação dos dados foi exportada uma planilha do *software* contendo as notas de todas as malhas de controle do período estudado na fase definir. O cálculo da média da nota de desempenho é calculado manualmente de acordo com a definição

realizada na fase anterior. São gerados quatro relatórios diários que contém a nota de desempenho.

Numa primeira análise, foi verificado que o problema não era focado, onde existiam fatores que poderiam contribuir de forma diferenciada para o mau desempenho das malhas. Com isso, para o desdobramento do problema, as categorias área e tipo foram consideradas como fatores de estratificação, conforme figura 3.8. Esta é uma técnica que tem como objetivo agrupar dados em subgrupos de acordo com alguns critérios adotados para identificar possíveis causas que afetam determinada etapa do processo.

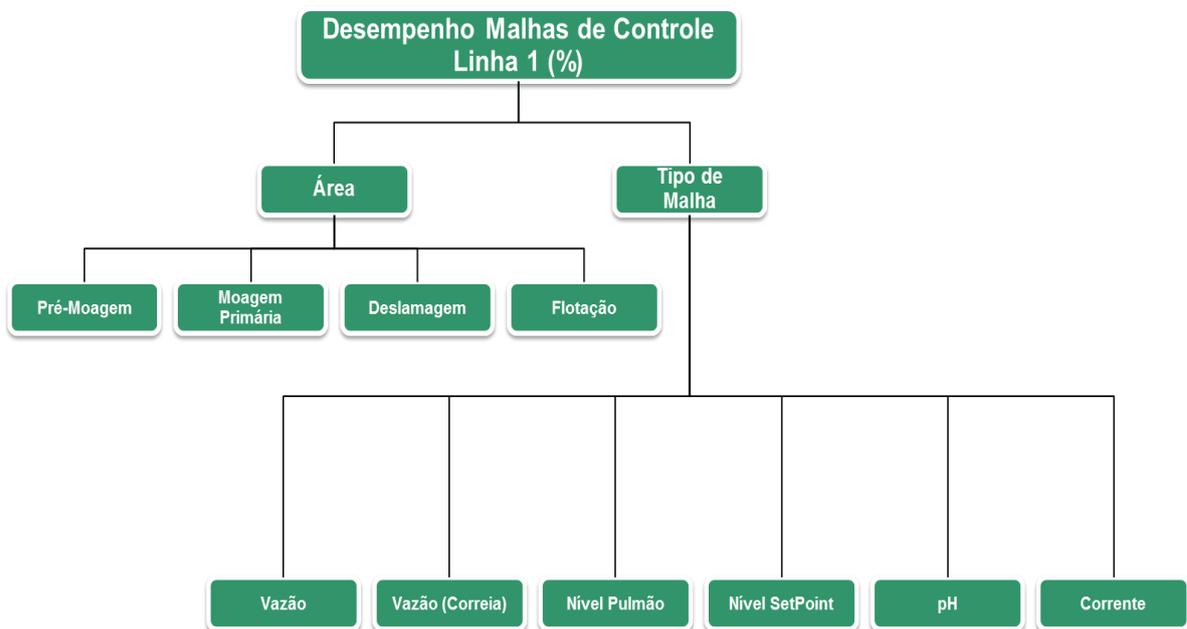


FIGURA 3.8 – Estrutura de estratificação do problema

Na sequência da estratificação, o objetivo foi verificar os problemas crônicos. Com isso, utilizou-se o Diagrama de Pareto com a finalidade de identificar quais itens são mais significativos. Assim, percebeu-se pela análise por área, que as áreas de moagem primária, deslamagem e flotação não atendiam à meta de desempenho estabelecida. Já na análise por tipo, os tipos de malhas vazão (de correia), nível pulmão, nível set-point, pH e corrente foram consideradas problemas crônicos (não atendiam à meta de desempenho estabelecida), sendo que as malhas de corrente, pH e nível set-point apresentaram os piores índices.

Na análise por área, verificou-se que as áreas moagem primária, flotação e deslamagem representavam 86% do problema, conforme o gráfico da figura 3.9. No gráfico,

GAP significa a defasagem do desempenho com relação ao indicador máximo possível, que é 100%.

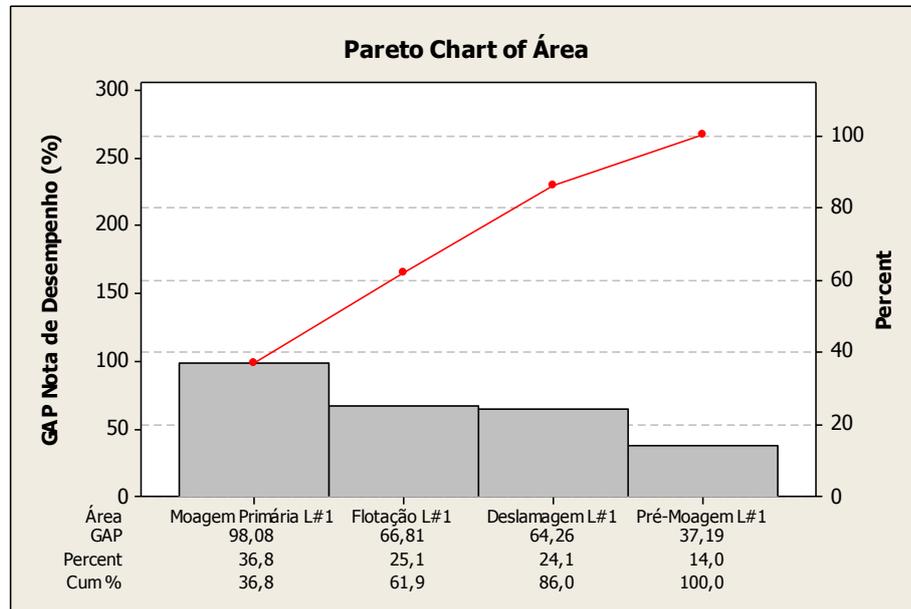


FIGURA 3.9 –Estratificação do problema por área

Fonte: SAMARCO MINERAÇÃO SA, 2014.

Por tipo de malha, verificou-se que os tipos corrente, pH, nível set-point, nível pulmão e vazão de correia representavam 94,8% do problema da defasagem do desempenho ideal, conforme gráfico da figura 3.10.

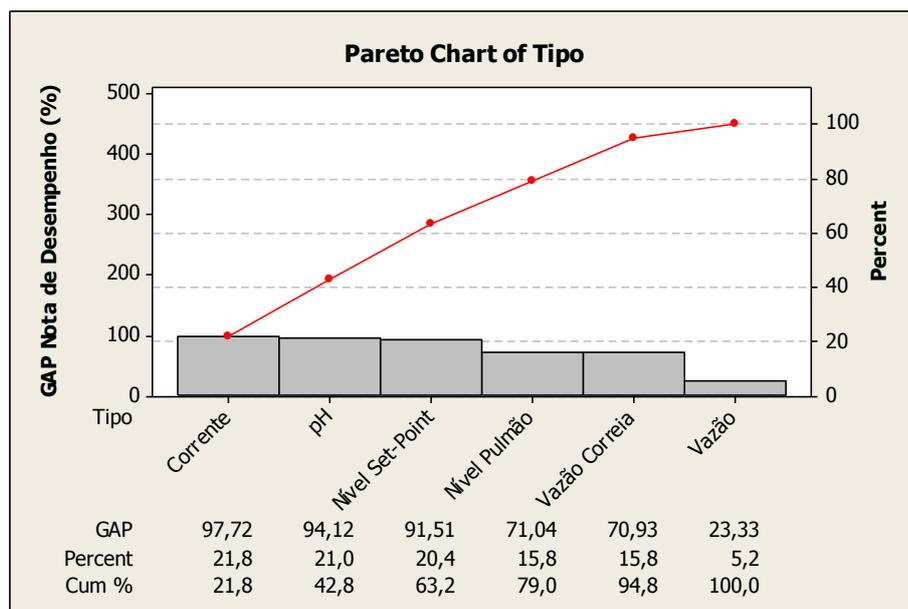


FIGURA 3.10 – Estratificação do problema por tipo

Fonte: SAMARCO MINERAÇÃO SA, 2014.

Para resumir esta primeira etapa, pode-se verificar, por meio do diagrama da figura 3.11, o resultado da análise por tipo de malha de controle e por área de processo. Os valores representados no diagrama significam suas defasagens com relação a nota máxima possível de desempenho, ou seja, representa o quanto de melhoria se pode alcançar na área e no tipo de malha de controle em pontos percentuais.

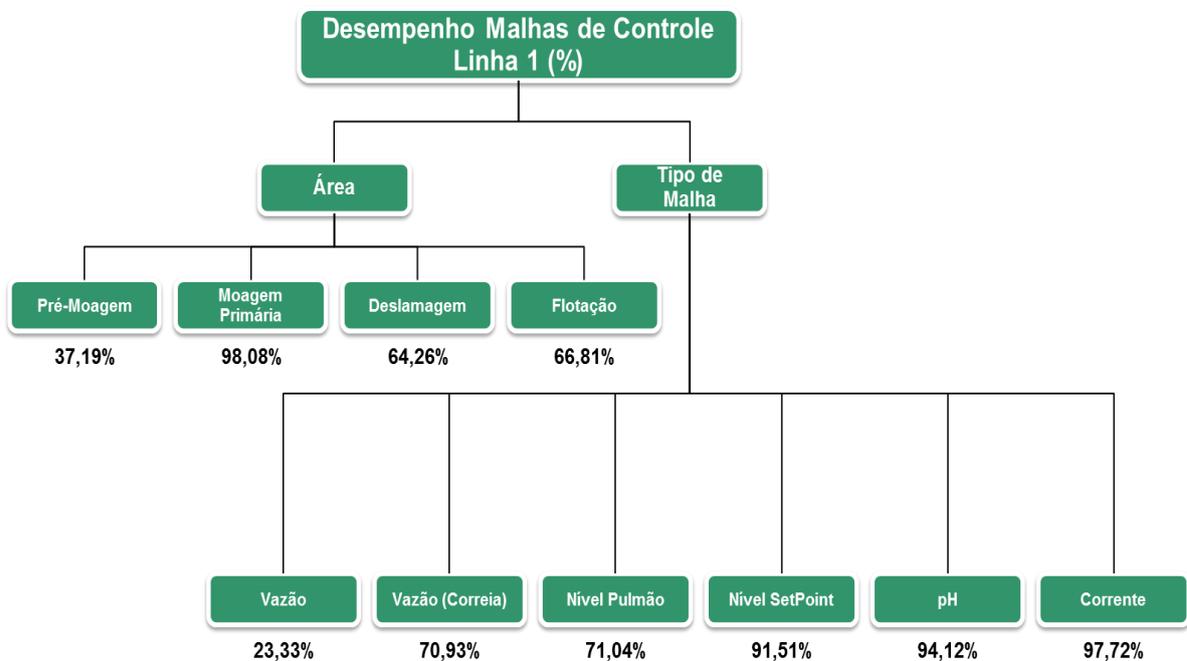


FIGURA 3.11 – Resultado da estratificação por tipo de malha e por área

Numa segunda etapa, realizou-se a estratificação de cada área com seus respectivos tipos de malhas de controle. Com isso, a área pré-moagem foi estudada, onde o tipo vazão (de correia) representava 52,8% da defasagem do desempenho ideal. O melhor controle nesta área é o de nível pulmão, conforme o gráfico da figura 3.12.

Na área moagem primária tem-se duas malhas que utilizam controle de nível pulmão. Com isso, observou-se que as malhas não estavam controlando adequadamente, conforme o gráfico da figura 3.13.

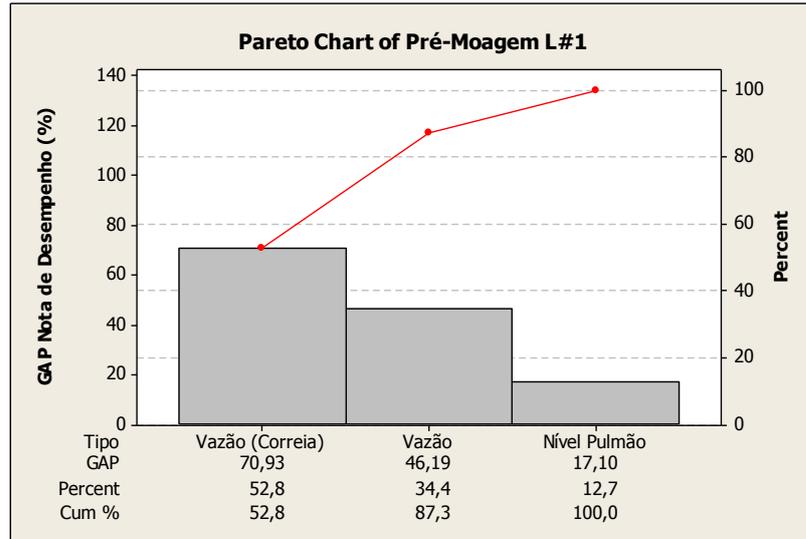


FIGURA 3.12 – Estratificação: pré-moagem x tipos de malhas

Fonte: SAMARCO MINERAÇÃO SA, 2014.

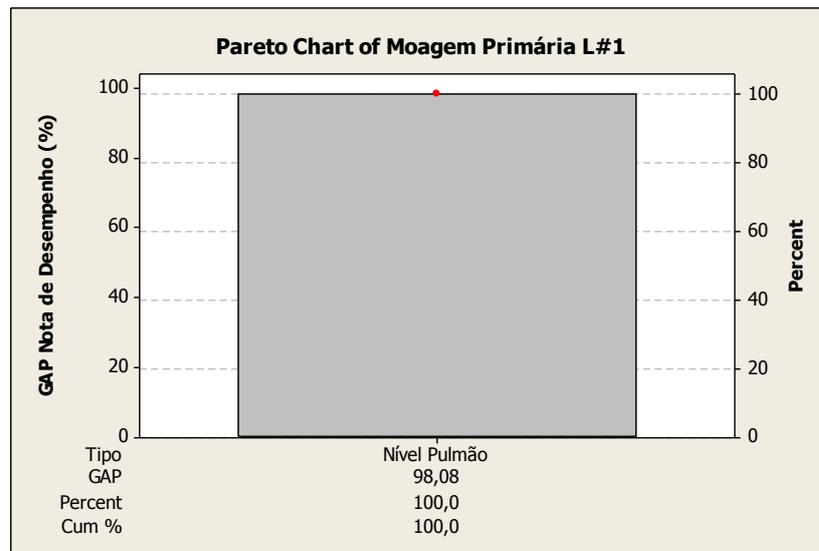


FIGURA 3.13 – Estratificação: moagem primária x tipos de malhas

Fonte: SAMARCO MINERAÇÃO SA, 2014.

Na área deslamagem existem quatro malhas que utilizam o controle de nível pulmão. A partir da análise, verificou-se que a média da nota de desempenho das malhas estava abaixo da meta, conforme o gráfico da figura 3.14.

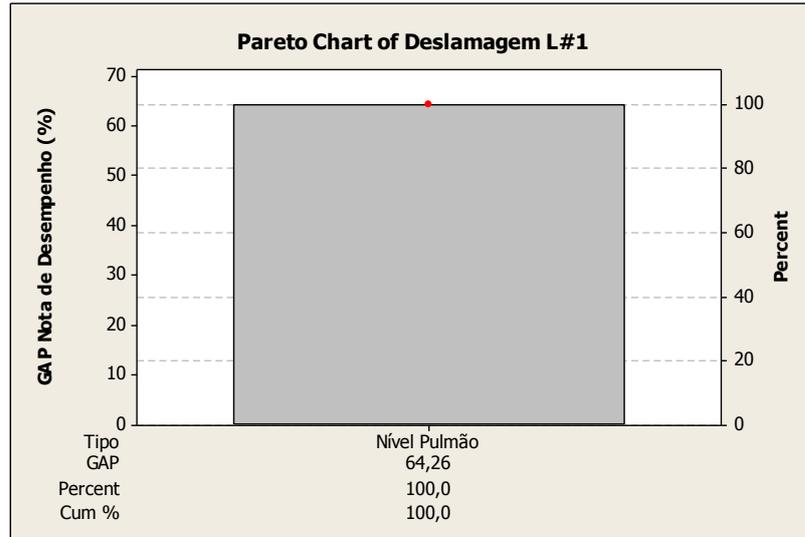


FIGURA 3.14 – Estratificação: deslamagem x tipos de malhas

Fonte: SAMARCO MINERAÇÃO SA, 2014.

Por fim, fez-se a análise das onze malhas da flotação, onde são distribuídas em quatro tipos de controle. Observou-se que apenas as malhas de vazão estavam com bom desempenho conforme o gráfico da figura 3.15.

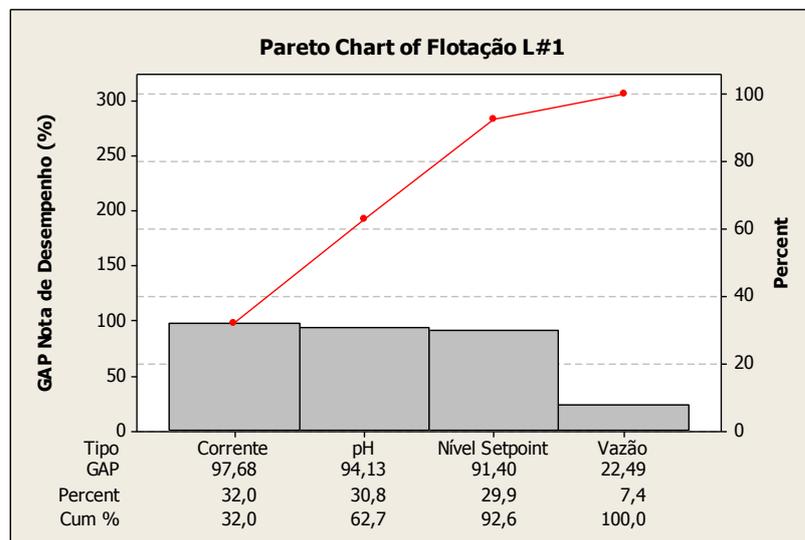


FIGURA 3.15 – Estratificação: flotação x tipos de malhas

Fonte: SAMARCO MINERAÇÃO SA, 2014.

Para resumir todo o estudo dos problemas crônicos, pode-se verificar, por meio do diagrama da figura 3.16, o resultado da distribuição dos tipos de malhas de controle para cada

área de processo. Os valores representados no diagrama significam suas defasagens com relação a nota máxima possível de desempenho, ou seja, representa o quanto de melhoria se pode alcançar na área e no tipo de malha de controle em pontos percentuais.

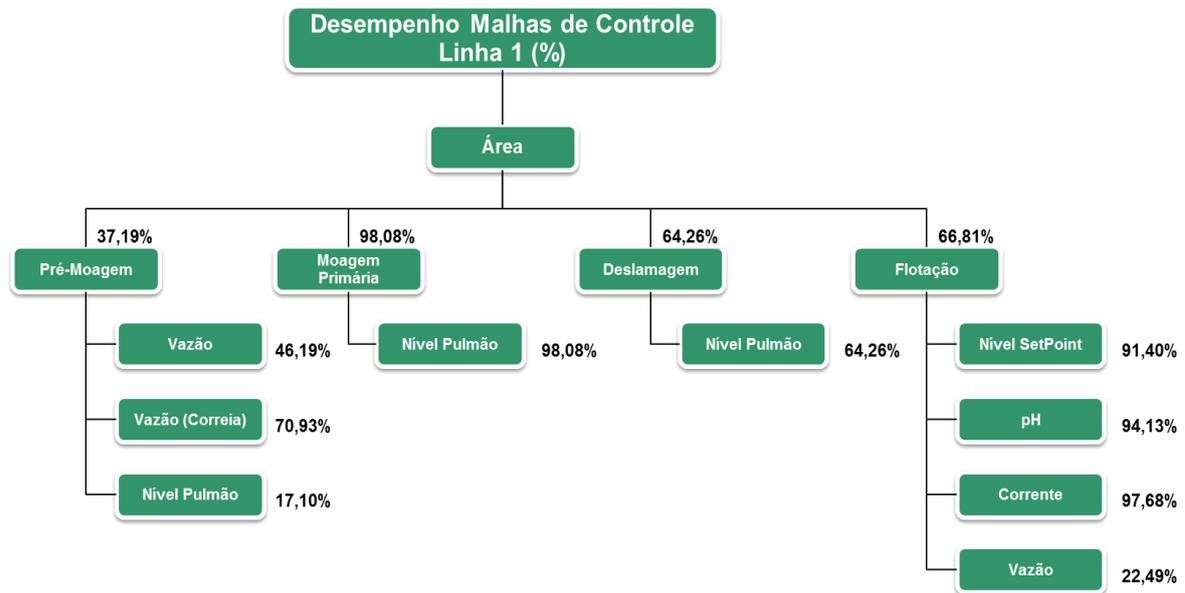


FIGURA 3.16 – Resultado da estratificação por tipo de malha para cada área

Fonte: SAMARCO MINERAÇÃO SA, 2014.

Para os problemas crônicos realizou-se a análise da variabilidade de cada tipo de malha de controle. As conclusões são apresentadas no apêndice A.

Com a conclusão do estudo da fase medir, foi possível concluir que a maioria das malhas de controle estavam com baixo desempenho. Portanto, não foram estabelecidas metas específicas devido ao fato de que se entende (tecnicamente) que todas as malhas são passíveis de melhoria. Uma análise detalhada foi necessária para esse fim, o que será realizado na próxima etapa do trabalho. Assim, o problema foi tratado de forma sistêmica.

3.4 Fase Analisar

Nesta fase identificam-se as causas potenciais da geração do problema estudado nas fases anteriores e se quantifica e prioriza as causas fundamentais encontradas.

Para identificar o processo gerador do problema desenhou-se um mapa para todas as malhas de controle do processo estudado. A sequência da análise foi realizada de acordo com as etapas do processo da linha 1, conforme a figura 3.17.

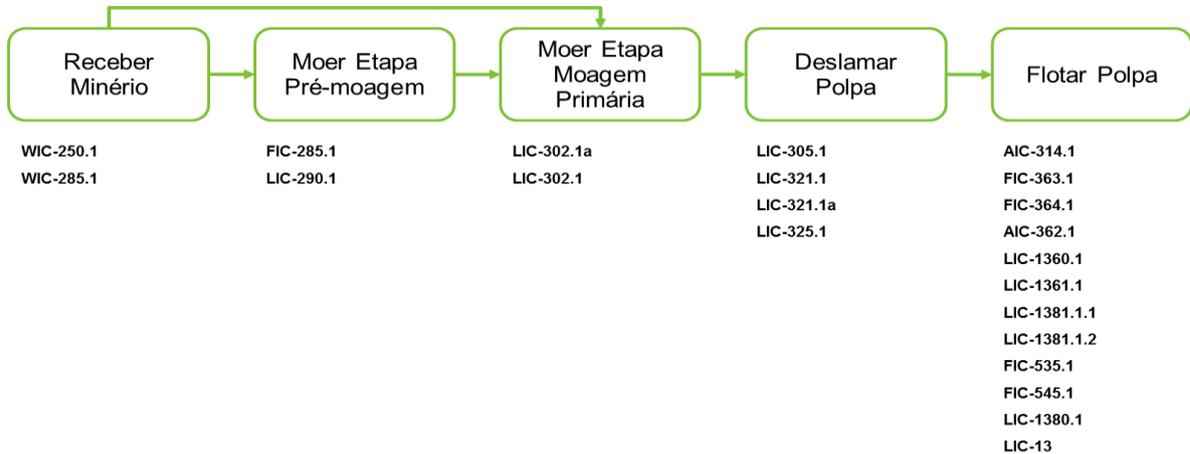


FIGURA 3.17 – Etapas do processo com respectivas malhas de controle

Fonte: SAMARCO MINERAÇÃO SA, 2014.

Assim, desenhou-se mapas de processo com as etapas de funcionamento e operação de todas as malhas envolvidas. O apêndice B contém o detalhamento de todos os mapas de processo desenhados. O intuito do estudo por meio do desenho de processo de cada malha foi aprofundar nas particularidades das malhas de controle com relação as variáveis de interferência e variáveis críticas, além de identificar os produtos de cada fase e produto final do processo.

Numa segunda etapa da fase analisar, uniu-se todas as informações levantadas e, a partir do *brainstorming* (tempestade de ideias) com a equipe, foram levantadas possíveis causas e identificadas as causas potenciais do baixo desempenho das malhas de controle da linha 1.

No diagrama de causa e efeito representado pelas figuras 3.18, 3.19 e 3.20, são apresentadas estas causas com suas classificações em PP (pouco provável), P(provável) e MP (muito provável).

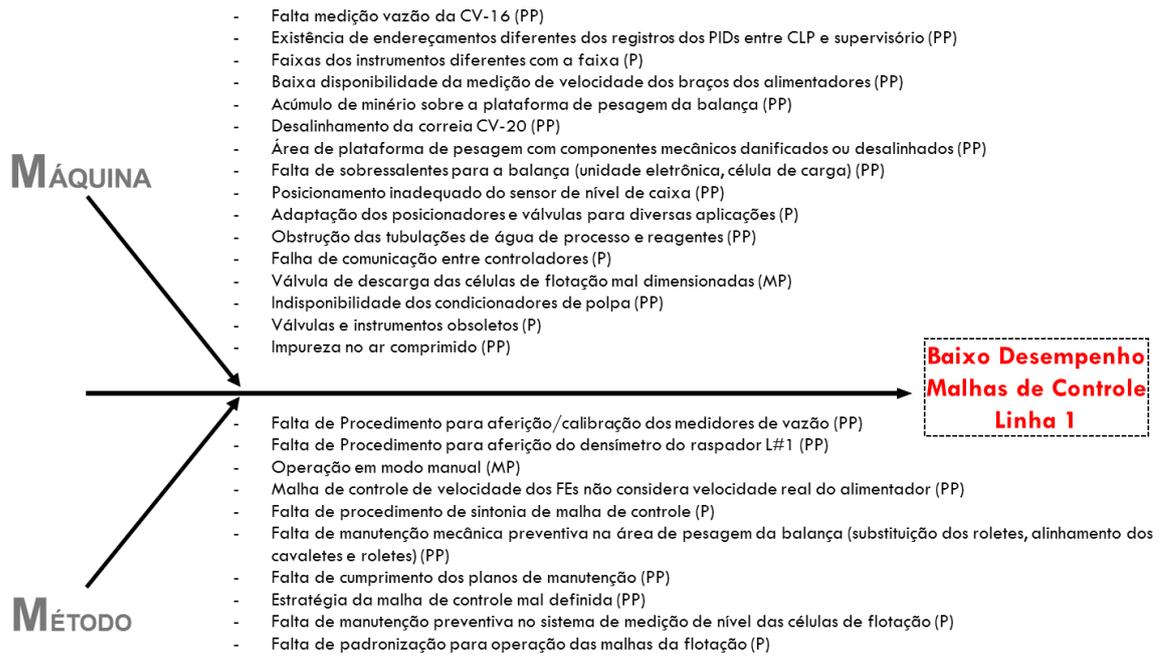


FIGURA 3.18 – Identificação das causas potenciais – máquina e método

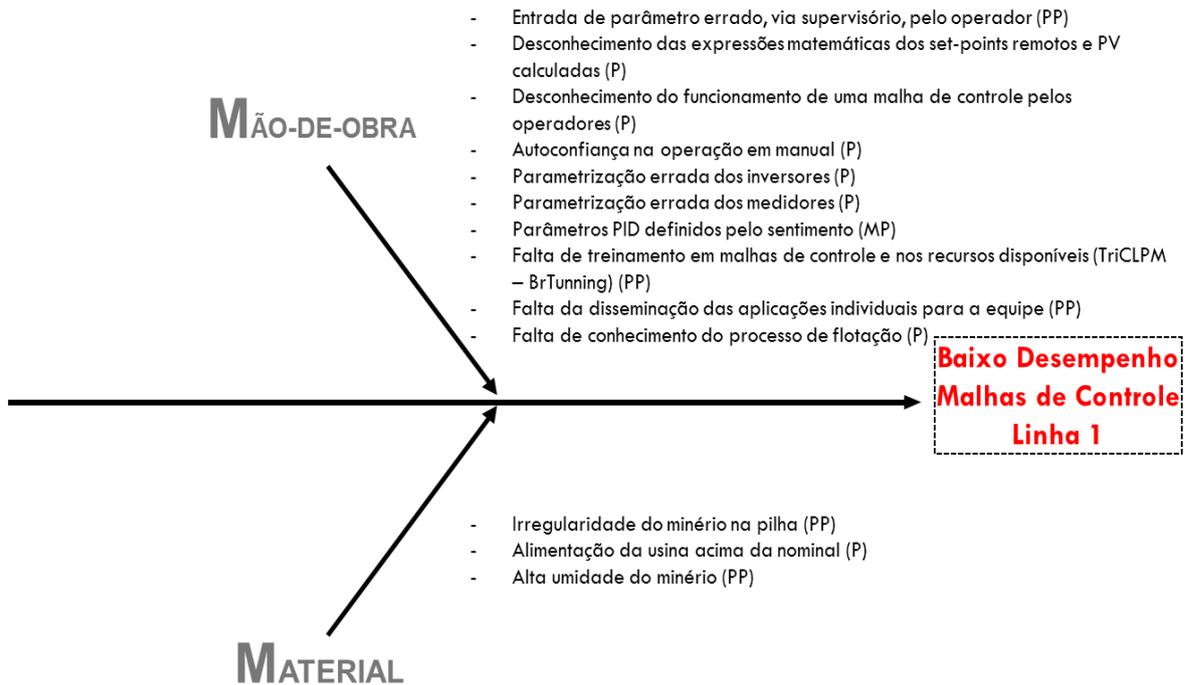


FIGURA 3.19 – Identificação das causas potenciais – mão-de-obra e material

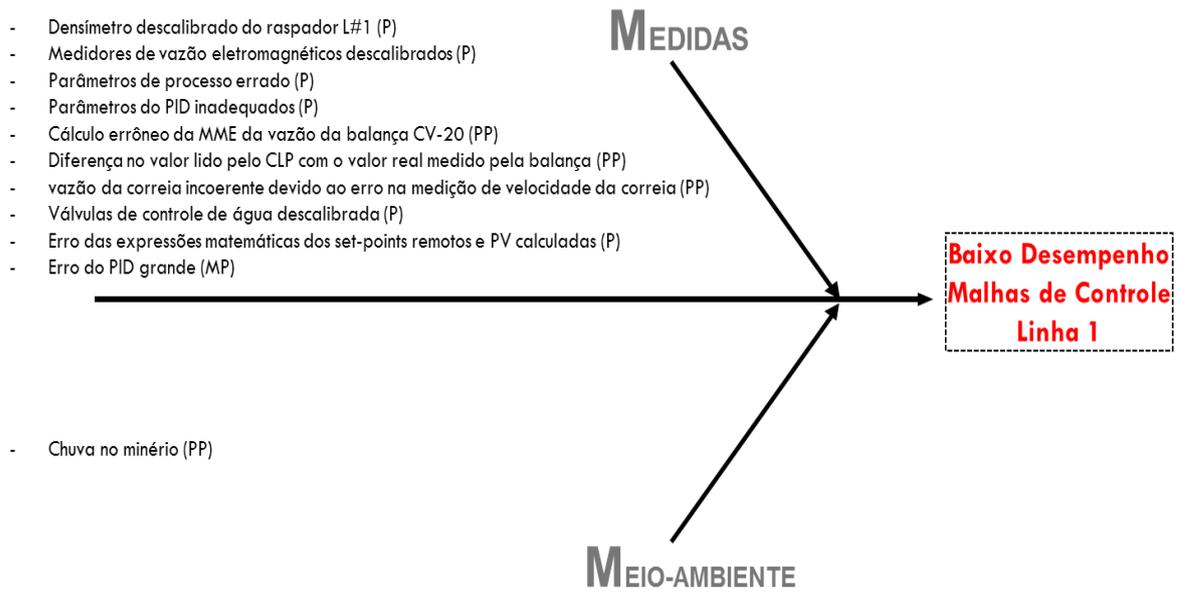


FIGURA 3.20 – Identificação das causas potenciais – medidas e meio-ambiente

Com o resultado da identificação das causas potenciais, por meio da análise dos 05 porquês, foram identificadas as causas raízes pela equipe, conforme as figuras 3.21, 3.22 e 3.23 que tratam do tipo máquina; figura 3.24 que trata do tipo material; figuras 3.25 e 3.26 que tratam do tipo medidas; figuras 3.27 e 3.28 que tratam do tipo método e figuras 3.29 e 3.30 que tratam do tipo mão-de-obra.

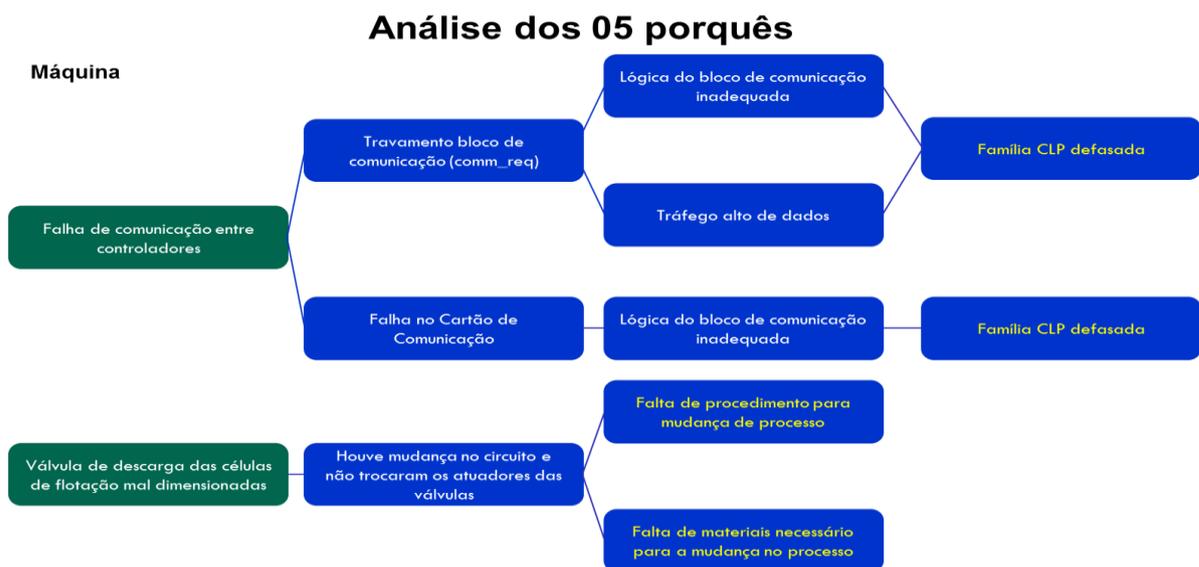


FIGURA 3.21 – Análise 05 porquês – máquina

Análise dos 05 porquês

Máquina

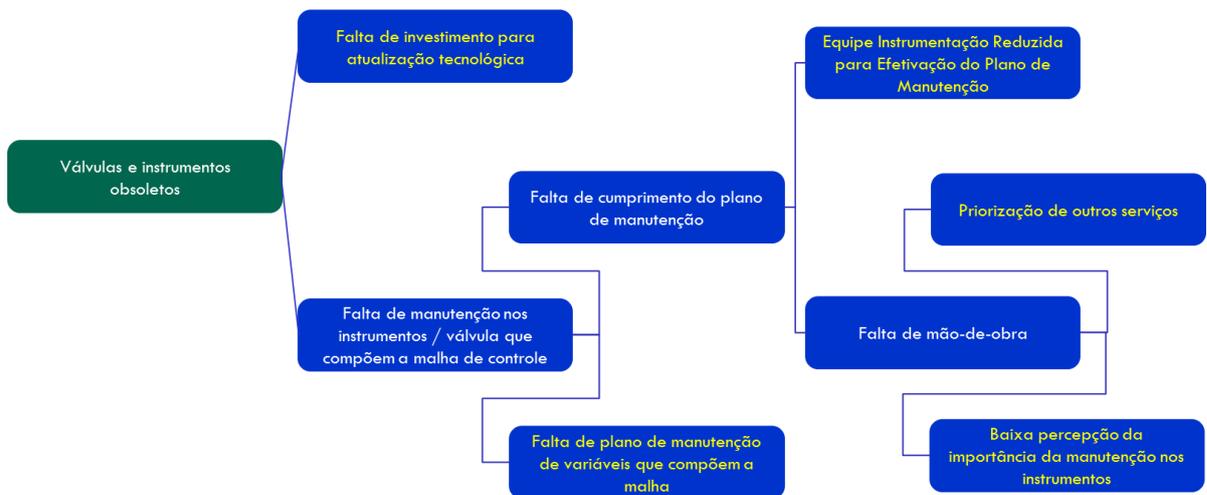


FIGURA 3.22 – Análise 05 porquês – máquina

Análise dos 05 porquês

Máquina



FIGURA 3.23 – Análise 05 porquês – máquina

Análise dos 05 porquês

Material

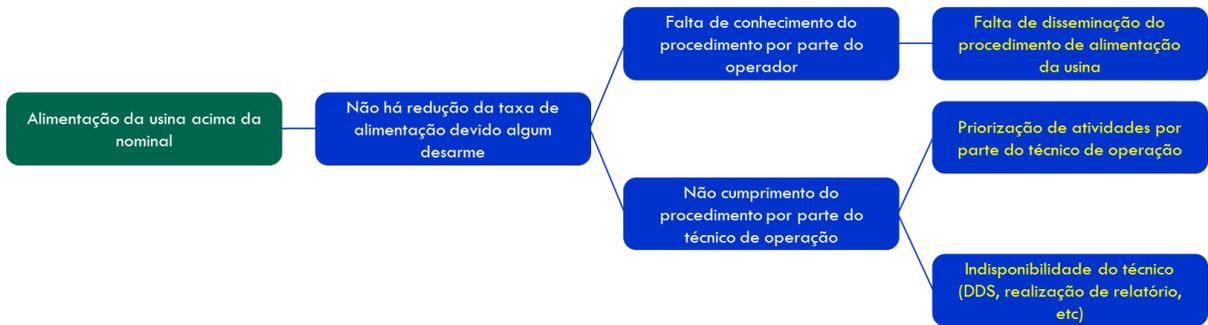


FIGURA 3.24 – Análise 05 porquês – material

Análise dos 05 porquês

Medidas

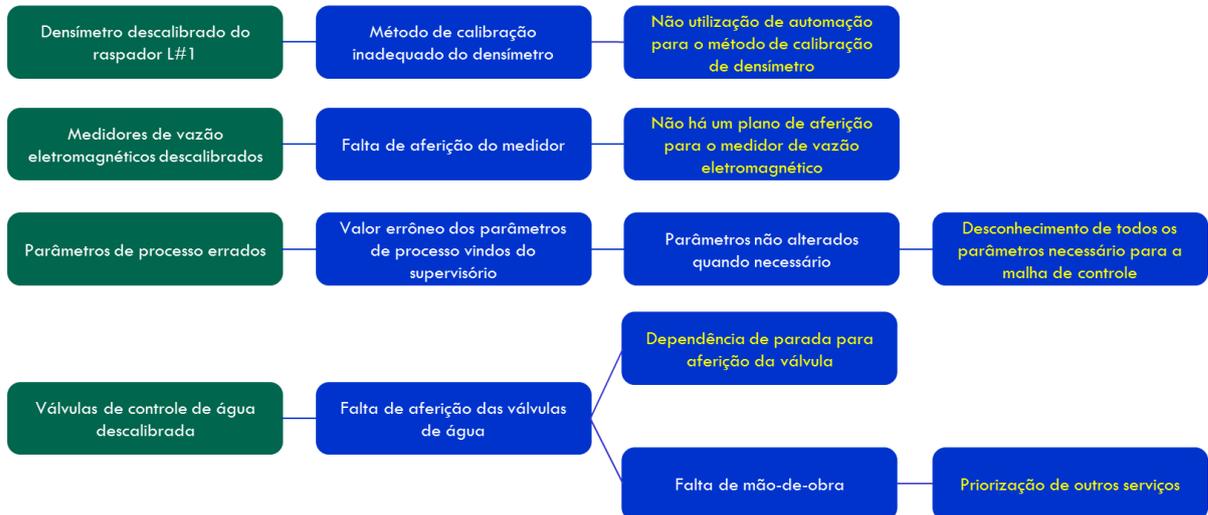


FIGURA 3.25 – Análise 05 porquês – medidas

Análise dos 05 porquês

Medidas

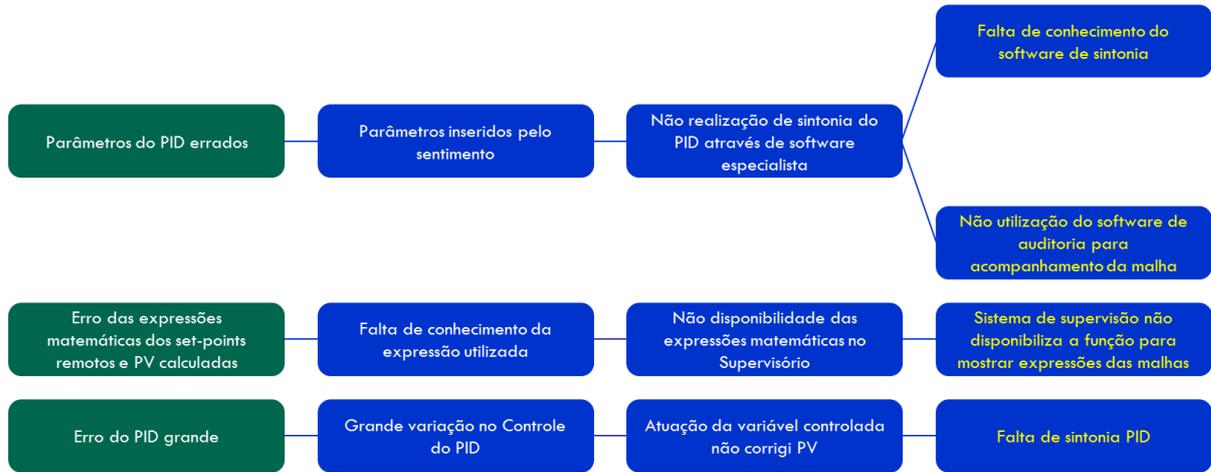


FIGURA 3.26 – Análise 05 porquês – medidas

Análise dos 05 porquês

Método

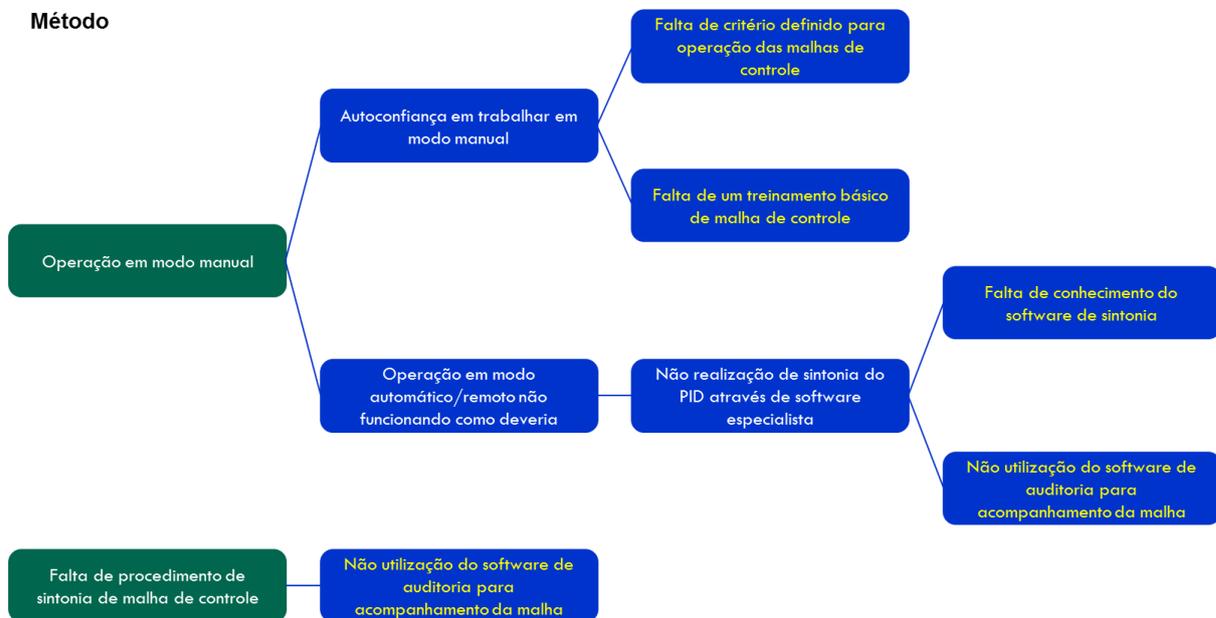


FIGURA 3.27 – Análise 05 porquês – método

Análise dos 05 porquês

Método

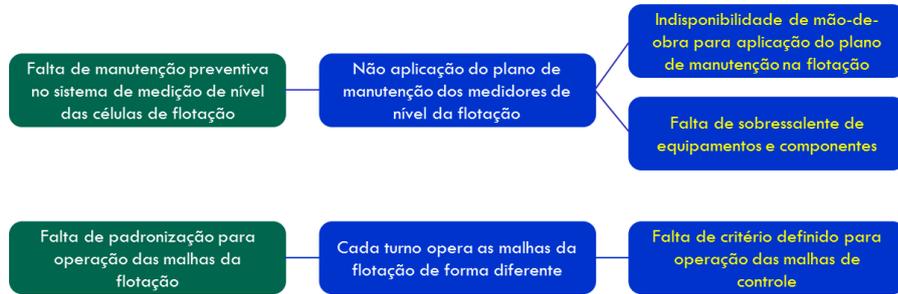


FIGURA 3.28 – Análise 05 porquês – método

Análise dos 05 porquês

Mão-de-obra

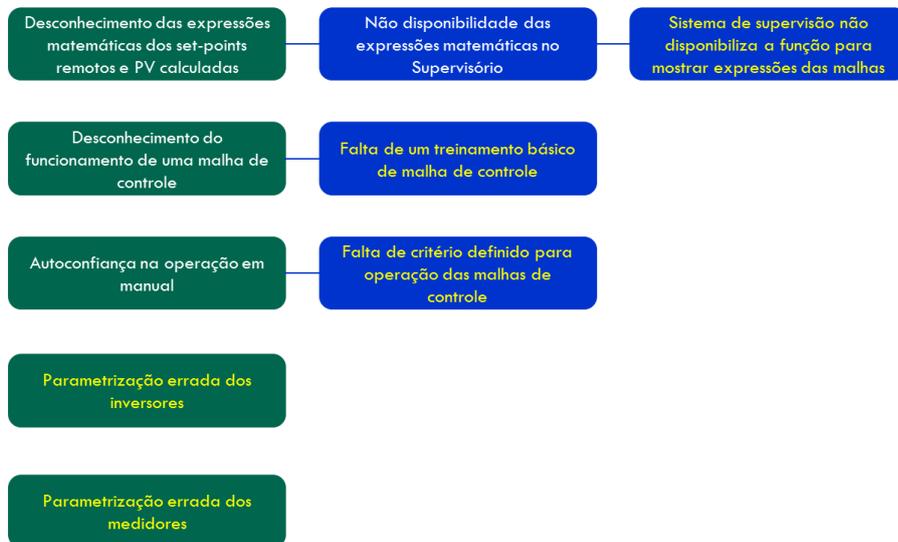


FIGURA 3.29 – Análise 05 porquês – mão-de-obra

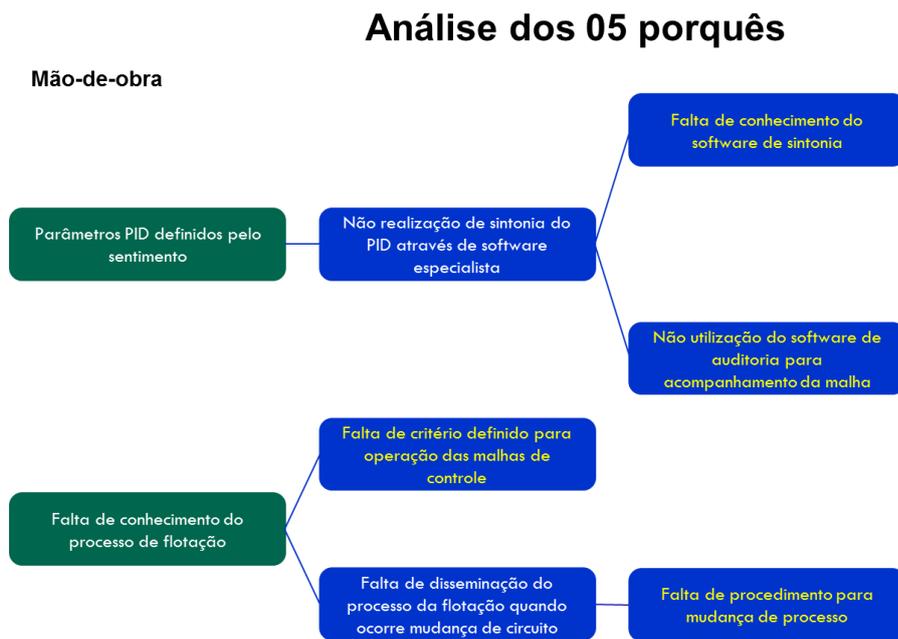


FIGURA 3.30 – Análise 05 porquês – mão-de-obra

Ao final do estudo com a ferramenta 05 porquês, realizou-se a priorização das causas potenciais pela matriz OGD (ocorrência, gravidade e detecção), conforme o apêndice C. No total foram priorizadas 13 causas de 37 identificadas, de acordo com a tabela 3.4.

TABELA 3.4 – Priorização das causas fundamentais

| Priorização das Causas | |
|------------------------|---|
| 1 | Falta de materiais necessário para a mudança no processo |
| 2 | Priorização de outros serviços |
| 3 | Desconhecimento de todos os parâmetros necessário para a malha de controle |
| 4 | Falta de conhecimento do software de sintonia |
| 5 | Não utilização do software de auditoria para acompanhamento da malha |
| 6 | Falta de critério definido para operação das malhas de controle |
| 7 | Falta de sobressalente de equipamentos e componentes |
| 8 | Falta de Sintonia PID |
| 9 | Não utilização de automação para o método de calibração |
| 10 | Não disponibilidade das expressões no supervisório |
| 11 | Falta de um treinamento básico de malha de controle |
| 12 | Sistema de supervisão não disponibiliza a função para mostrar expressões das malhas |
| 13 | Equipe Instrumentação Reduzida para Efetivação do Plano de Manutenção |

Portanto, com o final da etapa analisar, obteve-se uma lista de causas fundamentais priorizadas que alimentam a etapa aprimorar para a construção do plano de ação.

3.5 Fase Aprimorar

Nesta fase identifica-se as soluções que serão adotadas na resolução dos problemas para elaborar, executar e validar um plano de ação para melhoria do desempenho das malhas críticas de controle da linha.

Para a elaboração do plano de ação, realizou-se um *brainstorming* com a equipe para identificar ideias de soluções para eliminação das causas fundamentais conforme a tabela de medidas representada pelas tabelas 3.5 e 3.6.

TABELA 3.5 – Ideias para solução das causas priorizadas

| Brainstorming | |
|--|--|
| Causas Priorizadas | Ações |
| Falta de materiais necessário para a mudança no processo | Garantir a cumprimento de gestão de mudanças nas mudanças de processo |
| Falta de materiais necessário para a mudança no processo | Toda mudança de processo tem que haver um técnico de instrumentação e um de automação participando desde o início do estudo |
| Falta de materiais necessário para a mudança no processo | Incluir a instrumentação no SGSA |
| Priorização de outros serviços | Criar plano de inspeção para cada malha de controle da linha 1 |
| Priorização de outros serviços | Criar plano de manutenção preventiva para cada malha de controle da linha 1 |
| Desconhecimento de todos os parâmetros necessário para a malha de controle | Disponibilizar no supervísório os parâmetros detalhados por malha |
| Desconhecimento de todos os parâmetros necessário para a malha de controle | Criar diagrama de malhas de controle para a linha 1 |
| Desconhecimento de todos os parâmetros necessário para a malha de controle | Disponibilizar os totalizadores de amido e amina do dia na tela da flotação |
| Falta de conhecimento do software de sintonia | Treinamento para a equipe de automação no software de sintonia de malha |
| Não utilização do software de auditoria para acompanhamento da malha | Disponibilizar usuário do TriCLPM para todos os engenheiros/analistas de processo |
| Não utilização do software de auditoria para acompanhamento da malha | Disponibilizar usuário do TriCLPM para a instrumentação |
| Não utilização do software de auditoria para acompanhamento da malha | Realizar treinamento do TriCLPM para automação, instrumentação e processo |
| Não utilização do software de auditoria para acompanhamento da malha | Atualização das variáveis no TriCLPM |
| Não utilização do software de auditoria para acompanhamento da malha | Definir responsável da automação pelo gerenciamento do TriCLPM |
| Não utilização do software de auditoria para acompanhamento da malha | Disponibilizar a nota da malha para os responsáveis |
| Não utilização do software de auditoria para acompanhamento da malha | Gerar o relatório de acordo com a definição do usuário (filtro de informação) |
| Falta de critério definido para operação das malhas de controle | Criar um recurso para historiar as operações em manual. O operador terá que inserir o motivo pelo qual colocou a malha em manual |
| Falta de critério definido para operação das malhas de controle | Treinamento básico de malha de controle para a operação |
| Falta de critério definido para operação das malhas de controle | Definir responsável operação/processo das malhas de controle |
| Falta de sobressalente de equipamentos e componentes | Fazer levantamento dos itens de automação e instrumentação não cadastrados no SAP e cadastrá-los |
| Falta de sobressalente de equipamentos e componentes | Criticar os itens dos itens de automação e instrumentação cadastrados no SAP |
| Falta de Sintonia PID | Manutenção preventiva nos instrumentos e válvulas da pré-moagem |
| Falta de Sintonia PID | Sintonizar malhas da pré-moagem |

TABELA 3.6 – Ideias para solução das causas priorizadas

| Brainstorming | |
|---|--|
| Causas Priorizadas | Ações |
| Falta de Sintonia PID | Manutenção preventiva nos instrumentos e válvulas da moagem primária |
| Falta de Sintonia PID | Sintonizar malhas da moagem primária |
| Falta de Sintonia PID | Manutenção preventiva nos instrumentos e válvulas da deslamagem |
| Falta de Sintonia PID | Sintonizar malhas da deslamagem |
| Falta de Sintonia PID | Manutenção preventiva nos instrumentos e válvulas da flotação |
| Falta de Sintonia PID | Sintonizar malhas da flotação |
| Falta de Sintonia PID | Troca dos atuadores das células de flotação |
| Falta de Sintonia PID | Troca das válvulas de reagentes da flotação linha 1 |
| Falta de Sintonia PID | Instalar medidor de vazão de soda na flotação |
| Não utilização de automação para o método de calibração | Criar procedimento de aferição dos densímetros radioativos |
| Não utilização de automação para o método de calibração | Criar plano de aferição dos densímetros radioativos |
| Não utilização de automação para o método de calibração | Realizar treinamento interno do procedimento de aferição dos densímetros radioativos |
| Não utilização de automação para o método de calibração | Criar plano de calibração dos densímetros radioativos |
| Não utilização de automação para o método de calibração | Criar lógica de cálculo para média de densidade no período de amostragem |
| Não disponibilidade das expressões no supervisório | Disponibilizar no supervisório as expressões dos cálculos de set-point por malha |
| Falta de um treinamento básico de malha de controle | Treinamento básico de malha de controle para a operação, automação e instrumentação |
| Sistema de supervisão não disponibiliza a função para mostrar expressões das malhas | Criar uma tela de detalhe para disponibilizar as expressões e parâmetros |
| Equipe Instrumentação Reduzida para Efetivação do Plano de Manutenção | Contratação de mão-de-obra |

Com a lista de possíveis soluções, por meio da matriz RAB (rapidez, autonomia e benefício) foi realizada a priorização das ações para a geração do plano de ação, conforme apêndice D.

No apêndice E está disponível o plano de ação estabelecido com todas as ações priorizadas pela matriz RAB.

Uma das ações foi a realização de treinamentos dos *softwares* de gestão de malhas de controle (figura 3.31), ministrado pela equipe da TriSolutions, e sintonia de controladores PID pelo BrTuning. O intuito destes treinamentos foi disseminar a utilização dos *softwares* para as equipes de instrumentação e processo.



FIGURA 3.31 – Treinamento da ferramenta TriCLPM

Fonte: SAMARCO MINERAÇÃO SA, 2014.

Outra ação realizada trata-se da manutenção preventiva nos instrumentos e válvulas das áreas da pré-moagem, moagem primária e deslamagem, em que realizou-se limpeza dos instrumentos e posicionadores. Além disso, calibrou-se as válvulas e validou-se os parâmetros dos instrumentos. A figura 3.32 mostra alguns medidores e posicionadores que foram avaliados.



FIGURA 3.32 – Manutenção preventiva nos ativos das malhas de controle

Fonte: SAMARCO MINERAÇÃO SA, 2014.

Também realizou-se uma manutenção preventiva nos ativos da flotação convencional. A figura 3.33 mostra alguns medidores e posicionadores da flotação que foram avaliados.



FIGURA 3.33 – Manutenção preventiva nos ativos das malhas de controle

Fonte: SAMARCO MINERAÇÃO SA, 2014.

Para auxílio na operação de todas as malhas de controle, foram disponibilizadas nas telas de detalhes do PID todas as informações dos cálculos e parâmetros de processo, conforme exemplo da figura 3.34.

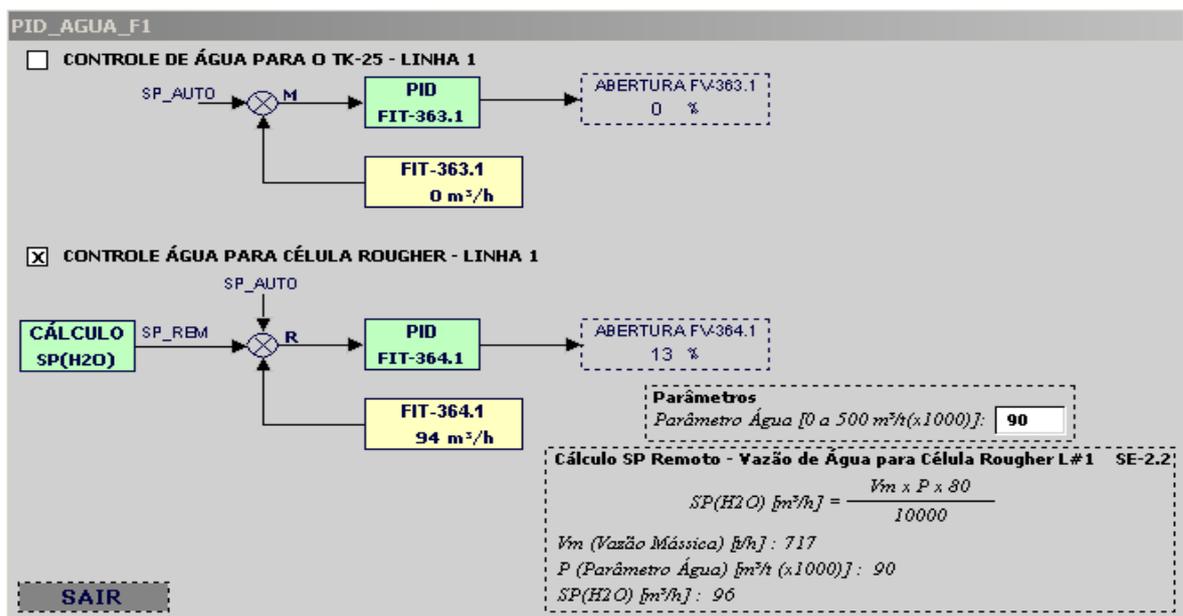


FIGURA 3.34 – Exemplo da tela de detalhes das malhas de controle

Fonte: SAMARCO MINERAÇÃO SA, 2014.

Após a realização de todas as manutenções necessárias em campo e a partir do *software* de gestão de malhas de controle (TriCLPM), as malhas foram avaliadas e quando foi percebida uma possível melhora no desempenho com uma nova sintonia do controlador PID,

a mesma foi realizada utilizando o *software* BrTuning (figura 3.35). Na tabela 3.7 é possível verificar os detalhes da sintonia com os parâmetros do PID que foram alterados quando necessário (K_p , K_i , K_d), onde estão dispostos com o valor “antes” e “depois”. A estratégia de sintonia adotada foi a sua realização pela equipe de automação e acompanhamento com a equipe de processo durante os dias dos testes.

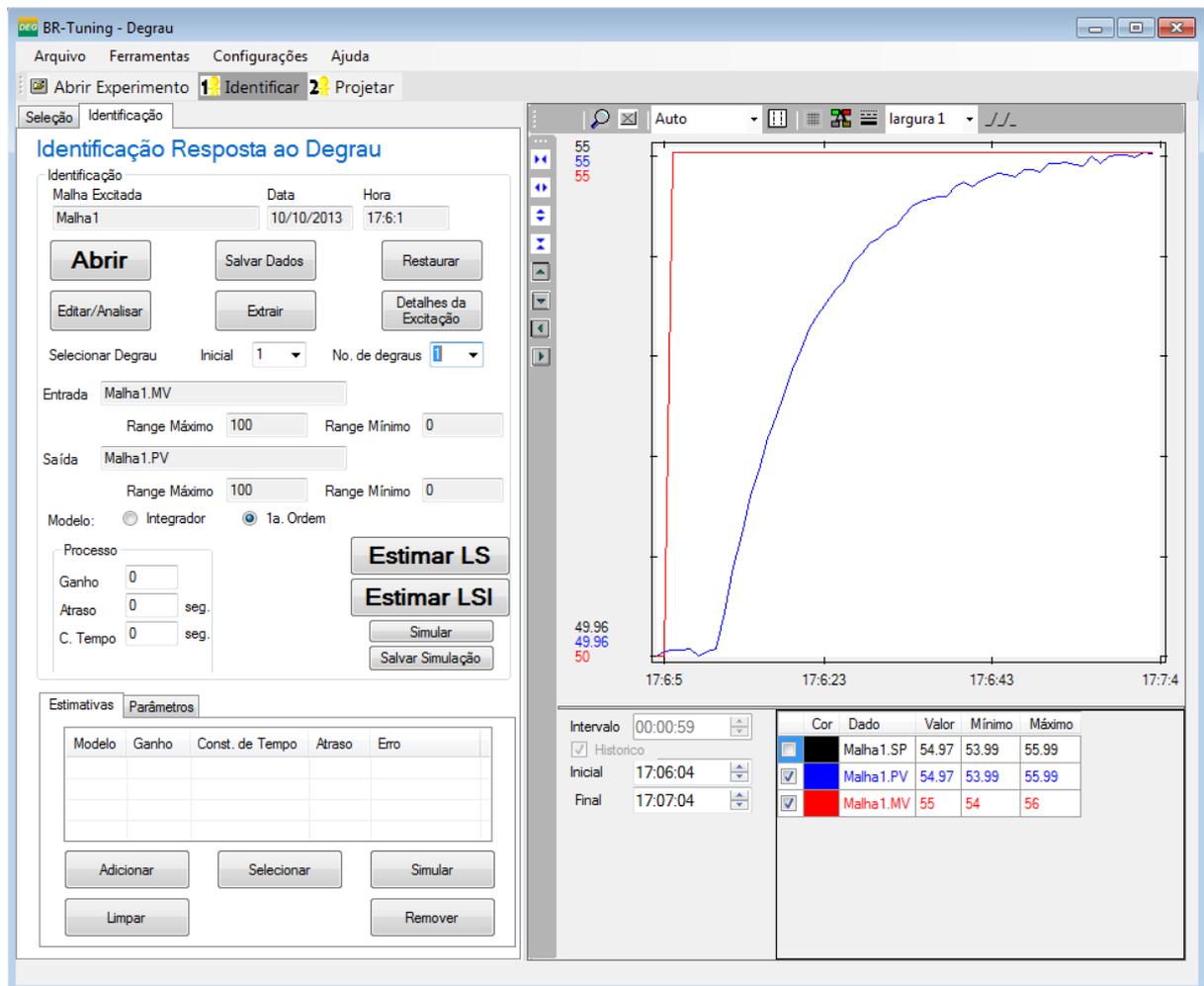


FIGURA 3.35 – Projetando o controlador PID pelo BrTuning

Fonte: BRTUNING, 2014.

TABELA 3.7 – Sintonia dos controladores PID

| TAG | Tipo de Malha de Controle | Tipo de Sintonia | Kp | | Ki | | Kd | |
|------------|---------------------------|-------------------------|-------|--------|-------|--------|-------|--------|
| | | | Antes | Depois | Antes | Depois | Antes | Depois |
| WIC-285_1 | Nível Pulmão | Degrau em Malha Aberta | 0,5 | 0,46 | 0,015 | 0,007 | 0 | 0 |
| WIC-285_1 | Nível Pulmão | Degrau em Malha Aberta | 0,46 | 0,45 | 0,007 | 0,007 | 0 | 0 |
| WIC-285_1 | Nível Pulmão | Degrau em Malha Fechada | 0,45 | 0,72 | 0,007 | 0,005 | 0 | 0 |
| FIC-285_1 | Vazão | Degrau em Malha Aberta | 0,9 | 0,9 | 0,015 | 0,015 | 0 | 0 |
| LIC-290_1 | Nível Pulmão | Degrau em Malha Aberta | 0,8 | 0,8 | 0,03 | 0,03 | 0 | 0 |
| WIC-250_1 | Vazão | Degrau em Malha Aberta | 0,2 | 0,2 | 0,015 | 0,015 | 0 | 0 |
| LIC-302-1 | Nível Pulmão | Degrau em Malha Aberta | 1 | 1 | 0,015 | 0,015 | 0 | 0 |
| LIC-302-1A | Nível Pulmão | Degrau em Malha Aberta | 1,2 | 1,2 | 0,015 | 0,015 | 0 | 0 |
| LIC-305_1 | Nível Pulmão | Relé Pulso | 1 | 1 | 0,01 | 0,01 | 0 | 0 |
| LIC-321_1 | Nível Pulmão | Degrau em Malha Aberta | 1,8 | 1,8 | 0,015 | 0,015 | 0 | 0 |
| LIC-321_1A | Nível Pulmão | Degrau em Malha Aberta | 2 | 2 | 0,02 | 0,02 | 0 | 0 |
| LIC-325_1 | Nível Pulmão | Degrau em Malha Aberta | 1,8 | 1,8 | 0,015 | 0,015 | 0 | 0 |
| FIC_364_1 | Vazão | Degrau em Malha Aberta | 0,5 | 0,4 | 0,015 | 0,027 | 0 | 0 |
| FIC_364_1 | Vazão | Degrau em Malha Fechada | 0,4 | 0,46 | 0,027 | 0,027 | 0 | 0 |
| FIC-535_1 | Vazão | Degrau em Malha Aberta | 0,65 | 0,68 | 0,015 | 0,041 | 0 | 0 |
| FIC-535_1 | Vazão | Degrau em Malha Fechada | 0,68 | 0,68 | 0,041 | 0,041 | 0 | 0 |
| FIC-545_1 | Vazão | Degrau em Malha Aberta | 0,6 | 0,4 | 0,015 | 0,025 | 0 | 0 |
| FIC-545_1 | Vazão | Degrau em Malha Fechada | 0,4 | 0,55 | 0,025 | 0,057 | 0 | 0 |
| LIC-290_1 | Nível Pulmão | Degrau em Malha Aberta | 1 | 1 | 0,02 | 0,02 | 0 | 0 |
| LIC-302-1 | Nível Pulmão | Degrau em Malha Aberta | 1 | 1 | 0,015 | 0,015 | 0 | 0 |
| LIC-302-1A | Nível Pulmão | Degrau em Malha Aberta | 1,2 | 1,2 | 0,015 | 0,015 | 0 | 0 |
| LIC-305_1 | Nível Pulmão | Degrau em Malha Fechada | 1 | 1 | 0,01 | 0,01 | 0 | 0 |
| LIC-321_1 | Nível Pulmão | Degrau em Malha Fechada | 1,8 | 1,8 | 0,015 | 0,015 | 0 | 0 |
| LIC-321_1A | Nível Pulmão | Degrau em Malha Aberta | 2 | 2 | 0,02 | 0,02 | 0 | 0 |

| | | | | | | | | |
|-------------|-----------------|-------------------------|------|------|-------|-------|---|---|
| LIC-325_1 | Nível Pulmão | Degrau em Malha Aberta | 1,8 | 1,8 | 0,015 | 0,015 | 0 | 0 |
| FIC_363_1 | Vazão | Degrau em Malha Aberta | 0,3 | 0,3 | 0,015 | 0,015 | 0 | 0 |
| LIC-13 | Nível Pulmão | Degrau em Malha Aberta | 0,3 | 0,3 | 0,015 | 0,015 | 0 | 0 |
| LIC-1360_1 | Nível Set-point | Degrau em Malha Fechada | 0,3 | 0,3 | 0,015 | 0,015 | 0 | 0 |
| LIC-1361_1 | Nível Set-point | Degrau em Malha Fechada | 0,4 | 0,4 | 0,015 | 0,015 | 0 | 0 |
| LIC-1380_1 | Nível Set-point | Degrau em Malha Fechada | 0,5 | 0,5 | 0,005 | 0,005 | 0 | 0 |
| LIC-1381_1A | Nível Set-point | Degrau em Malha Fechada | 0,63 | 0,63 | 0,015 | 0,015 | 0 | 0 |

3.6 Fase Controlar e Resultados

Após as fases de estudo e execução das ações do plano de ação, foi necessário acompanhar o indicador que é a média diária de desempenho das malhas de controle da linha 1 do concentrador 1. A partir do gráfico da figura 3.36 é possível observar que, ao final da etapa aprimorar, o indicador geral de desempenho já estava atendendo a meta estabelecida no início do projeto (50%).

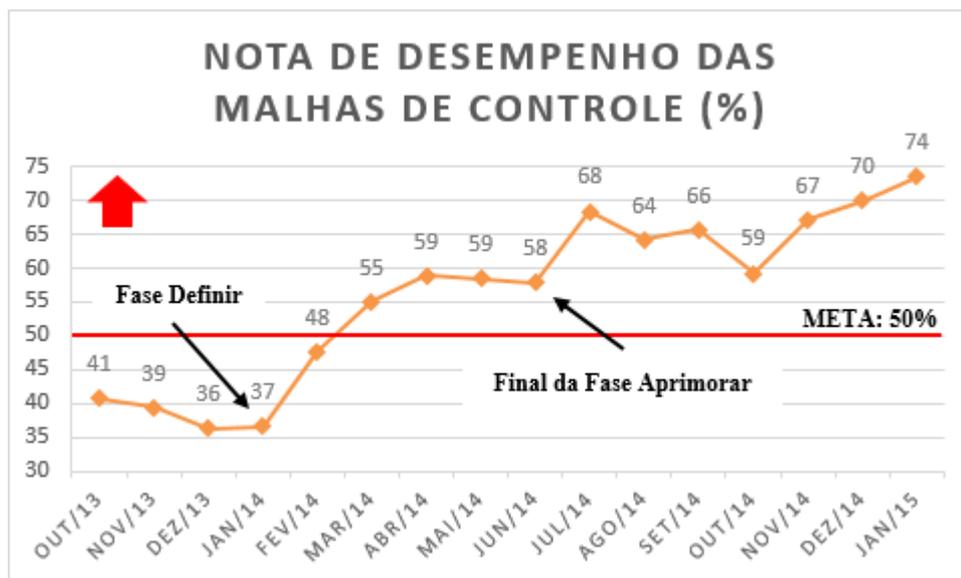


FIGURA 3.36 – Acompanhamento do indicador

Fonte: SAMARCO MINERAÇÃO SA, 2015.

Um dos indicadores mais importantes utilizados para mensurar o desempenho do controle regulatório é o percentual do tempo da operação das malhas em manual. Quando a malha opera em manual, não existe nenhum controle da variável de processo, o que influencia negativamente na operação da planta. Durante todo o estudo foi realizado um trabalho junto à equipe de operação para aumentar o tempo de trabalho das malhas em automático o que influenciou diretamente na nota de desempenho. O gráfico da figura 3.37 mostra a evolução ocorrida na operação das malhas com a utilização do controlador PID, ou seja, operação da malha de controle em automático.

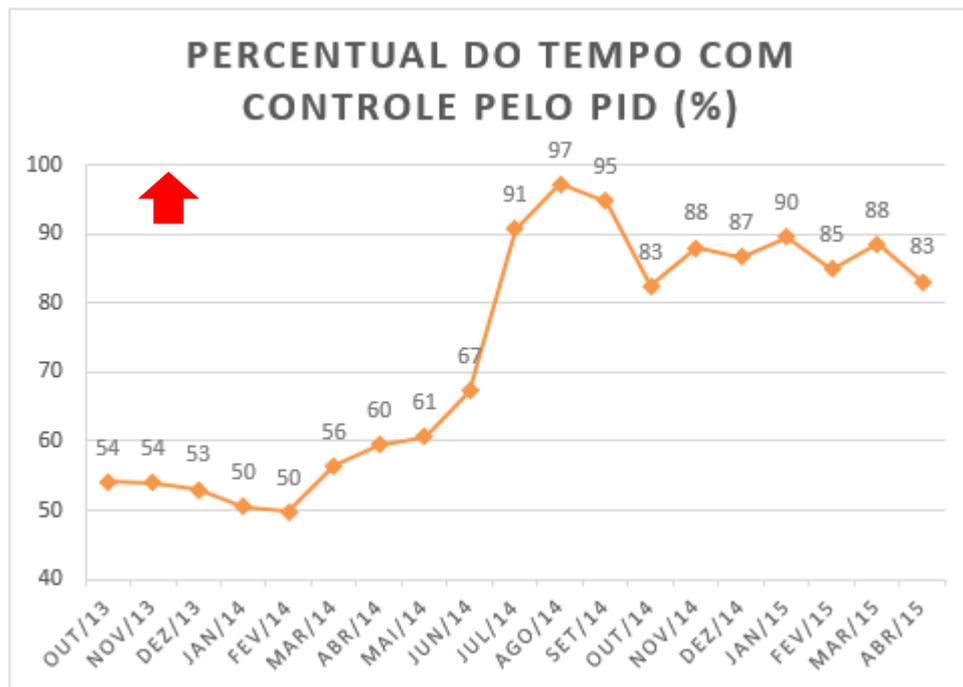


FIGURA 3.37 – Percentual do tempo com controle pelo PID

Fonte: SAMARCO MINERAÇÃO SA, 2015.

Para as malhas de controle do tipo nível pulmão, o indicador “percentual do tempo sem controle” traduz o percentual do tempo em que uma determinada malha fica fora dos limites seguros de operação. Para os tanques estudados, o cálculo utiliza os limites superior de 90% e inferior de 30%. Por meio do gráfico da figura 3.38 pode-se verificar que houve uma redução deste tempo de operação fora dos limites, reduzindo o tempo de perda de material nos tanques. Ou seja, houve uma redução no tempo em que um tanque ficou em trasbordo ou seco.

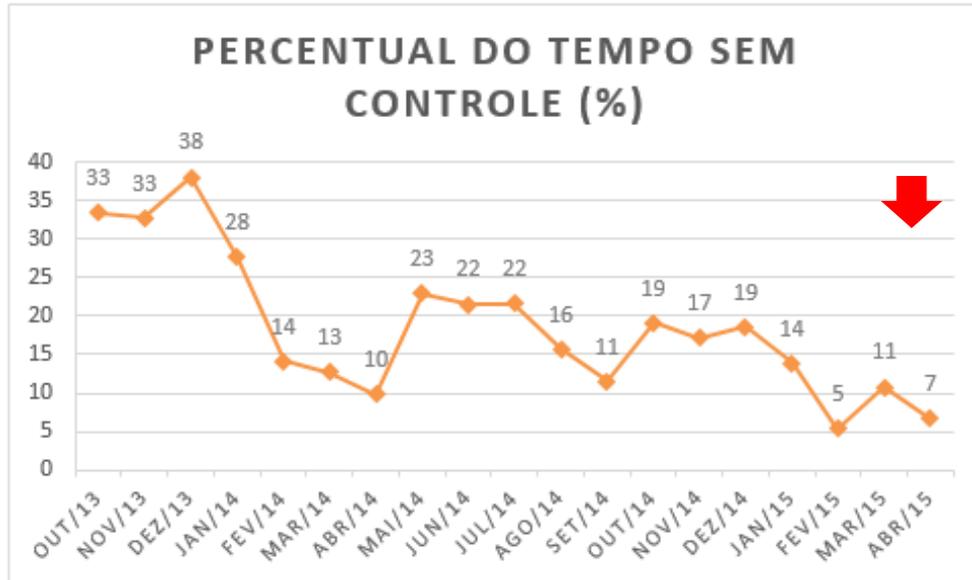


FIGURA 3.38 – Percentual do tempo sem controle

Fonte: SAMARCO MINERAÇÃO SA, 2015.

Já a saturação indica o percentual do tempo, durante uma análise, em que a malha permaneceu em saturação. Deve ser um dos primeiros índices a ser observado, pois malhas operando saturadas impactam diretamente no desempenho do controlador e nos demais índices. Os limites inferior e superior de saturação para uma válvula são de 10% e 90% respectivamente. No gráfico da figura 3.39 é mostrada a redução do tempo do trabalho das válvulas fora de seus limites, ou seja, reduziu-se o tempo em que a válvula fica totalmente aberta ou fechada. Assim podemos concluir que com as manutenções realizadas nos posicionadores e com as sintonias das malhas, foi possível a redução deste indicador.

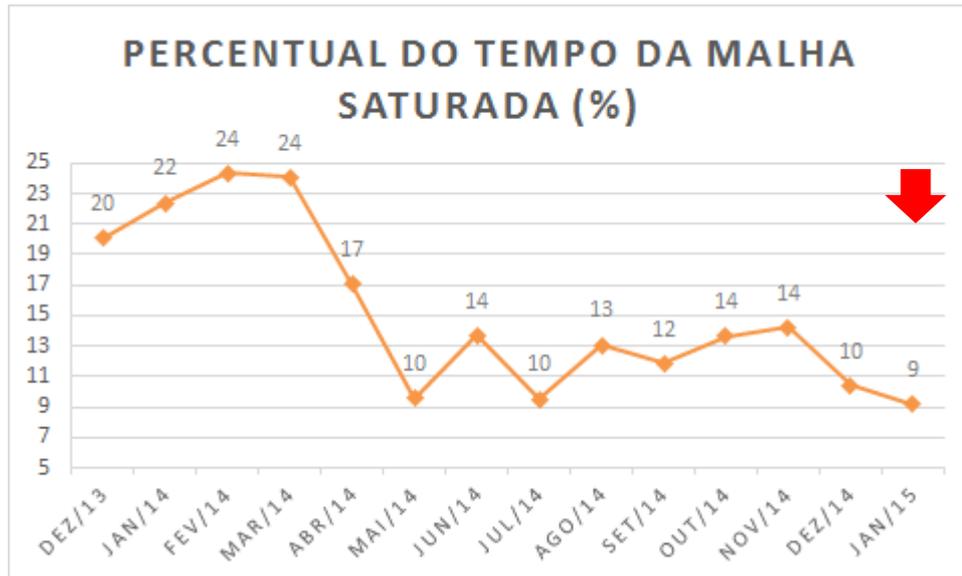


FIGURA 3.39 – Percentual do tempo da malha saturada

Fonte: SAMARCO MINERAÇÃO SA, 2015.

O índice de Harris indica o potencial de redução de variabilidade de uma malha. Índices de Harris baixos indicam pouco potencial de redução de variabilidade, enquanto índices próximos a um indicam que há alto potencial de redução de variabilidade. No início do estudo a média geral do índice era aproximadamente 0,85. Com a finalização das implementações do plano de ação, o mesmo caiu para uma média de 0,75. O que corresponde numa redução de aproximadamente 12% da variabilidade das malhas de controle.

Ao final das análises dos resultados das melhorias realizadas, faz-se necessário assegurar o alcance da meta após a finalização do estudo. Assim, foi criado um plano de monitoramento com suas especificações de controle, conforme figura 3.42.

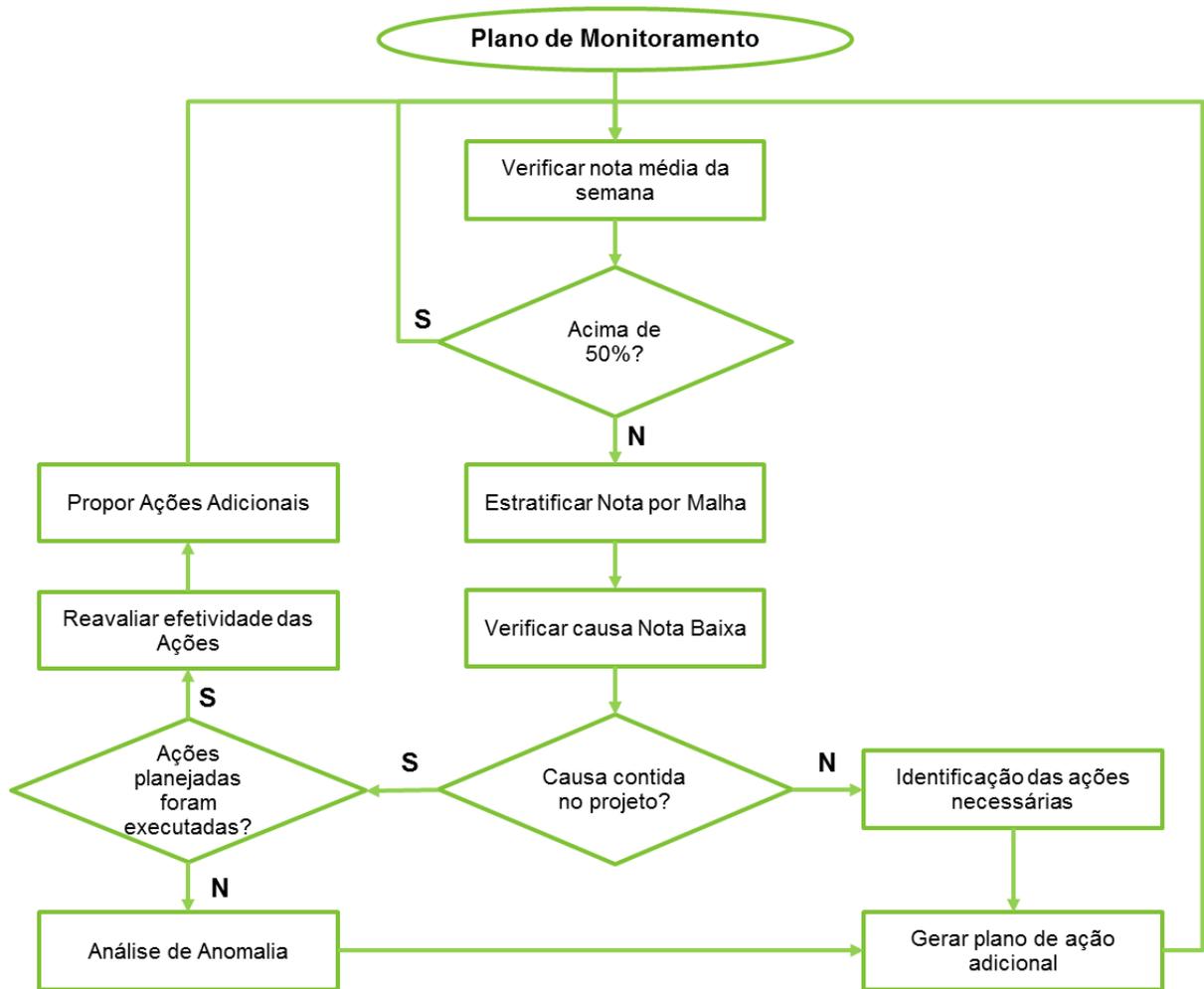


FIGURA 3.40 – Plano de monitoramento

Fonte: SAMARCO MINERAÇÃO SA, 2014.

Com a finalização do estudo pode-se concluir que houve um aumento da eficiência dos processos produtivos, uma redução do tempo de trabalho das malhas de controle da linha 1 em manual, melhoria na identificação dos parâmetros e fórmulas das malhas de controle, redução da saturação e do tempo sem controle das malhas, entre outros ganhos.

Para obter um desempenho aceitável das malhas de controle é necessário periodicamente analisá-las de forma multidisciplinar.

Vale ressaltar que o monitoramento das malhas com a utilização do TriCLPM é de grande importância para a manutenção do indicador acima da meta estabelecida.

Como recomendação, este trabalho pode ser estendido em todas as malhas de controle do concentrador 1 e qualquer processo produtivo composto por malhas de controle.

4 CONCLUSÃO

O objetivo deste trabalho foi desenvolver o estudo do desempenho das malhas de controle de uma linha de beneficiamento de minério de ferro do concentrador 1 da Samarco Mineração SA com a finalidade de melhorar o desempenho das malhas utilizando a metodologia *Lean Seis Sigma* (modelo DMAIC) no estudo de caso. Para isto, foi utilizado o *software* TriCLPM para a gestão *on-line* do controle regulatório para quantificar o desempenho e inferir as possíveis causas e ações corretivas, as quais auxiliaram na melhoria do controle; e o *software* BRTuning para a sintonizar os controladores PID das malhas trabalhadas.

De posse das informações necessárias, o desempenho do controle regulatório da linha 1 do concentrador 1 foi melhorado com a utilização das ferramentas de análise quantitativa e qualitativa oferecidas pela metodologia *Lean Seis Sigma*. Como previsto, as fases propostas no estudo foram executadas na sua totalidade resultando na entrega de todas as necessidades dos clientes levantadas no início da fase definir.

Diante dos resultados obtidos é possível concluir que a integração da metodologia adotada com as ferramentas de gestão de malhas de controle baseadas nos indicadores de desempenho utilizadas no *software* TriCLPM foi eficaz na redução da variabilidade das malhas possibilitando ganhos qualitativos e quantitativos após as melhorias realizadas. Como melhorias observadas podemos citar a redução do tempo de trabalho das malhas em manual e do indicador de variabilidade de Harris, desativação de malhas não operacionais, melhoria na tela de operação da malha de controle detalhando os cálculos existentes, aumento da robustez do sistema de controle do processo estudado e melhoria na atuação dos atuadores e medidores com a redução da saturação e do tempo sem controle.

Por fim, com o resultado positivo obtido, esta pesquisa serve como referência para a melhoria do desempenho das malhas de controle nas demais plantas da unidade, além de disseminar a importância de se possuir uma gestão do controle regulatório nos processos produtivos da empresa.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BRTUNING. **Treinamento BrTuning: identificação, sintonia e avaliação de malhas.** Universidade Federal de Campina Grande, 2014.

CAMPOS, S. **Treinamento Lean Seis Sigma.** Siqueira Campos Associados, 2013.

DISTEFANO, J. J.; STUBBERUD, A. R.; WILLIAMS, I. J. **Schaum's Outline of Theory and Problems of Feedback and Control Systems.** 2. Ed. New York: Ed. McGraw-Hill. 1990.

EXCELTOTAL. **Diagrama de Pareto en Excel.** Disponível em: <<https://exceltotal.com/diagrama-de-pareto-en-excel/>> Acesso em: 17 nov. 2015.

EVANS, J. R. **An exploratory study of performance measurement systems and relationships with performance results.** Journal of Operations Management, Amsterdam, v.22, n.3, p.219-223, 2004.

FREITAS, F. **Técnicas em Administração.** Disponível em: <<http://flavioaf.blogspot.com.br/2012/03/tecnico-em-administracao-aula-12032012.html>> Acesso em: 15 dez. 2015.

FRIAS, A. R. **Gestão de Malhas de Controle no Processo de Fabricação de Papel – Estudo de Caso.** Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia Química, Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP, Campinas, São Paulo, 2013.

FONSECA, M. O.; FILHO, C. S.; TORRES, B. S. **Avaliação de Desempenho e Auditoria de Malhas de Controle.** Revista Intech Brasil, número 63, p. 32-37, 2004.

HARRIS, T. J.; SEPPALE, C. T.; DESBOROUGH, L. D. **A review of performance monitoring and assessment techniques for univariate and multivariate control system.** Journal of Process Control, Vol 9, pp. 1-17, 1999.

ISA (The International Society of Automation). **True Control system objective,** 2009.

JELALI, M. **An overview of control performance assessment technology and industrial applications.** Control Engineering Practice, 14, p. 441-466, 2006.

KEMPF, A. O. **Avaliação de desempenho de malhas de controle.** Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia Química, Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS, Porto Alegre, Rio Grande do Sul, 2003.

LONGHI, L. G. S.; KEMPF, A.; LUSA, L. P.; CAUMO, L.; FLECK, T. D.; TEIXEIRA, H. C. G.; CORTEZ, C. A. C.; TRIERWEILER, J. O. **Solução em tempo real para o gerenciamento de malhas de controle aplicada a uma Unidade de Coqueamento Retardado.** Revista Petro e Química, v. 30, p. 74-79, 2008.

LUZ, A. B.; SAMPAIO, J. A. e FRANÇA, S. C. A. **Tratamento de Minérios.** 5ª Edição. Centro de Tecnologia Mineral - CETEM-MCT. 2010.

MAKAROVSKY, C.; ARBEX, R. T. **Reduzindo custos variáveis, diminuindo as variabilidades dos processos.** Revista InTech, n. 63, p. 38-44, 2004.

MAPA, P. S. **Rota de processo para o underflow da deslamagem de minério de ferro do concentrador da Samarco Mineração S.A.** Dissertação de Mestrado. Curso de Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica e de Minas. Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, Minas Gerais, 2006.

MICROSOFT OFFICE. **Criar um Mapa de Fluxo de Valor.** Disponível em: <<https://support.office.com/pt-br/article/Criar-um-mapa-de-fluxo-de-valor-cf0739eb-d9f8-4b6d-a557-21a518a7390b>> Acesso em: 23 nov. 2015.

OGATA, K. **Engenharia de Controle Moderno.** 4. Ed. São Paulo: Ed. Pearson Prentice Hall, 2003.

PALHARES, R. M. **Controle de Sistemas Lineares – Notas de aula.** Engenharia de Controle e Automação. UFMG. 2009.

PERES, A. E. C. **Flotação.** Notas de aula. Universidade Federal de Ouro Preto, 2003.

Rath & Strong (Org.). **Six Sigma Pocket Guide**, 2. ed. Lexington, 2001. 192 p.

REVERE, L.; BLACK, K. **Integrating six sigma with total quality management: a case example for measuring medication errors**. *Journal of Healthcare Management*, Chicago, v.48, n.6, p.377-391, 2003.

RODRIGUES, B. S. **Avaliação de desempenho de malhas de controle**. Monografia de Graduação – Universidade Federal de Ouro Preto – UFOP, Ouro Preto, Minas Gerais, 2010.

SAMARCO MINERAÇÃO. **Documentos internos**. Mariana, 2014.

SAMARCO MINERAÇÃO. **Documentos internos**. Mariana, 2015.

SCATOLIN, A. C. **Aplicação da Metodologia Seis Sigma na Redução das Perdas de um Processo de Manufatura**. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP, Campinas, São Paulo, 2005.

TRISOLUTIONS. **TriCLPM**. Disponível em: < <http://www.trisolutions.com.br/> > Acesso em: 27 dez. 2014.

VIEIRA, M. G. **Produção de um *pellet feed* a partir da concentração do rejeito da flotação mecânica da SAMARCO**. Dissertação de Mestrado. Curso de Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica e de Minas. Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, Minas Gerais, 2008.

WATSON, G. H. **Cycles of learning: observations of Jack Welch**. *Six Sigma Forum Magazine*. Milwaukee, v. 1, n. 1, p.13-18, nov. 2001.

WERKEMA, Cristina. **Lean Seis Sigma - Introdução às Ferramentas do Lean Manufacturing**. Belo Horizonte: Werkema Editora, 2006. 120 p

APÊNDICE A – Análise de Variabilidade e Oportunidade de Melhoria

Os gráficos das figuras A.1, A.2, A.3, A.4, A.5, A.6, A.7, A.8, A.9, A.10, A.11, A.12, A.13, A.14 e A.15 representam a análise realizada de variabilidade e oportunidades de melhoria para cada tipo de malha de controle.

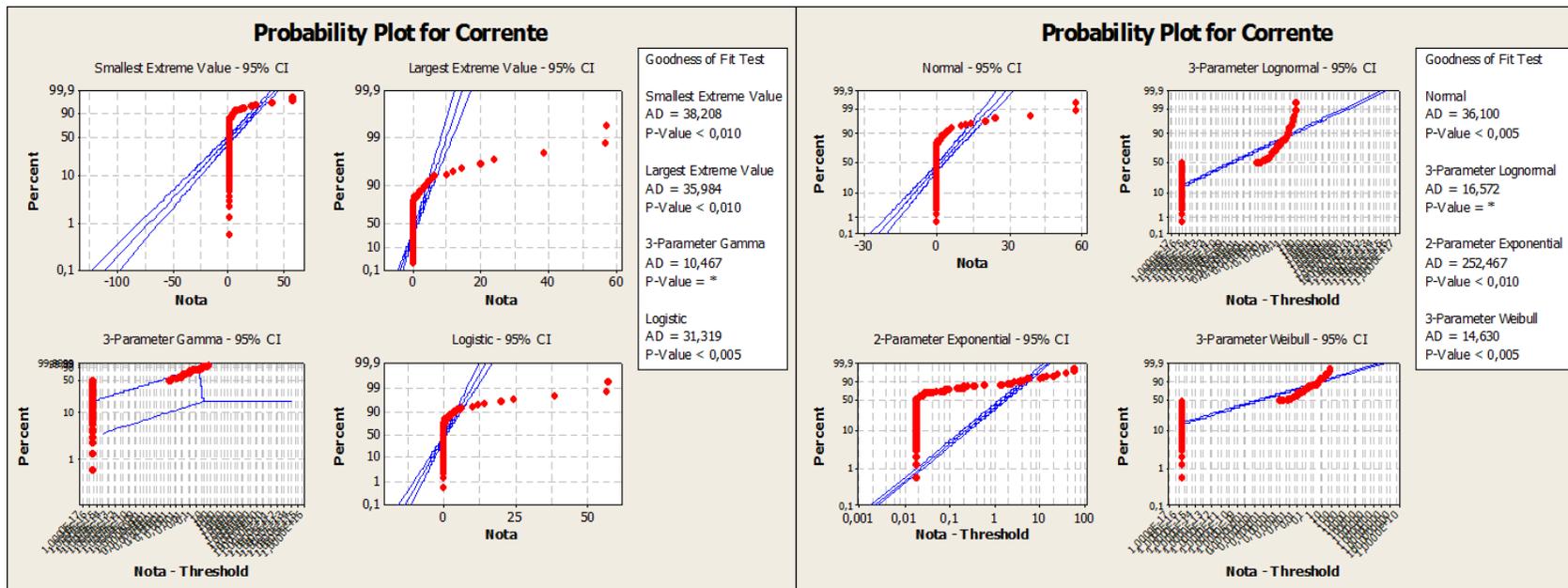


FIGURA A.1 – Análise de variabilidade da malha do tipo corrente

P-Valor é a probabilidade de se obter uma estatística de teste igual ou mais extrema que aquela observada em uma amostra, sob a hipótese nula. Por exemplo, em testes de hipótese, pode-se rejeitar a hipótese nula a 5% caso o p-valor seja menor que 5%. Como nenhum P-Valor foi

superior a 0,05, os dados das notas de desempenho da malha de controle do tipo corrente não se ajustaram a nenhuma das distribuições analisadas.

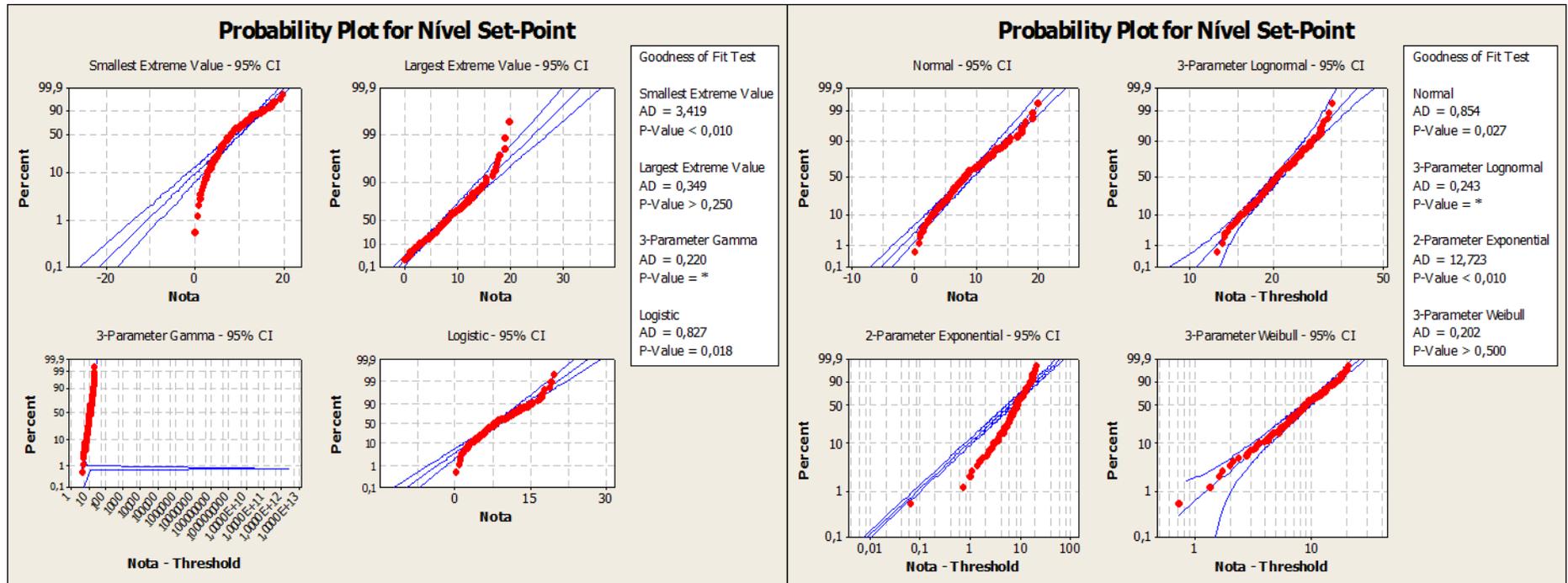


FIGURA A.2 – Análise de variabilidade das malhas do tipo nível set-point

Como nenhum P-Valor foi superior a 0,05, os dados das notas de desempenho das malhas de controle do tipo nível set-point não se ajustaram a nenhuma das distribuições analisadas.

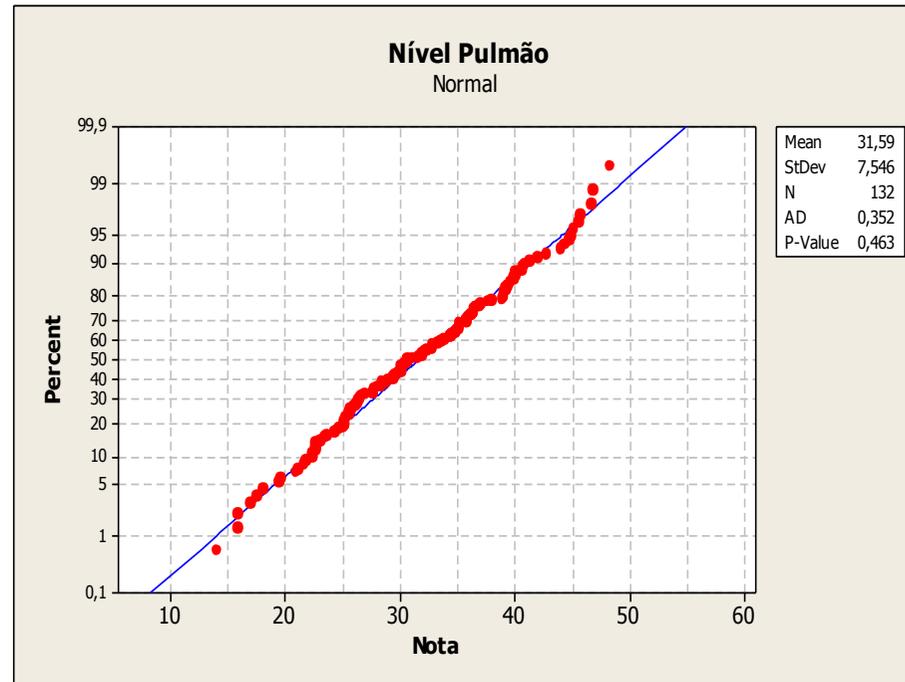


FIGURA A.3 – Análise de variabilidade malhas do tipo nível pulmão

Os dados das notas de desempenho das malhas de controle do tipo nível pulmão seguiram a distribuição normal. Isso pode ser comprovado através do P-Valor que foi superior a 0,05.

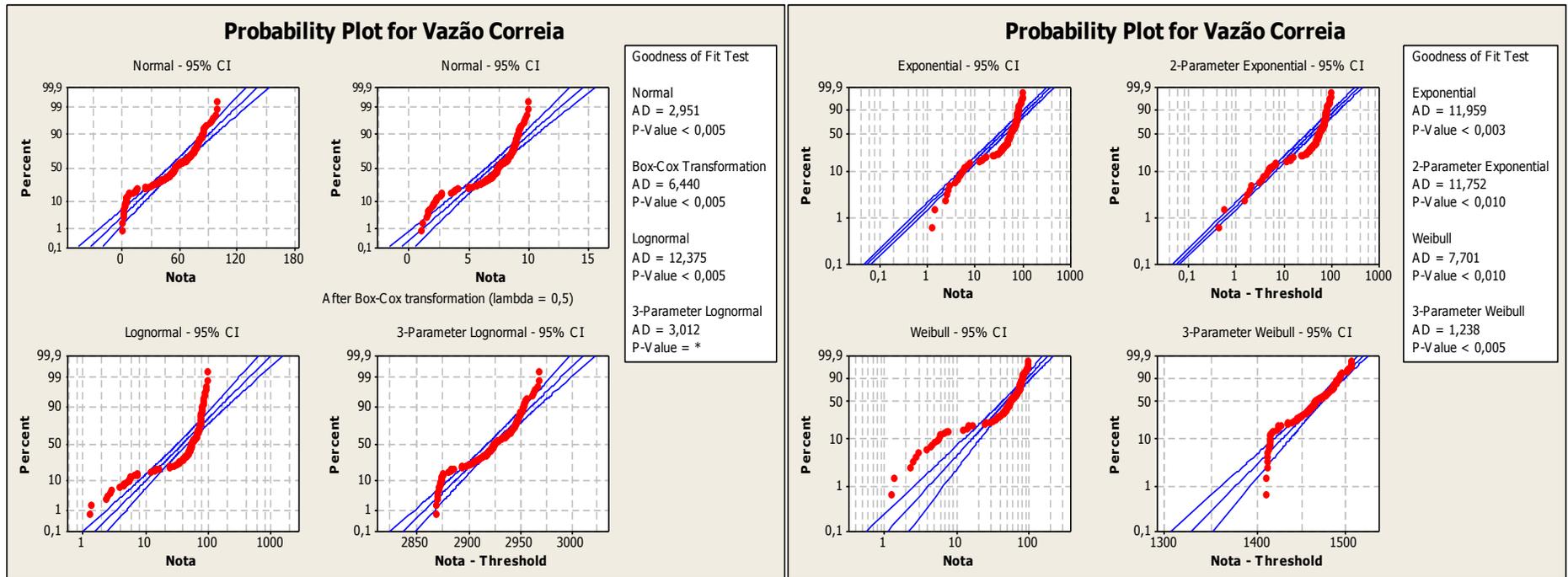


FIGURA A.4 – Análise de variabilidade malhas do tipo vazão correia

Como nenhum P-Valor foi superior a 0,05, os dados das notas de desempenho das malhas de controle do tipo vazão correia não se ajustaram a nenhuma das distribuições analisadas.

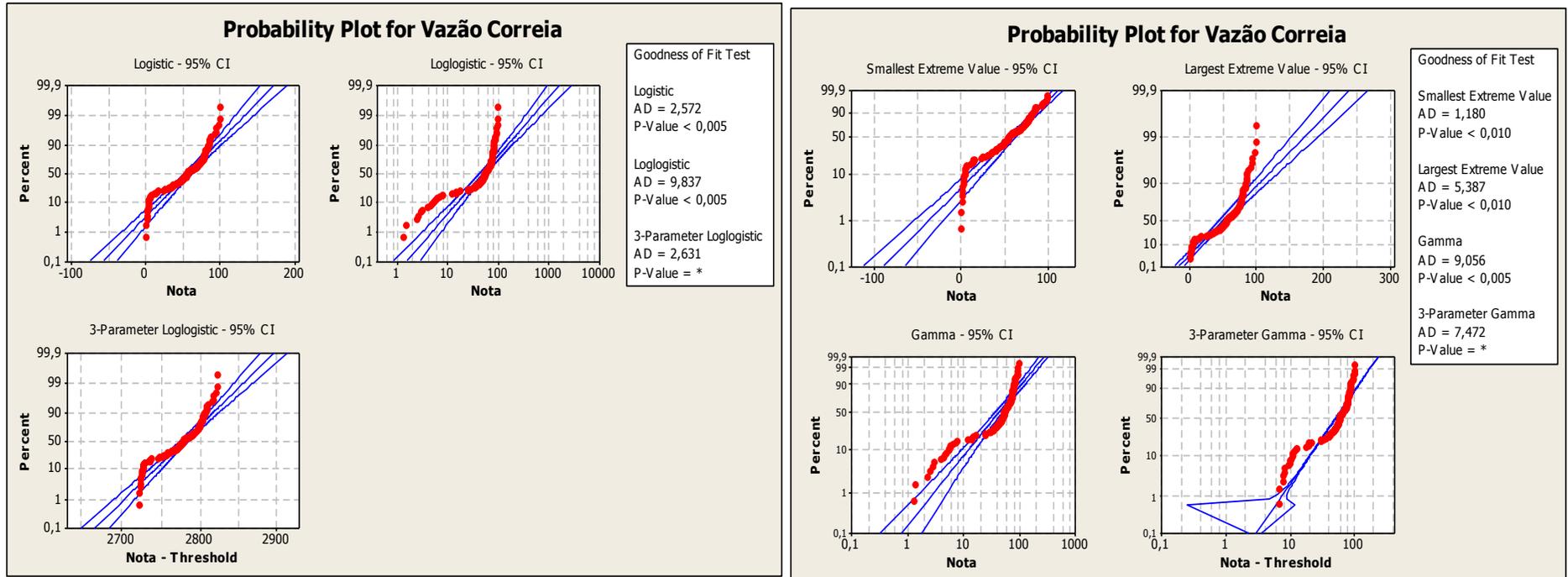


FIGURA A.5 – Análise de variabilidade malhas do tipo vazão correia

Como nenhum P-Valor foi superior a 0,05, os dados das notas de desempenho das malhas de controle do tipo vazão correia não se ajustaram a nenhuma das distribuições analisadas.

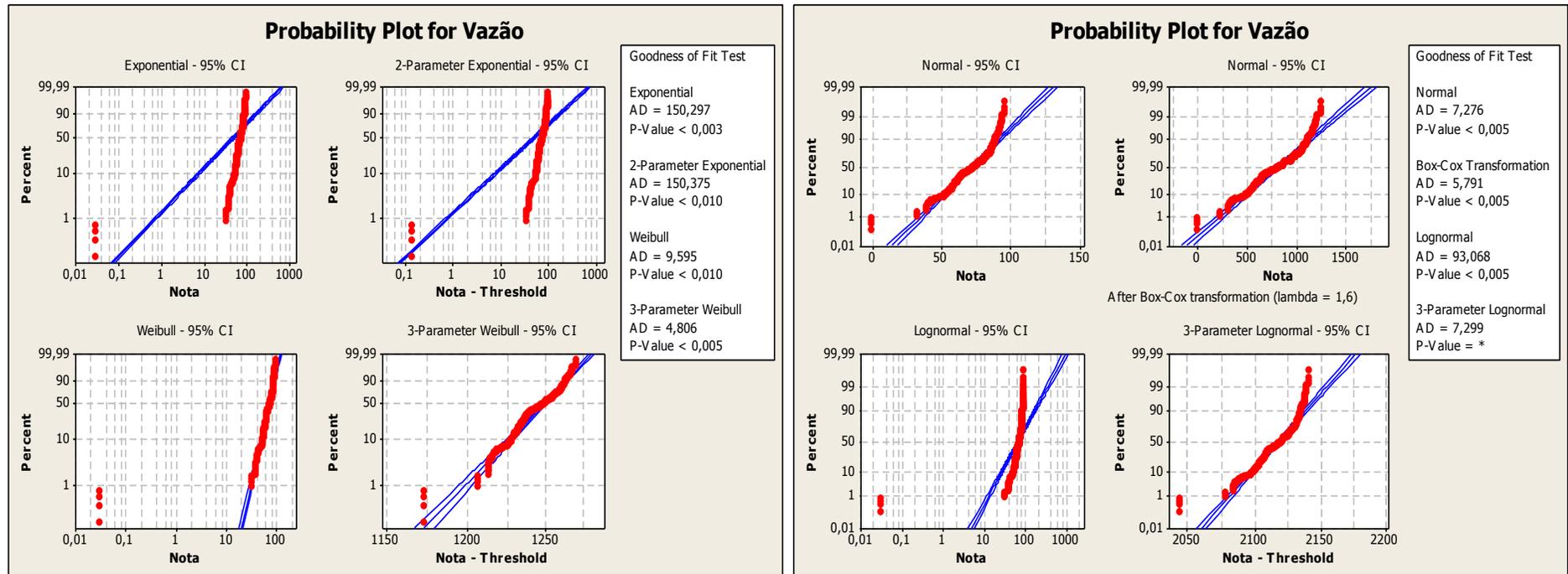


FIGURA A.6 – Análise de variabilidade malhas do tipo vazão

Como nenhum P-Valor foi superior a 0,05, os dados das notas de desempenho das malhas de controle do tipo vazão não se ajustaram a nenhuma das distribuições analisadas.

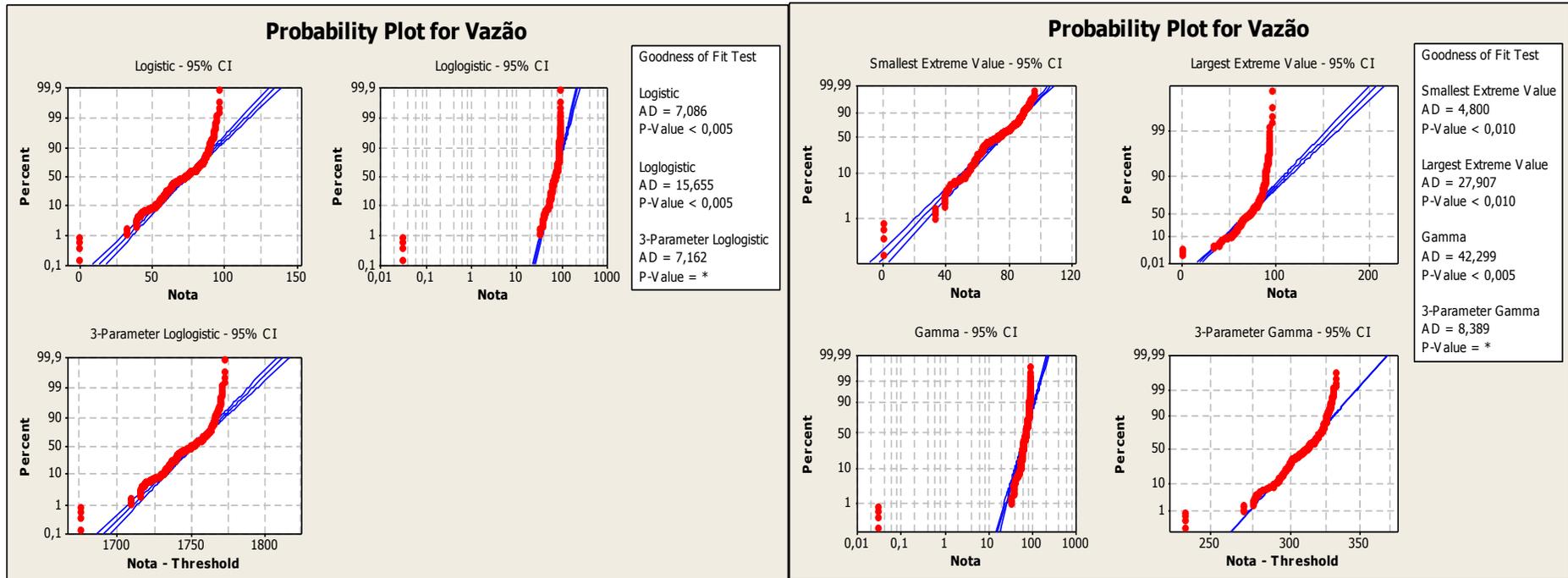


FIGURA A.7 – Análise de variabilidade malhas do tipo vazão

Como nenhum P-Valor foi superior a 0,05, os dados das notas de desempenho das malhas de controle do tipo vazão não se ajustaram a nenhuma das distribuições analisadas.

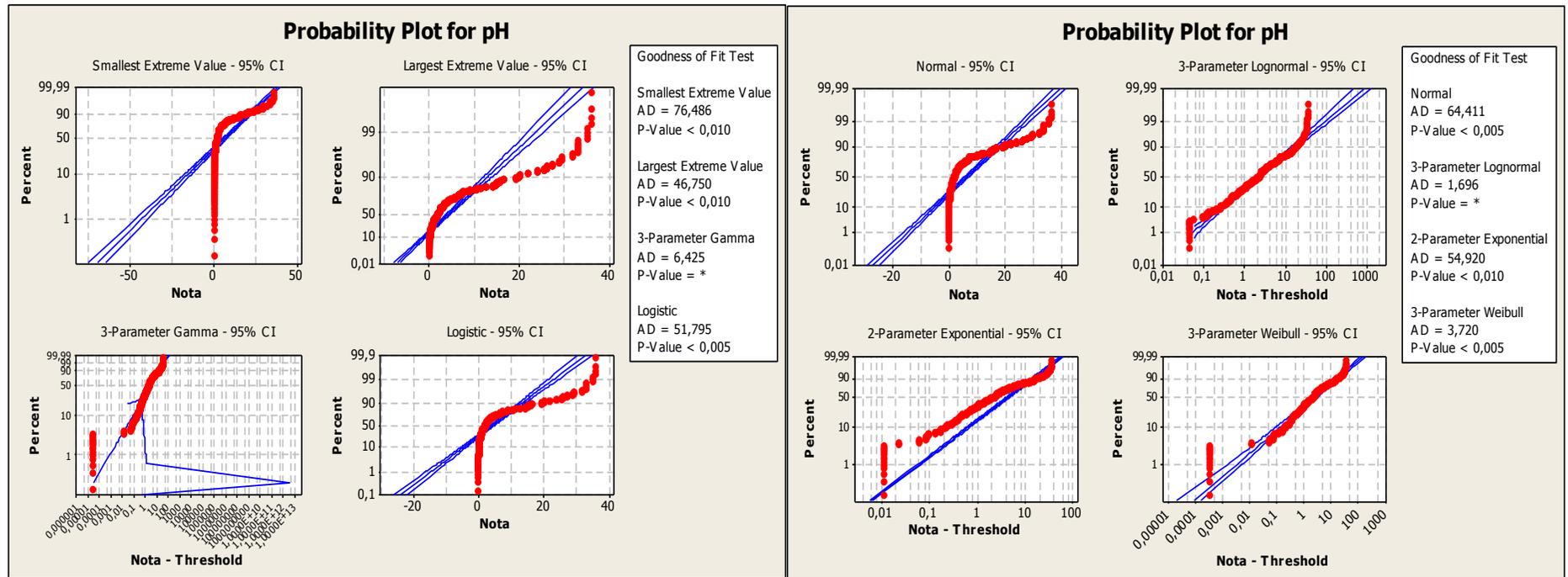


FIGURA A.8 – Análise de variabilidade malhas do tipo pH

Como nenhum P-Valor foi superior a 0,05, os dados das notas de desempenho das malhas de controle de pH não se ajustaram a nenhuma das distribuições analisadas.

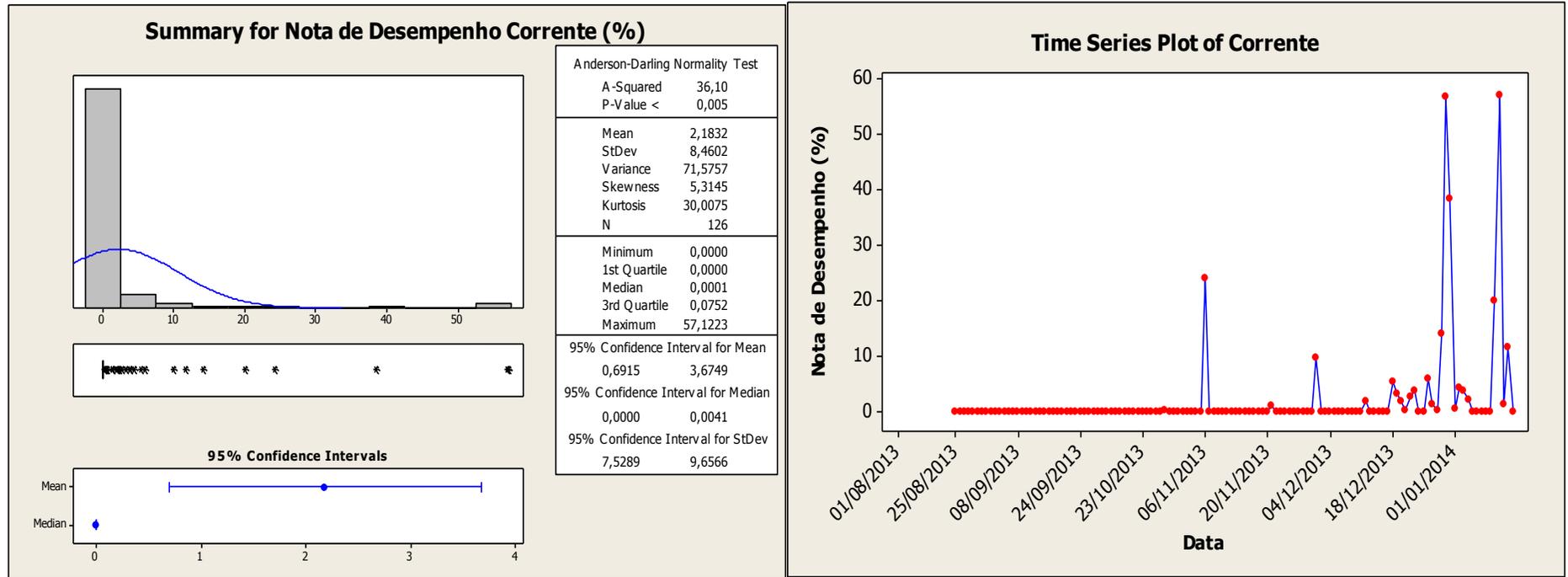


FIGURA A.9 – Sumário dos dados da malha do tipo corrente

As notas geradas têm média de 2,18% e mediana aproximadamente igual a 0%. Quando a nota é gerada, há uma grande variabilidade na distribuição dos dados e todos são considerados como pontos de *outliers* (valor atípico).

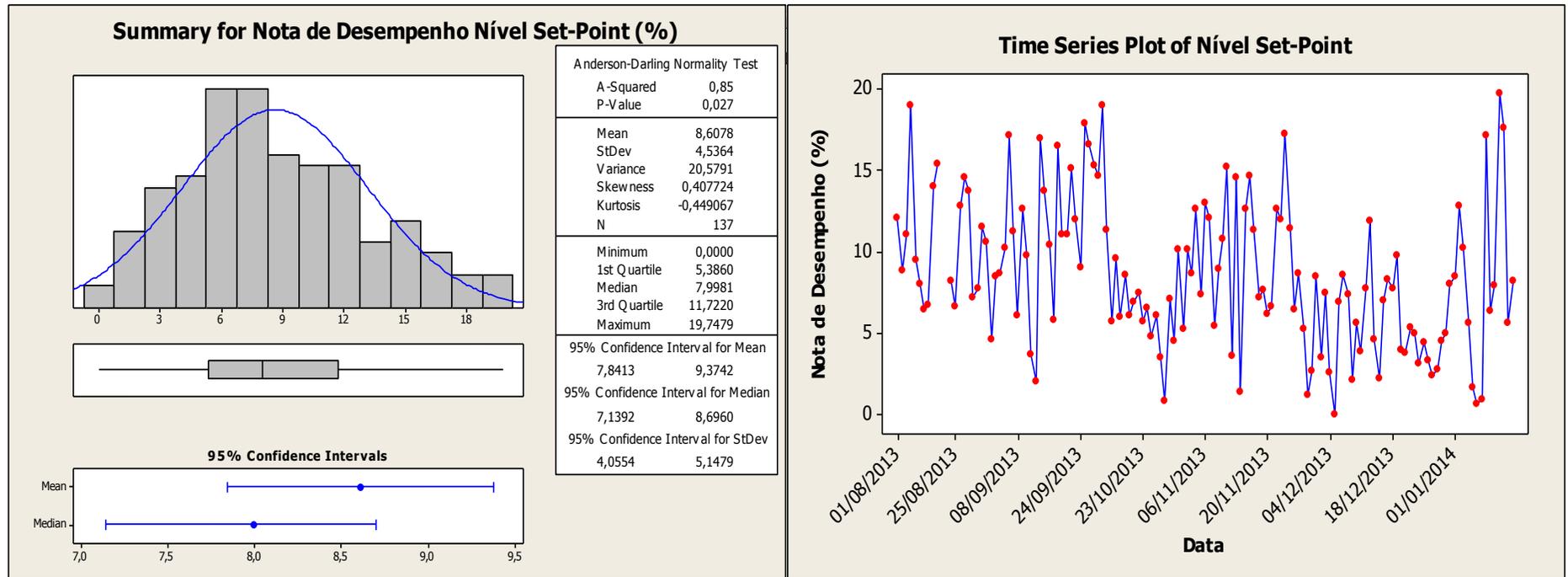


FIGURA A.10 – Sumário dos dados das malhas do tipo nível set-point

As notas geradas têm média de 8,6% e mediana igual a 8%. Há uma grande variabilidade na distribuição dos dados. Como oportunidade de melhoria pode-se reduzir a variabilidade e deslocar a média para valores superiores e próximos da mediana. Além de sintonizar as malhas de controle.

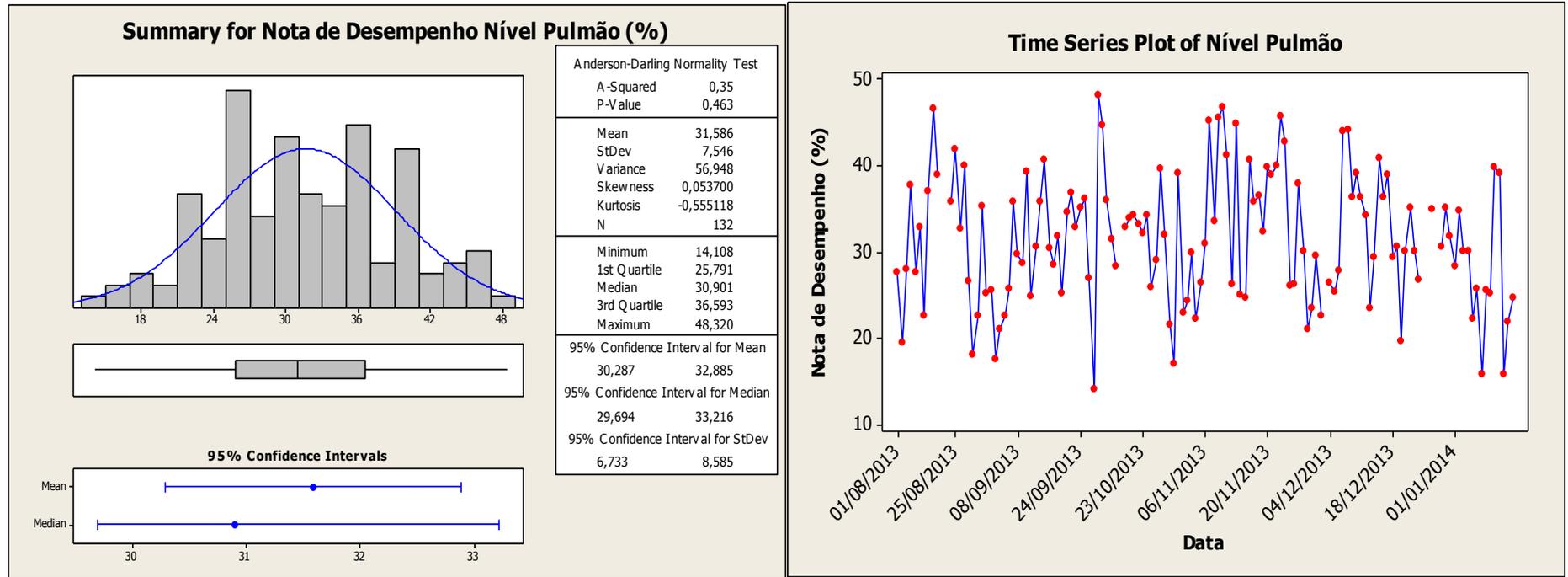


FIGURA A.11 – Sumário dos dados das malhas do tipo nível pulmão

As notas geradas têm média de 31,59% e mediana igual a 30,90%. Os dados são normais, porém há uma grande variabilidade na distribuição dos dados e a média é baixa. Como oportunidade de melhoria pode-se reduzir a variabilidade e deslocar a média para valores superiores.

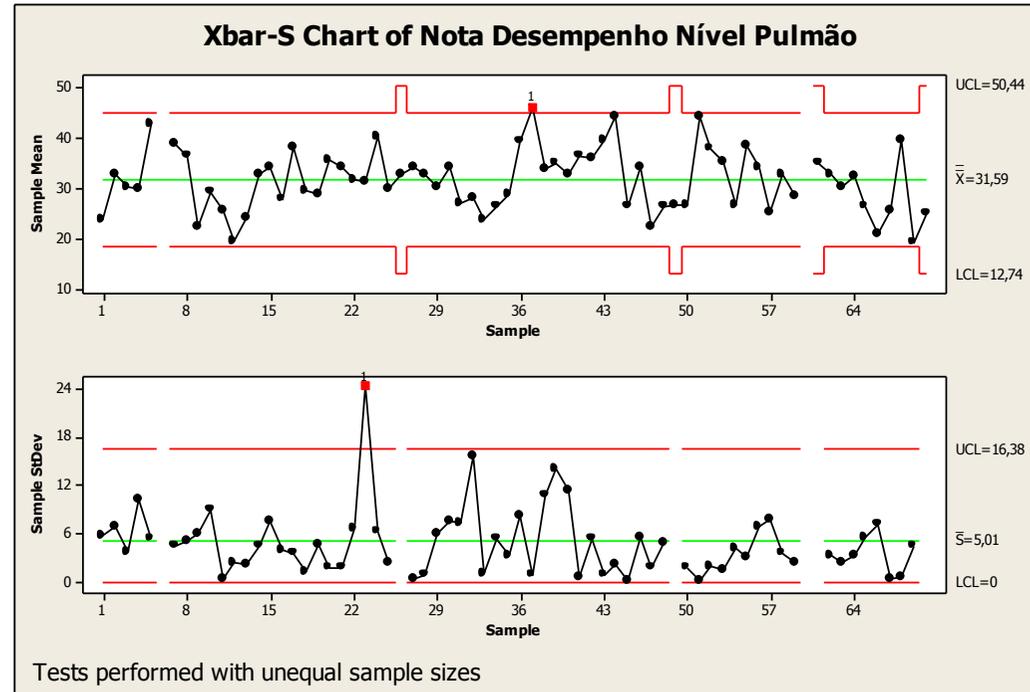


FIGURA A.12 – Carta de Controle das malhas do tipo nível pulmão

Foi apresentada a carta de controle $\bar{X} - S$, para avaliar a variação entre dias e dentro do dia do tipo nível pulmão. Neste tipo de malha, existe a presença de causa especial na variação entre dias e dentro do dia, ou seja, o processo não é estável.

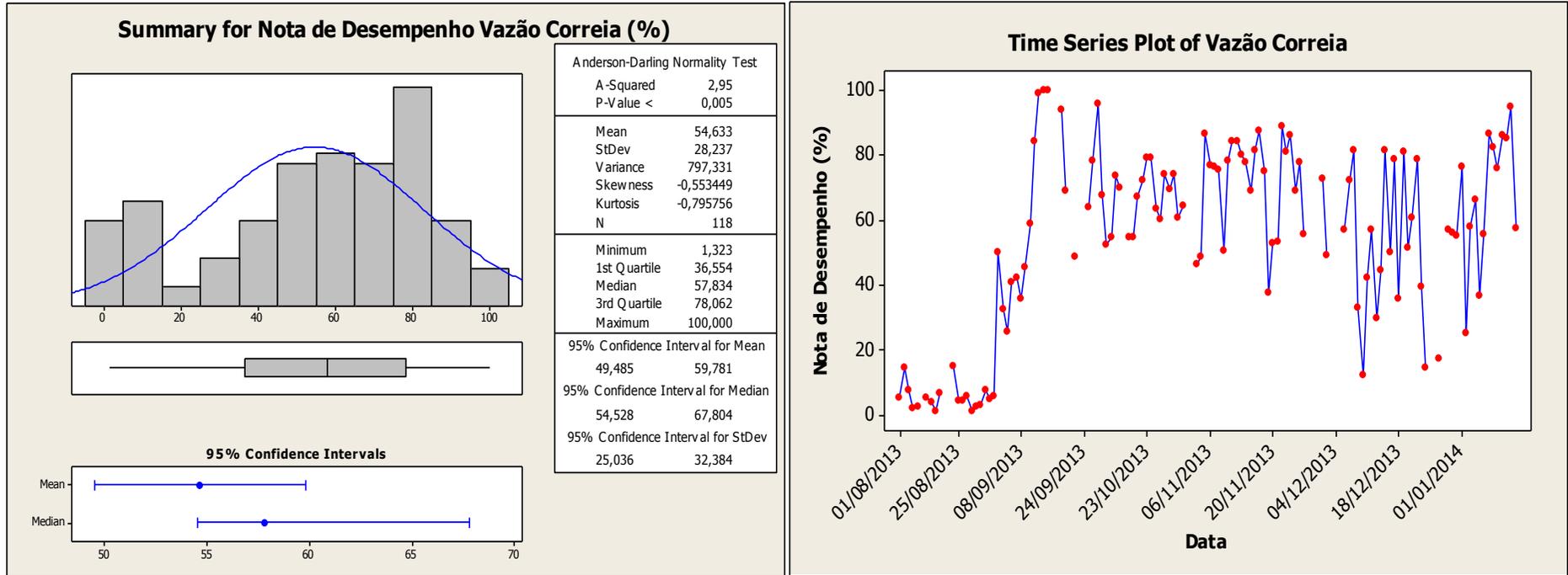


FIGURA A.13 – Sumário dos dados das malhas do tipo vazão correia

As notas geradas têm média de 54,63% e mediana igual a 57,83%. Há uma grande variabilidade na distribuição dos dados. Como oportunidade de melhoria pode-se reduzir a variabilidade e deslocar a média para valores próximos da mediana.

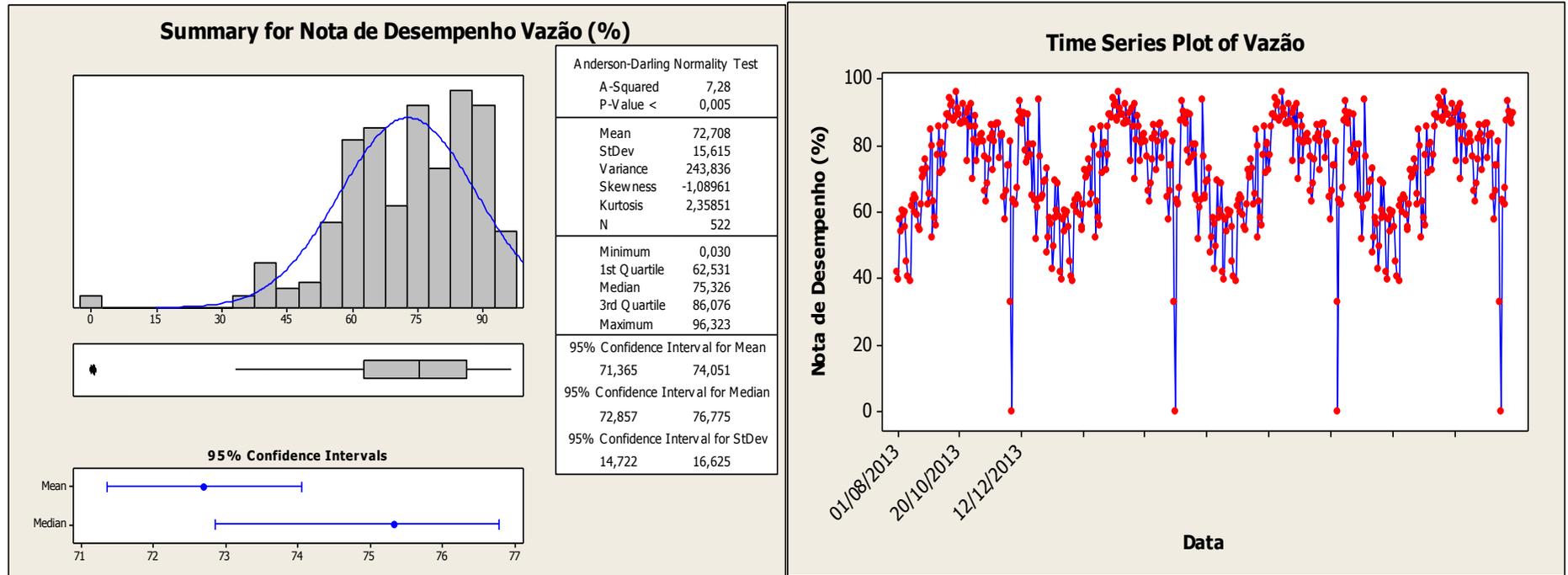


FIGURA A.14 – Sumário dos dados das malhas do tipo vazão

As notas geradas têm média de 72,71% e mediana igual a 75,33%. Há uma grande variabilidade na distribuição dos dados e pontos *outlier*. Como oportunidade de melhoria pode-se reduzir a variabilidade e deslocar a média para valores próximos da mediana.

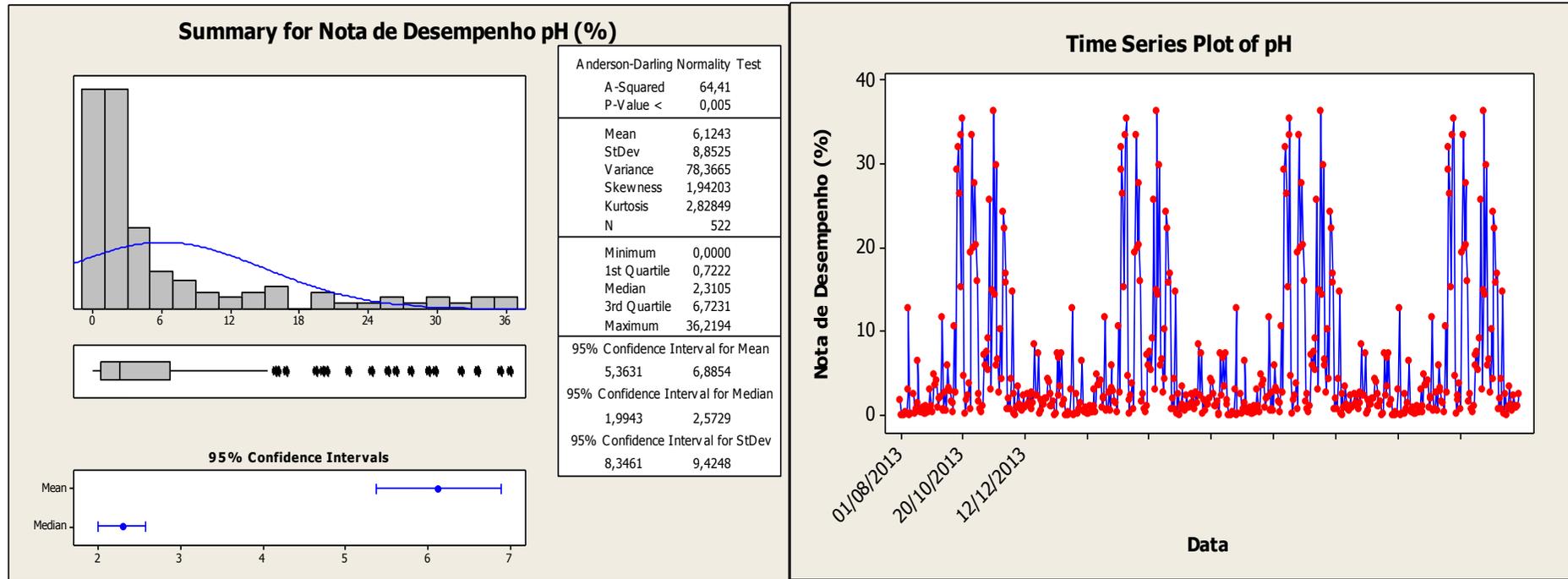


FIGURA A.15 – Sumário dos dados das malhas do tipo pH

As notas geradas têm média de 6,12% e mediana aproximadamente igual a 2,31%. Quando é gerada, há uma grande variabilidade na distribuição dos dados e a maioria são considerados como pontos de *outliers*. Como oportunidade de melhoria pode-se analisar o funcionamento das malhas de controle de pH e verificar os instrumentos. Além de eliminar ocorrências de *outliers* e deslocar a média para valores superiores. Por fim sintonizar as malhas de controle.

APÊNDICE B – Mapas de Processo

As figuras B.1, B.2, B.3, B.4, B.5, B.6, B.7, B.8, B.9, B.10, B.11, B.12, B.13, B.14, B.15, B.16, B.17, B.18, B.19, B.20, B.21 e B.22 representam os mapas de processo de todas as malhas de controle estudadas.

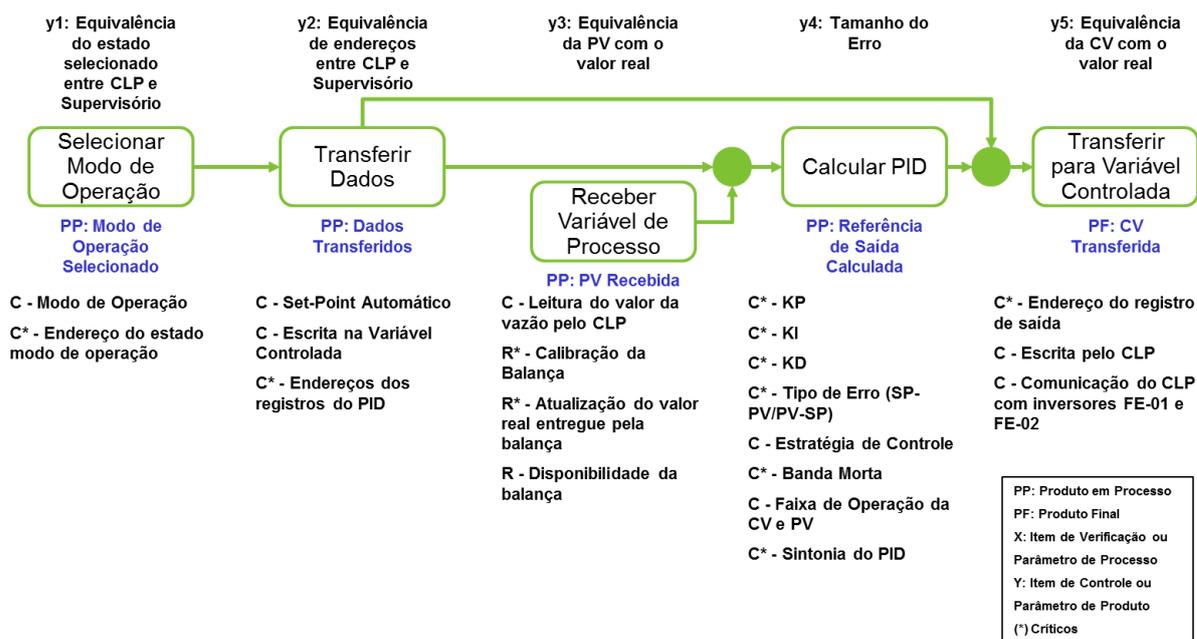


FIGURA B.1 – WIC-285.1 – Controle de vazão da correia CV-20

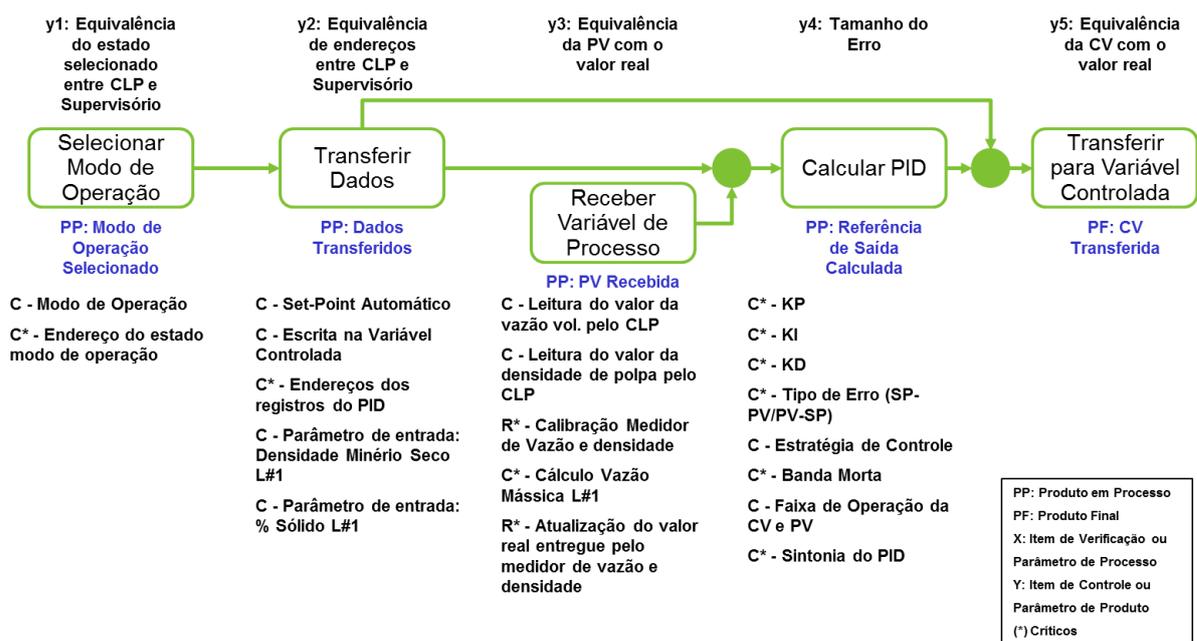


FIGURA B.2 – WIC-250.1 - Controle do alimentador rotativo pela vazão mássica

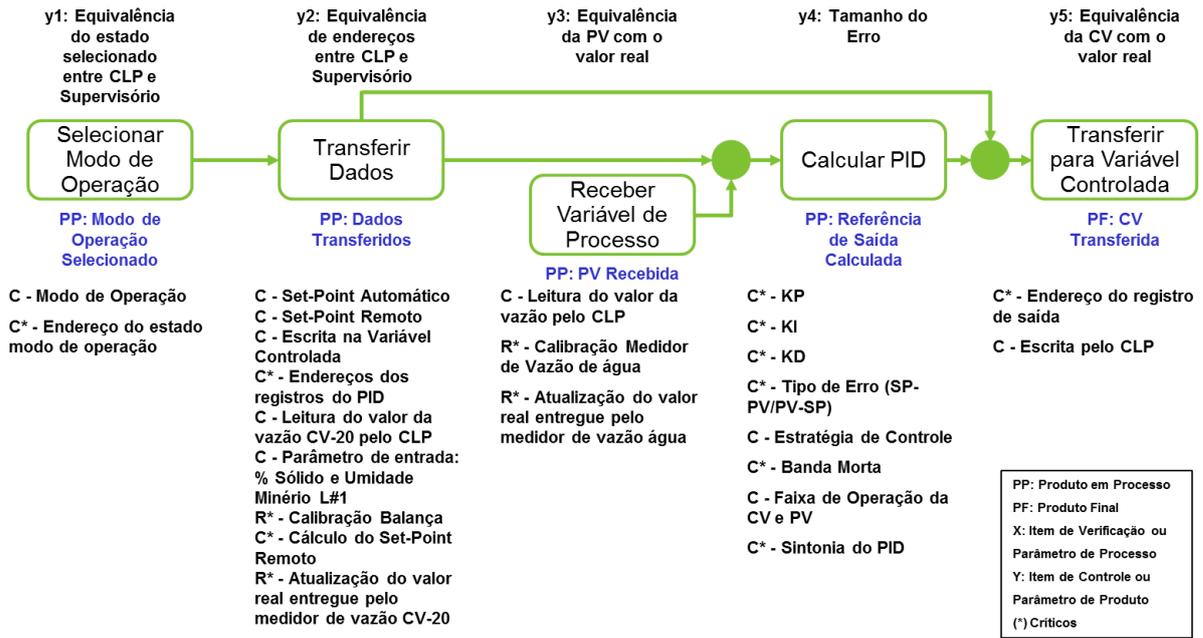


FIGURA B.3 – FIC-285.1 - Controle da vazão de água para o pré-moinho PM-01

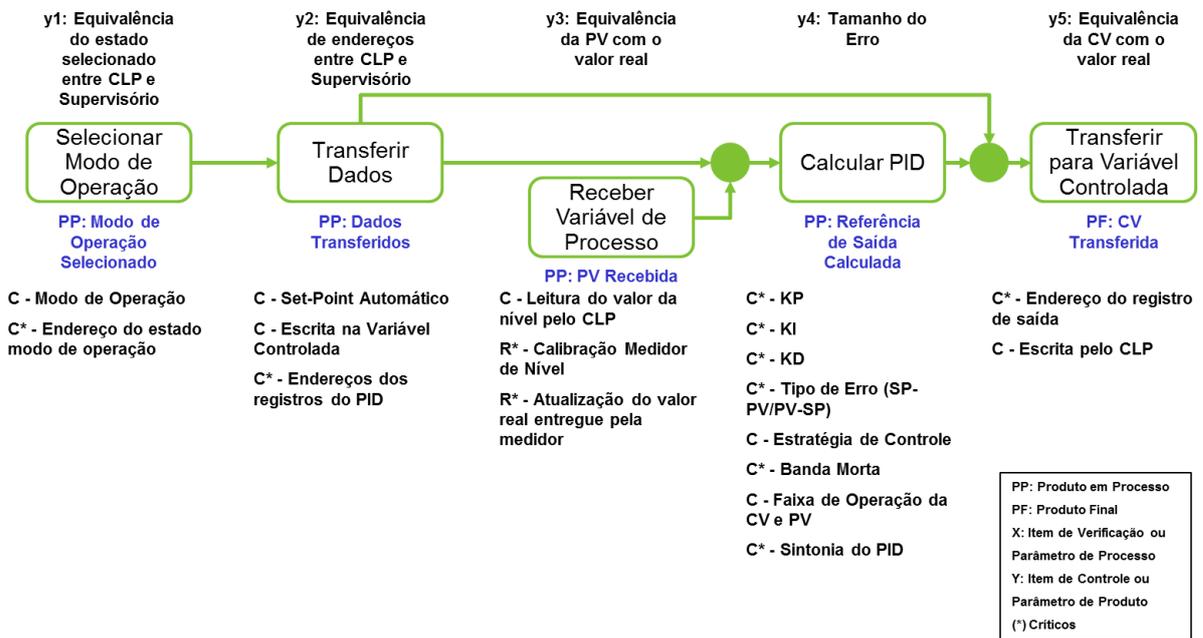


FIGURA B.4 – LIC-290.1 - Controle de nível da caixa ST-43

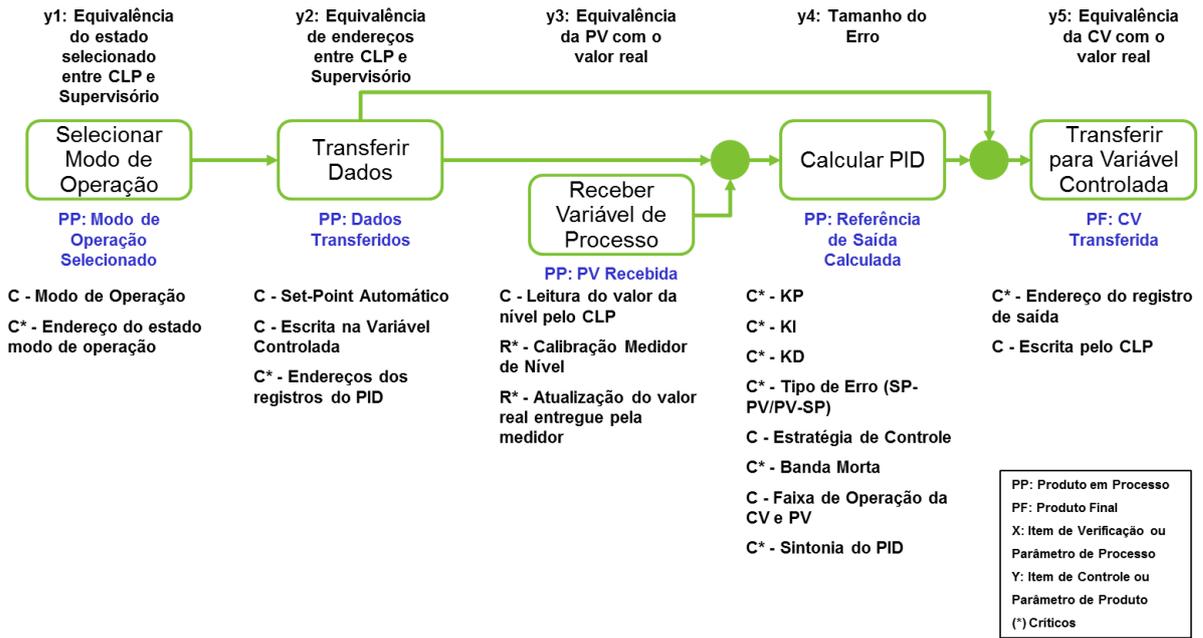


FIGURA B.5 – LIC-302.1 - Controle do nível da caixa ST-01 (água de retorno)

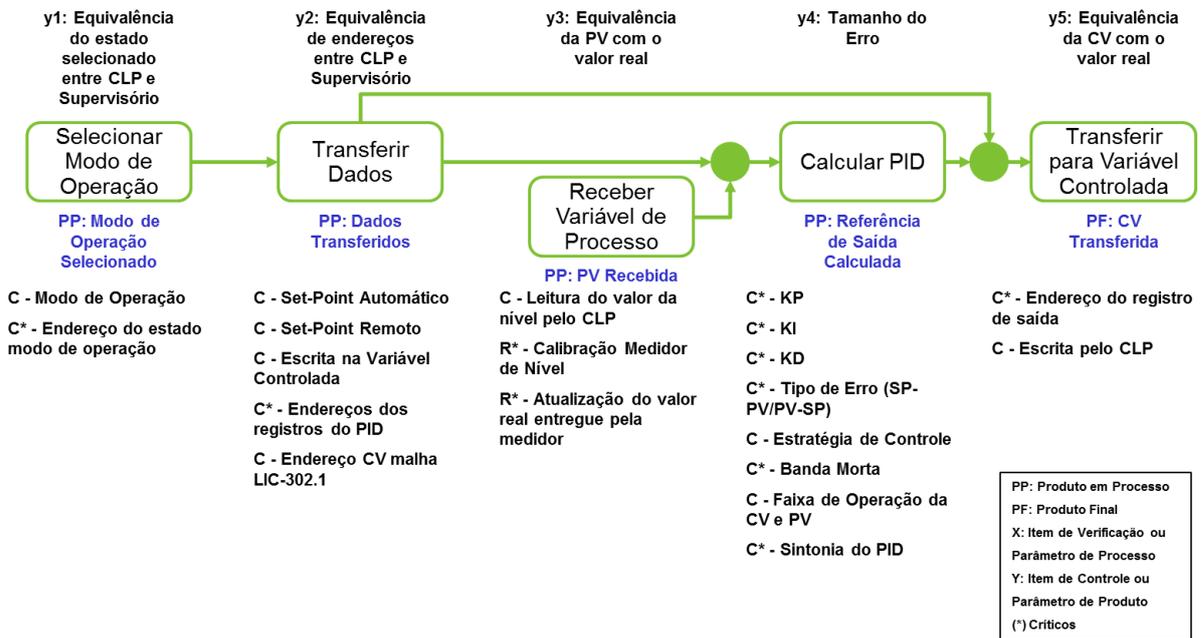


FIGURA B.6 – LIC-302.1a - Controle do nível da caixa ST-01

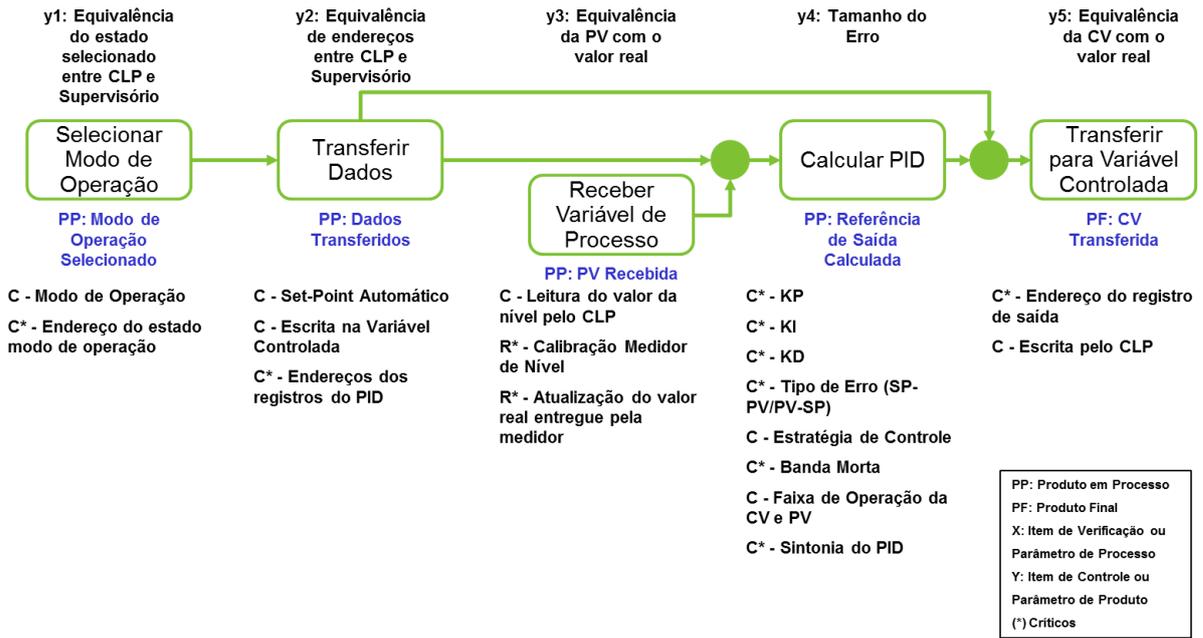


FIGURA B.7 – LIC-305.1 - Controle do nível da caixa ST-05

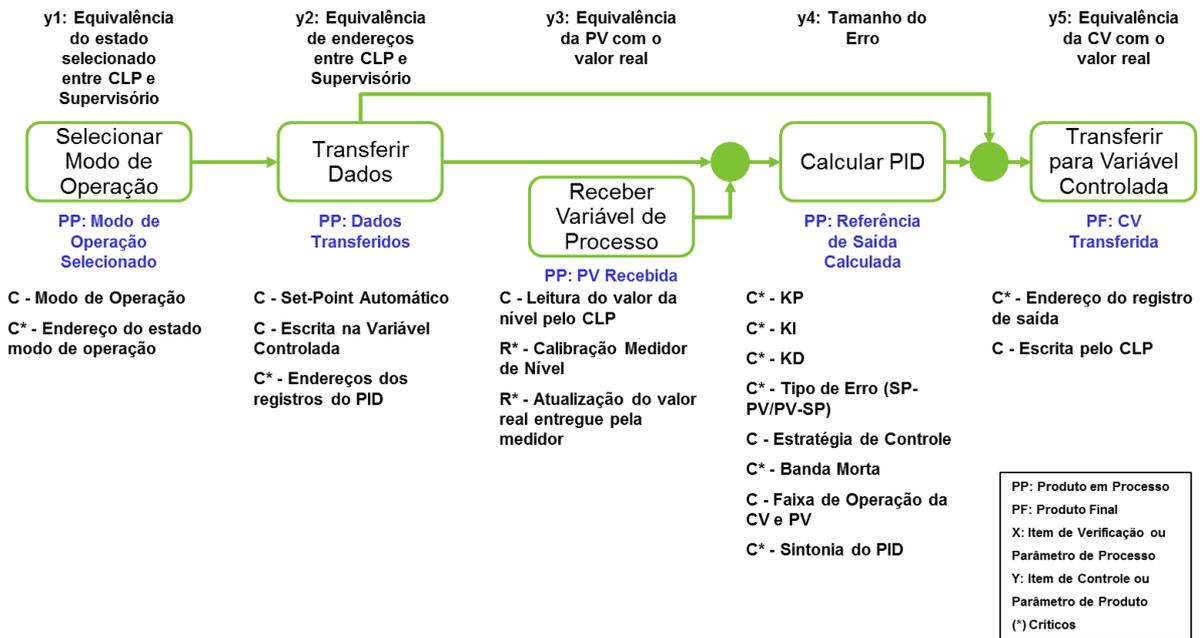


FIGURA B.8 – LIC-321.1 - Controle do nível da caixa ST-09 (água de retorno)

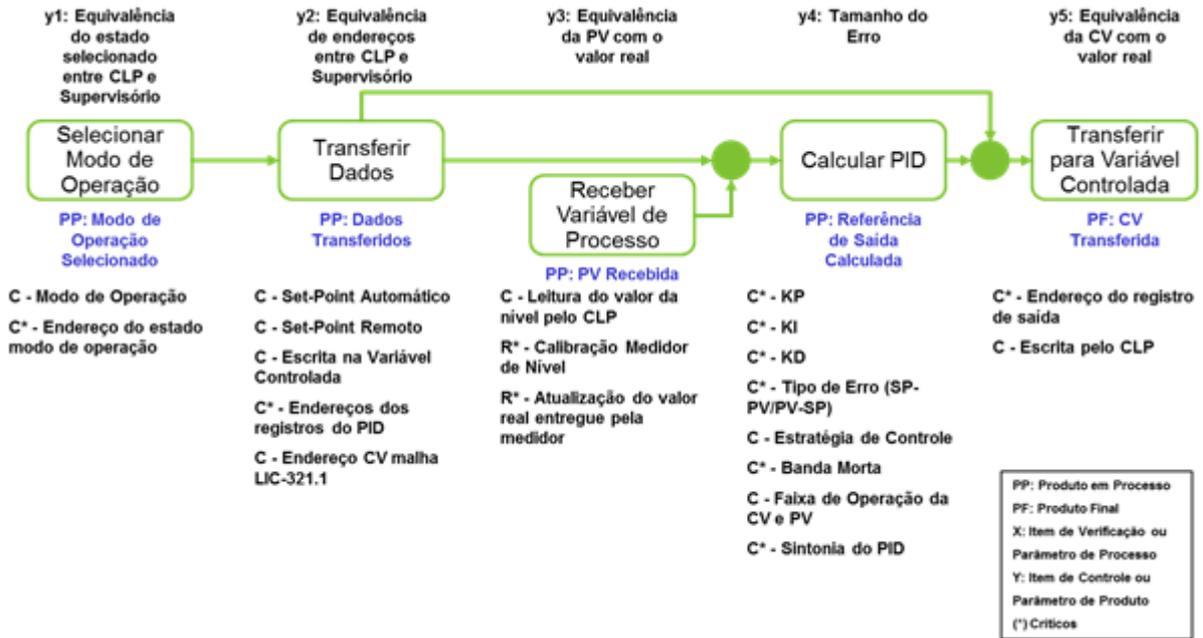


FIGURA B.9 – LIC-321.1a - Controle do nível da caixa ST-09

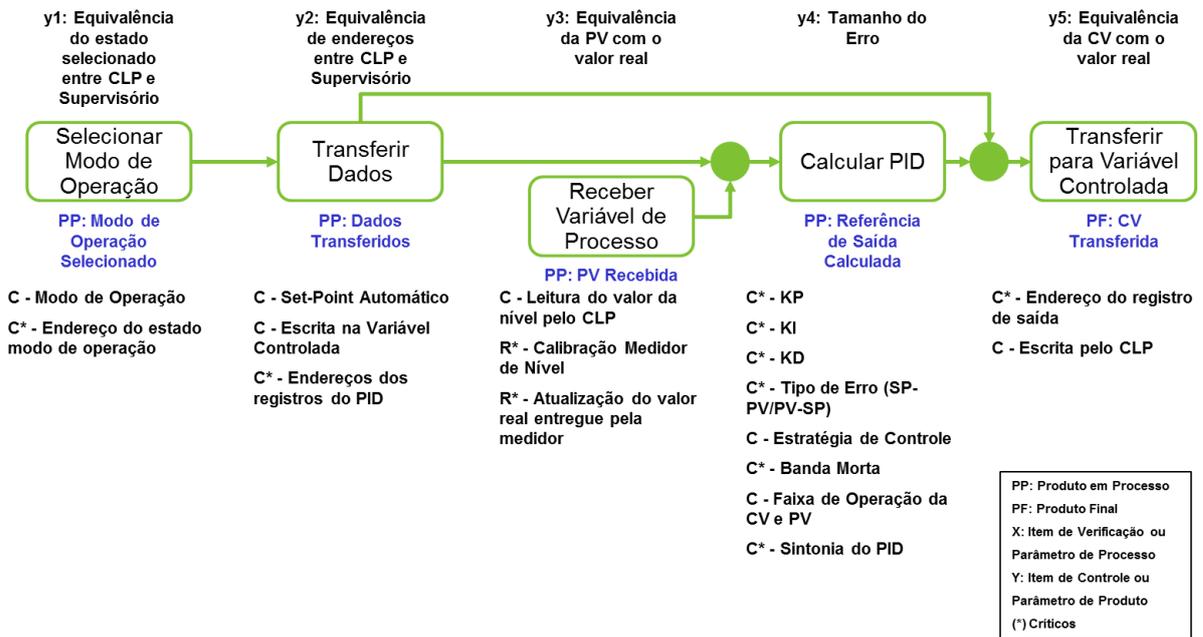


FIGURA B.10 – LIC-325.1 - Controle do nível da caixa ST-47

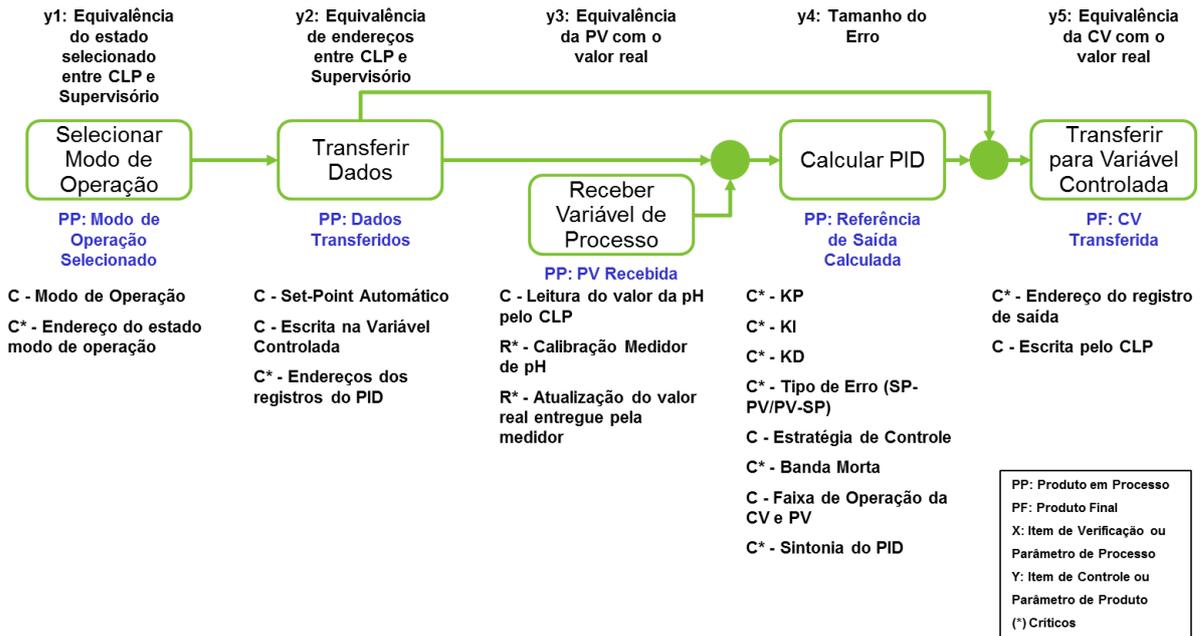


FIGURA B.11 – AIC-314.1 - Controle do pH no ciclone CS-01

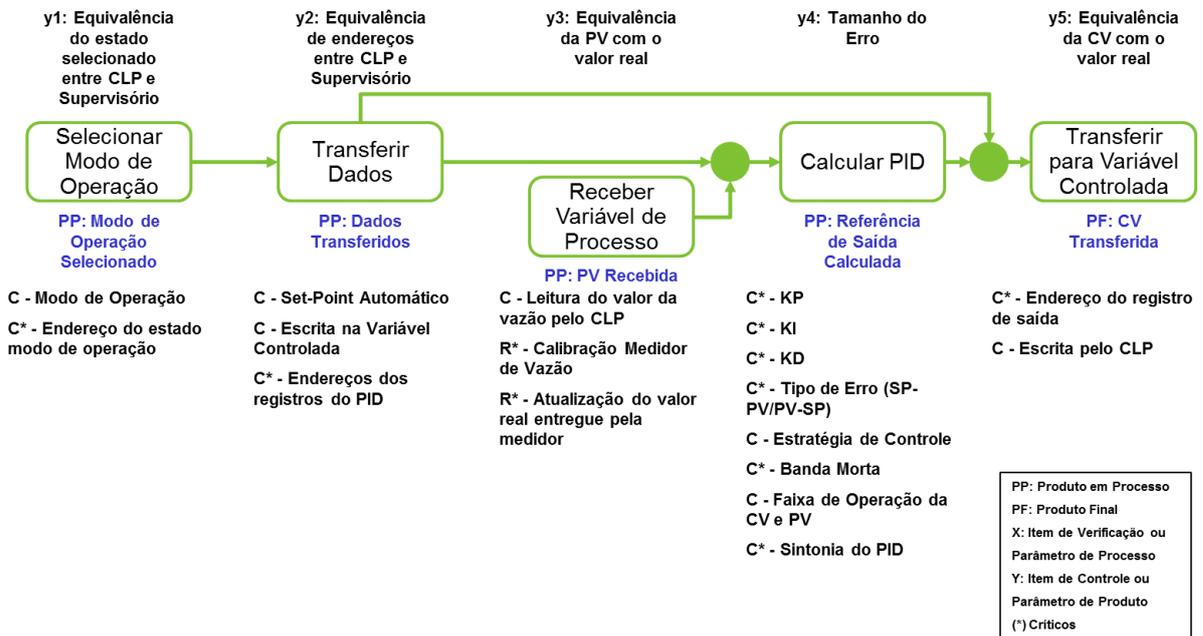


FIGURA B.12 – FIC-363.1 - Controle de água para o TK-25

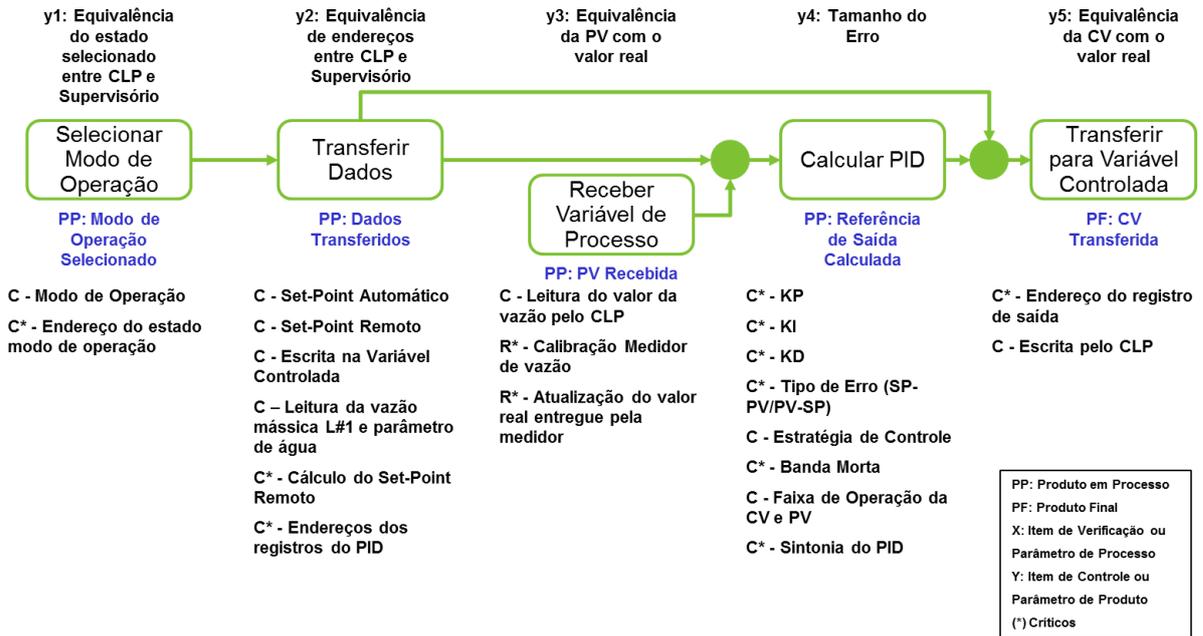


FIGURA B.13 – FIC-364.1 – Controle de água para a célula rougher

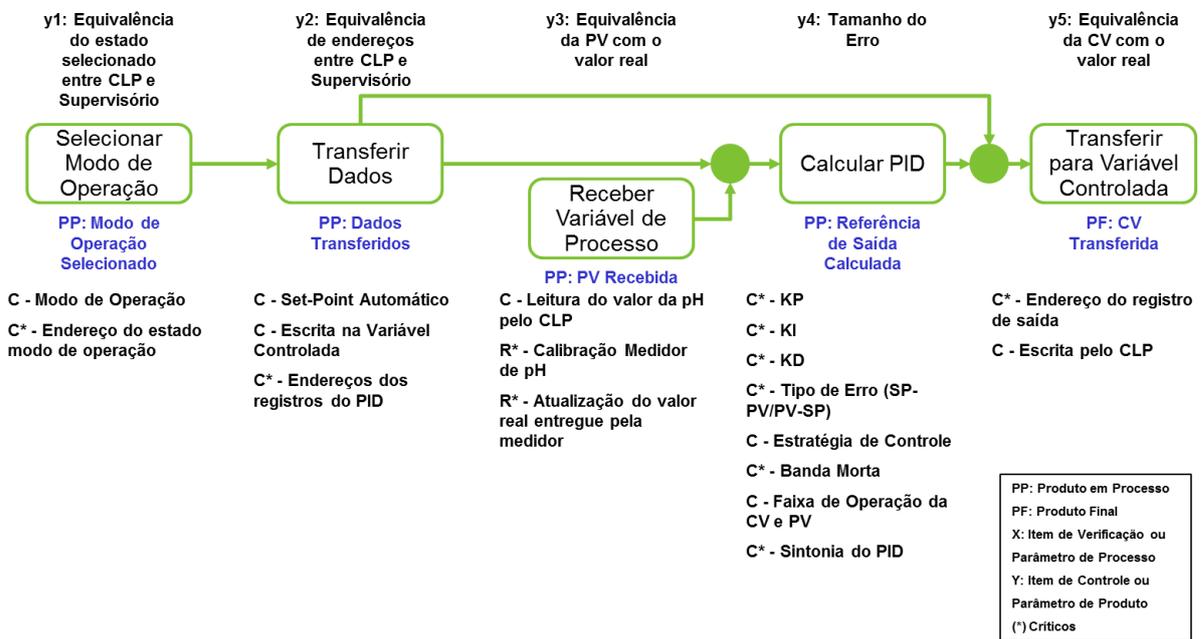


FIGURA B.14 – AIC-362.1 - Controle do pH da flotação

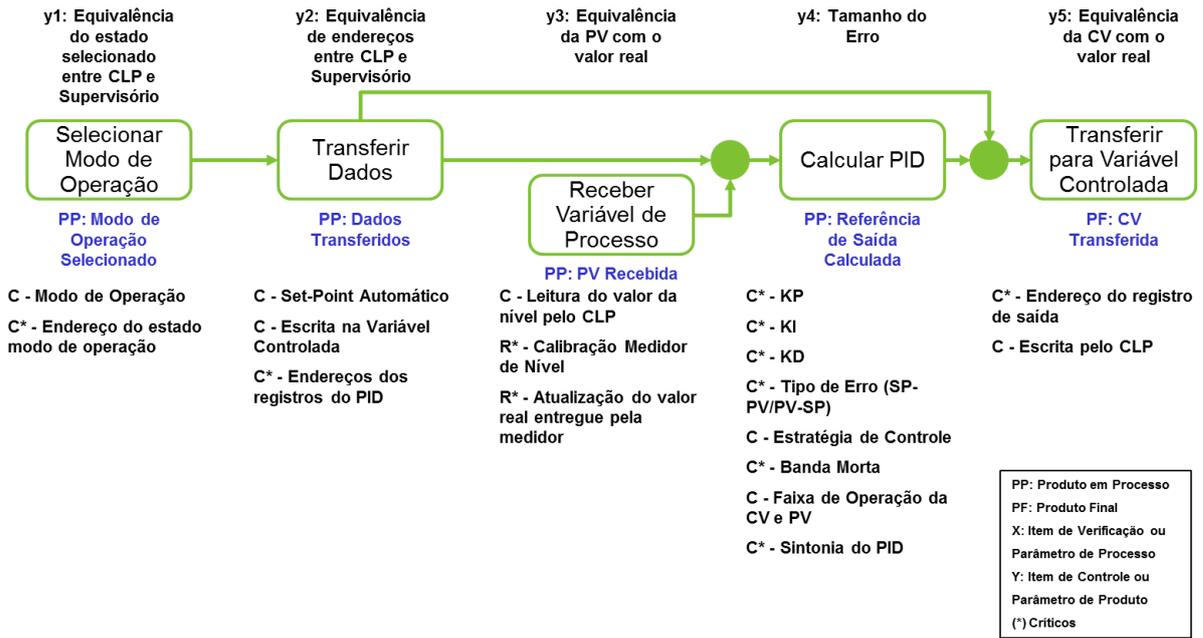


FIGURA B.15 – LIC-1360.1 - Controle do nível da rougher

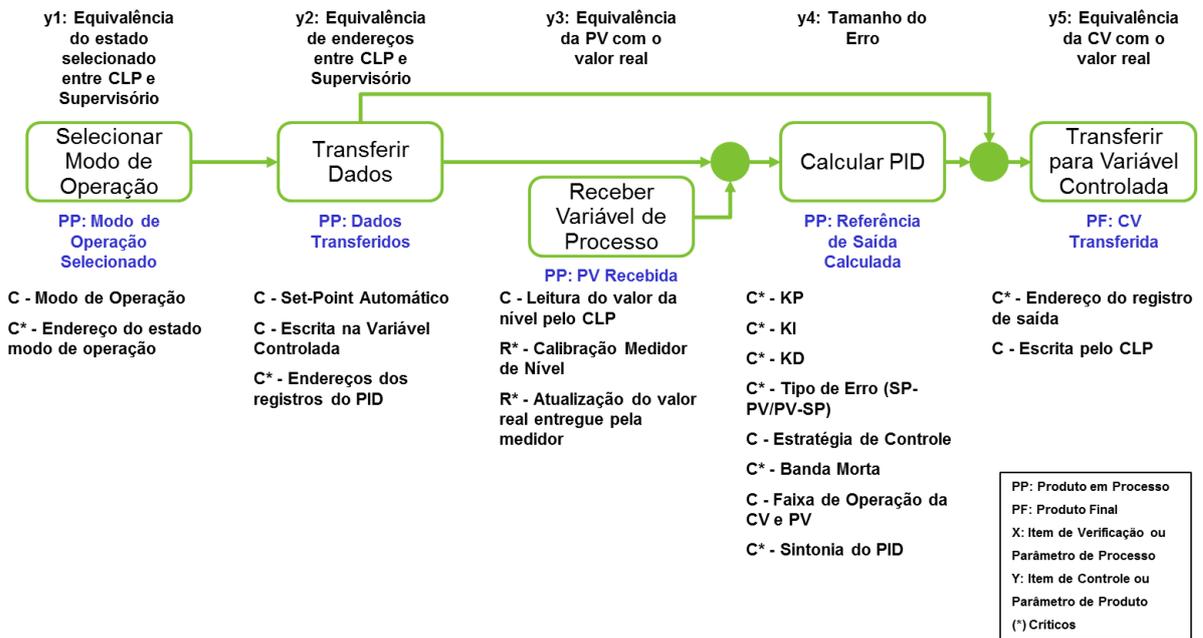


FIGURA B.16 – LIC-1361.1 - Controle do nível da cleaner

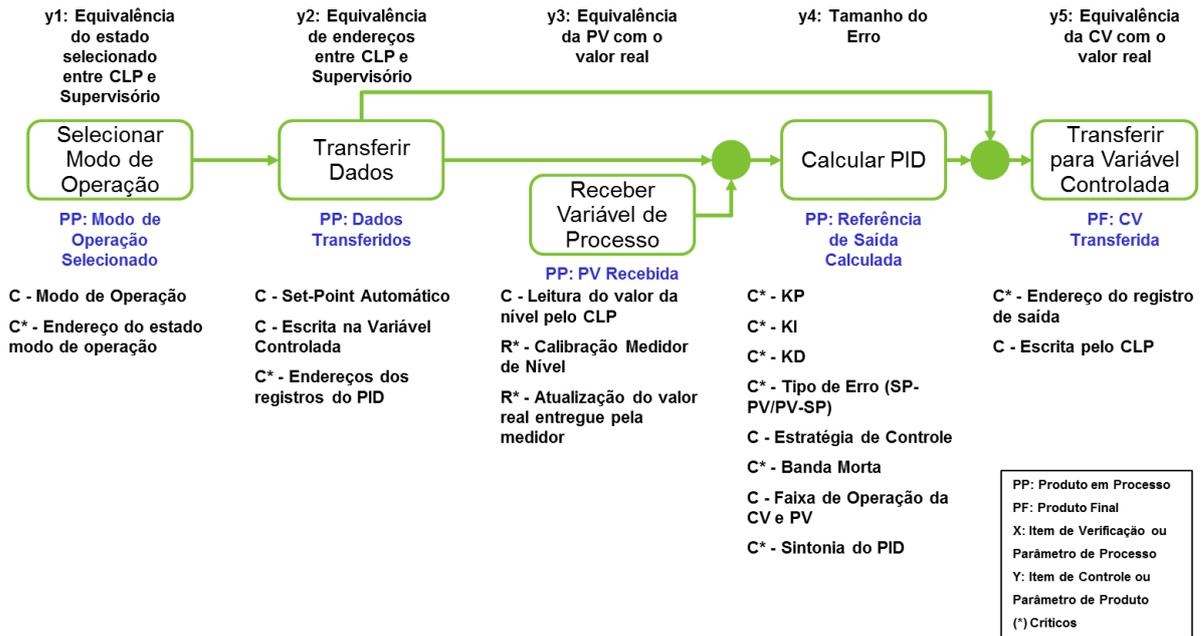


FIGURA B.17 – LIC-1381.1 - Controle do nível ST-13 pela cleaner da scanv.

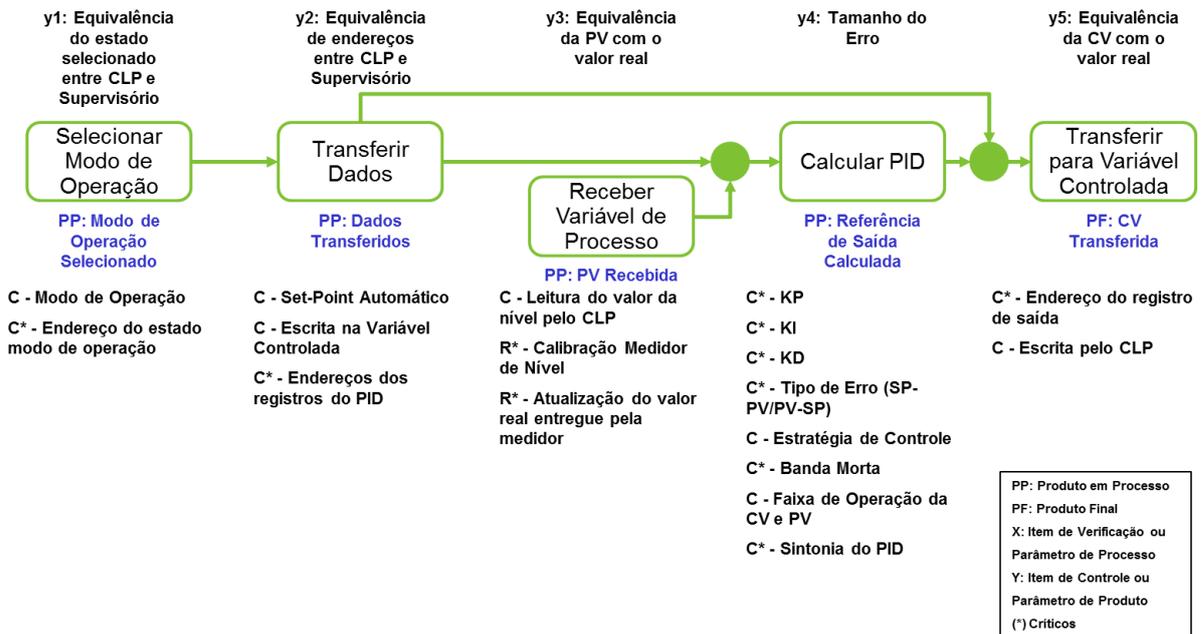


FIGURA B.18 – LIC-1381.1 - Controle do nível da cleaner da scavenger

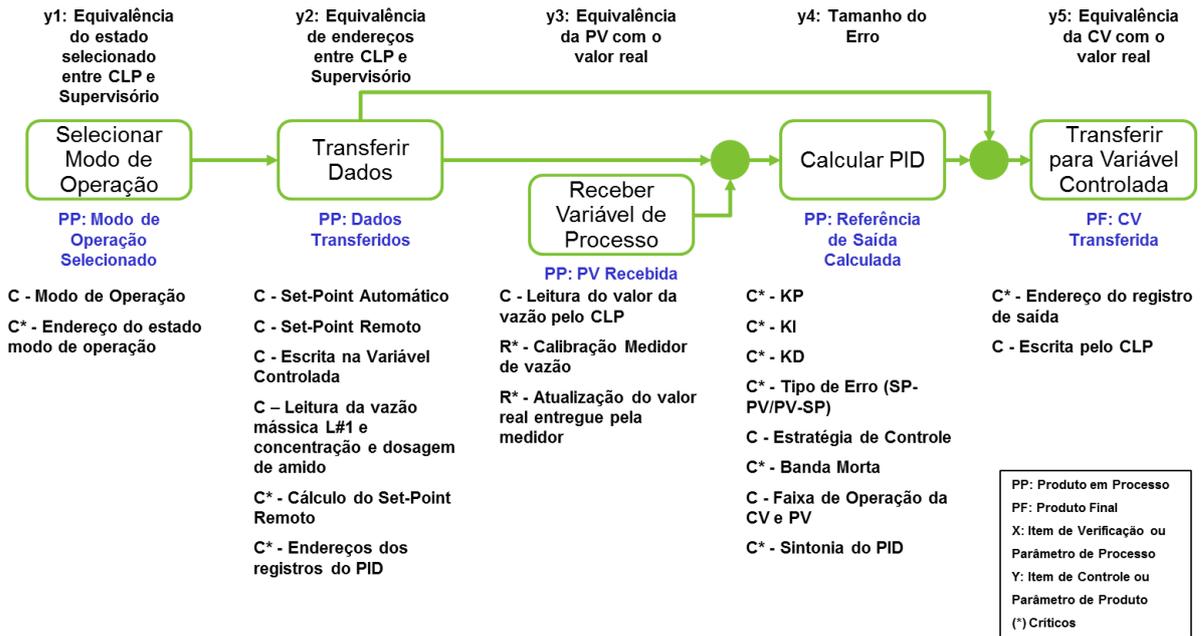


FIGURA B.19 – FIC-535.1 - Controle de adição de amido para o TK-25

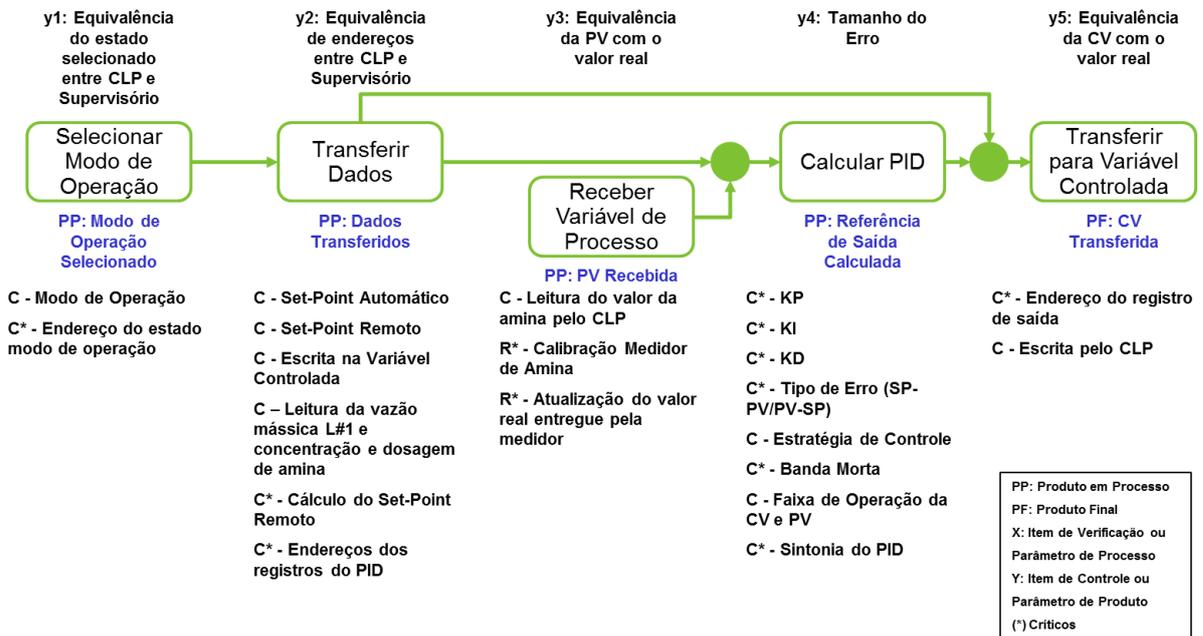


FIGURA B.20 – FIC-545.1 - Controle de adição de amina para o TK-25

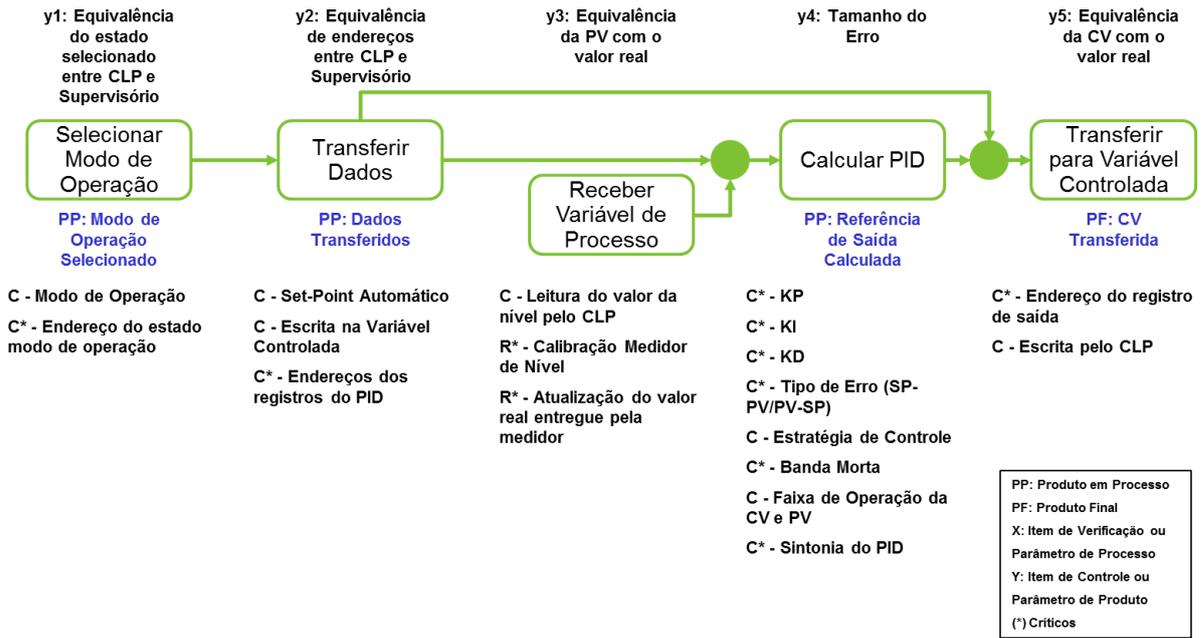


FIGURA B.21 – LIC-1380.1 - Controle do nível da scavenger primária

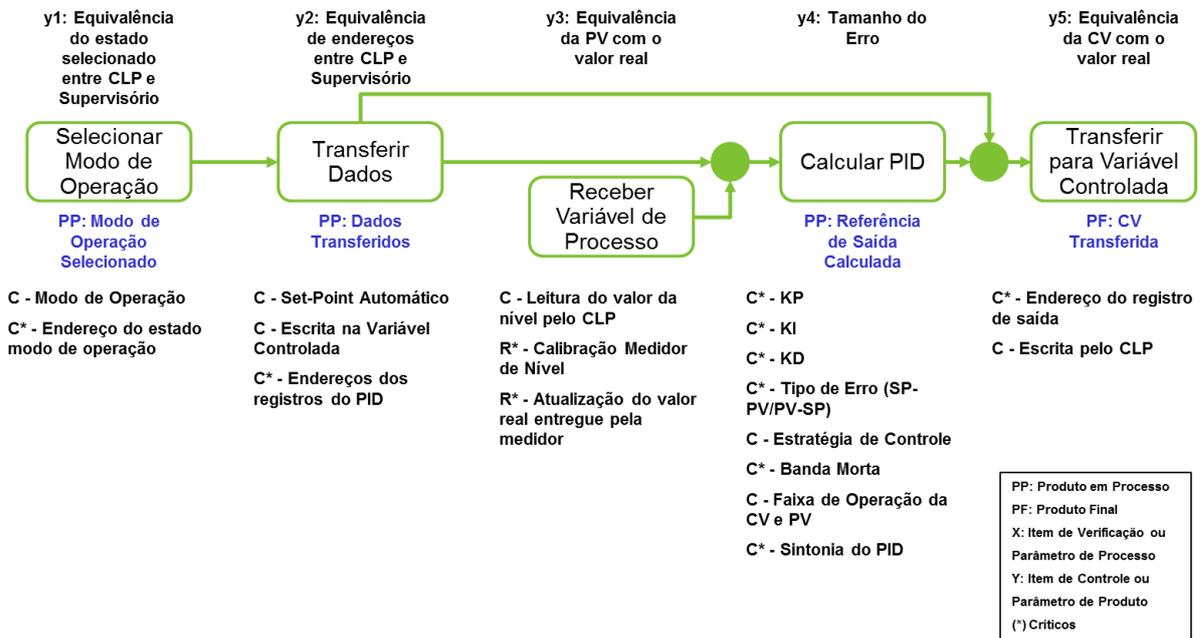


FIGURA B.22 – LIC-13 - Controle do nível da caixa ST-13

APÊNDICE C – Matriz OGD

A tabela C.1 apresenta a priorização das causas fundamentais realizada por meio da ferramenta Matriz OGD (ocorrência, gravidade, detecção).

TABELA C.1 – Matriz OGD

| Matriz OGD | | | | | |
|---|--|-------------------|------------------|-----------------|------------------|
| Causa fundamental (X) | | Ocorrência (O) | Gravidade (G) | Detecção (D) | TOTAL (O*G*D) |
| Primário | Secundário | | | | |
| Houve mudança no circuito e não trocaram os atuadores das válvulas | Falta de materiais necessário para a mudança no processo | 9 | 9 | 9 | 729 |
| Falta de manutenção nos instrumentos / válvula que compõem a malha de controle | Priorização de outros serviços | 9 | 9 | 9 | 729 |
| Falta de Sintonia PID | - | 9 | 9 | 9 | 729 |
| Desconhecimento de todos os parâmetros necessário para a malha de controle | - | 9 | 9 | 9 | 729 |
| Falta de conhecimento do software de sintonia | - | 9 | 9 | 9 | 729 |
| Não utilização do software de auditoria para acompanhamento da malha | - | 9 | 9 | 9 | 729 |
| Falta de critério definido para operação das malhas de controle | - | 9 | 9 | 9 | 729 |
| Não aplicação do plano de manutenção dos medidores de nível da flotação | Falta de sobressalente de equipamentos e componentes | 9 | 9 | 9 | 729 |
| Substituição ou alteração do parâmetro do instrumento sem comunicação com a Automação | Não conhecimento procedimento de substituição ou alteração de parâmetro de | 3 | 9 | 9 | 243 |

| | | | | | |
|---|--|---|---|---|-----|
| | instrumento | | | | |
| Método de calibração inadequado do densímetro | Não utilização de automação para o método de calibração de densímetro | 3 | 9 | 9 | 243 |
| Falta de um treinamento básico de malha de controle | - | 3 | 9 | 9 | 243 |
| Sistema de supervisão não disponibiliza a função para mostrar expressões das malhas | Sistema de supervisão não disponibiliza a função para mostrar expressões das malhas | 9 | 9 | 3 | 243 |
| Falta de manutenção nos instrumentos / válvula que compõem a malha de controle | Equipe Instrumentação Reduzida para Efetivação do Plano de Manutenção | 9 | 9 | 3 | 243 |
| Substituição ou alteração do parâmetro do instrumento sem comunicação com a Automação | Não conhecimento procedimento de substituição ou alteração de parâmetro de instrumento | 3 | 9 | 3 | 81 |
| Houve mudança no circuito e não trocaram os atuadores das válvulas | Falta de procedimento para mudança de processo | 9 | 9 | 1 | 81 |
| Falta de manutenção nos instrumentos / válvula que compõem a malha de controle | Falta de plano de manutenção de variáveis que compõem a malha | 3 | 9 | 3 | 81 |
| Falta de manutenção nos instrumentos / válvula que compõem a malha de controle | Baixa percepção da importância da manutenção nos instrumentos | 3 | 9 | 3 | 81 |
| Falta de investimento para atualização tecnológica | - | 9 | 9 | 1 | 81 |
| Não aplicação do plano de | Indisponibilidade | 3 | 9 | 3 | 81 |

| | | | | | |
|---|--|---|---|---|----|
| manutenção dos medidores de nível da flotação | de mão-de-obra para aplicação do plano de manutenção na flotação | | | | |
| Falta de disseminação do processo da flotação quando ocorre mudança de circuito | Falta de procedimento para mudança de processo | 9 | 9 | 1 | 81 |
| Não há um estudo adequado na implementação de válvulas e posicionadores | - | 3 | 9 | 3 | 81 |
| Não há um plano de aferição para o medidor de vazão eletromagnético | - | 3 | 9 | 3 | 81 |
| Lógica do bloco de comunicação inadequada | Família CLP defasada | 3 | 3 | 3 | 27 |
| Tráfego alto de dados | Família CLP defasada | 3 | 3 | 3 | 27 |
| Priorização de atividades por parte do técnico de operação | - | 3 | 3 | 3 | 27 |
| Indisponibilidade do técnico (DDS, realização de relatório, etc) | - | 3 | 3 | 3 | 27 |
| Falta de aferição das válvulas de água | - | 3 | 3 | 3 | 27 |
| Parametrização errada dos inversores | - | 3 | 3 | 3 | 27 |
| Parametrização errada dos medidores | - | 3 | 3 | 3 | 27 |
| Falta de disseminação do procedimento de alimentação da usina | - | 1 | 3 | 3 | 9 |

APÊNDICE D – Matriz RAB

A tabela D.1 apresenta a priorização das ações para a criação do plano de ação.

TABELA D.1 – Matriz RAB (rapidez, autonomia, benefício)

| Matriz RAB | | | | | |
|--|--|--|--|--------------------------------|----------------------|
| Causa fundamental (X) | Possíveis ações para a causa fundamental levantada | Rapidez | Autonomia | Benefício | TOTAL (R*A*B) |
| | | Em quanto tempo podemos solucionar este problema | Até que nível funcional devemos ir para resolver o problema? | Que benefício a solução trará? | |
| Falta de Sintonia PID | Manutenção preventiva nos instrumentos e válvulas da pré-moagem | 10 | 10 | 10 | 1000 |
| Falta de Sintonia PID | Manutenção preventiva nos instrumentos e válvulas da moagem primária | 10 | 10 | 10 | 1000 |
| Falta de Sintonia PID | Manutenção preventiva nos instrumentos e válvulas da deslamagem | 10 | 10 | 10 | 1000 |
| Desconhecimento de todos os parâmetros necessário para a malha de controle | Criar diagrama de malhas de controle para a linha 1 | 5 | 10 | 10 | 500 |
| Não utilização do software de auditoria para acompanhamento da malha | Disponibilizar usuário do TriCLPM para todos os engenheiros/anali | 10 | 10 | 5 | 500 |

| | | | | | |
|--|--|----|----|----|-----|
| | stas de processo | | | | |
| Não utilização do software de auditoria para acompanhamento da malha | Disponibilizar usuário do TriCLPM para a instrumentação | 10 | 10 | 5 | 500 |
| Falta de Sintonia PID | Sintonizar malhas da pré-moagem | 5 | 10 | 10 | 500 |
| Falta de Sintonia PID | Sintonizar malhas da moagem primária | 5 | 10 | 10 | 500 |
| Falta de Sintonia PID | Sintonizar malhas da deslamagem | 5 | 10 | 10 | 500 |
| Falta de Sintonia PID | Manutenção preventiva nos instrumentos e válvulas da flotação | 5 | 10 | 10 | 500 |
| Falta de Sintonia PID | Sintonizar malhas da flotação | 5 | 10 | 10 | 500 |
| Não utilização de automação para o método de calibração | Realizar treinamento interno do procedimento de aferição dos densímetros radioativos | 3 | 10 | 10 | 300 |
| Não utilização de automação para o método de calibração | Criar lógica de cálculo para média de densidade no período de amostragem | 10 | 10 | 3 | 300 |
| Falta de critério definido para operação das malhas de controle | Definir responsável operação/processo das malhas de controle | 5 | 5 | 10 | 250 |

| | | | | | |
|---|--|---|----|----|-----|
| Priorização de outros serviços Equipe Instrumentação Reduzida para Efetivação do Plano de Manutenção | Criar plano de manutenção preventiva para cada malha de controle da linha 1 | 5 | 3 | 10 | 150 |
| Desconhecimento de todos os parâmetros necessário para a malha de controle | Disponibilizar no supervisor os parâmetros detalhados por malha | 5 | 10 | 3 | 150 |
| Falta de conhecimento do software de sintonia | Estudo do manual do <i>software</i> para aplicação da sintonia nas malhas de controle | 3 | 5 | 10 | 150 |
| Não utilização do software de auditoria para acompanhamento da malha | Realizar treinamento do TriCLPM para automação, instrumentação e processo | 3 | 5 | 10 | 150 |
| Não utilização do software de auditoria para acompanhamento da malha | Atualização das variáveis no TriCLPM | 3 | 5 | 10 | 150 |
| Falta de sobressalente de equipamentos e componentes | Fazer levantamento dos instrumentos necessários para o controle da linha 1 e criticá-los | 3 | 5 | 10 | 150 |

| | | | | | |
|---|---|----|----|----|-----|
| Não utilização de automação para o método de calibração | Criar procedimento de aferição dos densímetros radioativos | 10 | 5 | 3 | 150 |
| Desconhecimento de todos os parâmetros necessário para a malha de controle | Conhecer o que leva a alteração dos parâmetros das malhas de controle, e se possível aplicar um automatismo | 5 | 3 | 10 | 150 |
| Não disponibilidade e das expressões no supervísório | Disponibilizar no supervísório as expressões dos cálculos de set-point por malha | 5 | 10 | 3 | 150 |
| Sistema de supervisão não disponibiliza a função para mostrar expressões das malhas | Criar uma tela de detalhe para disponibilizar as expressões e parâmetros | 5 | 10 | 3 | 150 |
| Desconhecimento de todos os parâmetros necessário para a malha de controle | Disponibilizar os totalizadores de amido e amina do dia na tela da flotação | 10 | 10 | 1 | 100 |
| Falta de Sintonia PID | Troca das válvulas de reagentes da flotação linha 1 | 3 | 10 | 3 | 90 |
| Não utilização do software de auditoria para acompanhamento da malha | Definir responsável da automação pelo gerenciamento do TriCLPM | 5 | 5 | 3 | 75 |

| | | | | | |
|--|---|---|---|----|----|
| Desconhecimento de todos os parâmetros necessário para a malha de controle | Procedimento operação malhas de controle | 1 | 5 | 10 | 50 |
| Falta de um treinamento básico de malha de controle Falta de critério definido para operação das malhas de controle | Treinamento básico de malha de controle para a operação, automação e instrumentação | 1 | 5 | 10 | 50 |
| Falta de conhecimento do software de sintonia | Treinamento para a equipe de automação no software de sintonia de malha | 1 | 5 | 10 | 50 |
| Não utilização do software de auditoria para acompanhamento da malha | Disponibilizar a nota da malha para os responsáveis | 3 | 3 | 5 | 45 |
| Não utilização do software de auditoria para acompanhamento da malha | Gerar o relatório de acordo com a definição do usuário (filtro de informação) | 1 | 3 | 10 | 30 |
| Falta de Sintonia PID | Troca dos atuadores das células de flotação | 1 | 3 | 10 | 30 |
| Falta de Sintonia PID | Instalar medidor de vazão de soda na flotação | 1 | 5 | 5 | 25 |

| | | | | | |
|---|--|---|---|----|----|
| Falta de critério definido para operação das malhas de controle | Criar um recurso para historiar as operações em manual. O operador terá que inserir o motivo pelo qual colocou a malha em manual | 1 | 3 | 5 | 15 |
| Falta de materiais necessário para a mudança no processo | Garantir a cumprimento de gestão de mudanças nas mudanças de processo | 1 | 1 | 10 | 10 |
| Falta de materiais necessário para a mudança no processo | Incluir a instrumentação no SGSA | 1 | 1 | 10 | 10 |
| Equipe Instrumentação Reduzida para Efetivação do Plano de Manutenção | Contratação de mão-de-obra | 1 | 1 | 10 | 10 |

APÊNDICE E – Plano de Ação

A tabela E.1 apresenta o plano de ação gerado para a fase aprimorar.

TABELA E.1 – Plano de ação

| Causas Prioritárias (Xs) | WHAT Atividade | WHY Objetivo | HOW Procedimento | WHEN Prazo |
|--|--|--|---|-----------------------|
| Falta de Sintonia PID | Manutenção preventiva nos instrumentos e válvulas da pré-moagem | Identificar e corrigir problemas existentes em todos os componentes das malhas | Manutenção em Campo | 06/06/2014 |
| Falta de conhecimento do software de sintonia | Realizar treinamento do software de sintonia de malha de controle | Aprender a utilizar o software até que aconteça o treinamento | Estudo de Manual | 06/06/2014 |
| Falta de Sintonia PID | Manutenção preventiva nos instrumentos e válvulas da moagem primária | Identificar e corrigir problemas existentes em todos os componentes das malhas | Manutenção em Campo | 06/06/2014 |
| Falta de Sintonia PID | Sintonizar malhas da pré-moagem | Reduir Erro PV | Sintonia do PID através do BRTuning | 06/06/2014 |
| Não utilização de automação para o método de calibração | Criar lógica de cálculo para média de densidade no período de amostragem | Padronizar a forma de cálculo da média durante a aferição do densímetro | Criação de lógica | 06/06/2014 |
| Não utilização do software de auditoria para acompanhamento da malha | Atualização das variáveis no TriCLPM | Tornar todos os dados das malhas confiáveis | Levantamento de dados | 06/06/2014 |
| Não utilização de automação para o método de calibração | Criar procedimento de aferição dos densímetros radioativos | Padronizar a forma de aferição dos densímetros radioativos | Definindo melhores práticas de aferição | 06/06/2014 |

| | | | | |
|--|---|---|-------------------------------------|------------|
| Falta de Sintonia PID | Sintonizar malhas da moagem primária | Reduir Erro PV | Sintonia do PID através do BRTuning | 10/06/2014 |
| Desconhecimento de todos os parâmetros necessário para a malha de controle | Conhecer o que leva a alteração dos parâmetros das malhas de controle, e se possível aplicar um automotismo | Identificar como é feita a alteração de parâmetro das malhas para, se possível, automatizar a troca | Entrevista | 10/06/2014 |
| Falta de Sintonia PID | Manutenção preventiva nos instrumentos e válvulas da deslamagem | Identificar e corrigir problemas existentes em todos os componentes das malhas | Manutenção em Campo | 10/06/2014 |
| Não utilização do software de auditoria para acompanhamento da malha | Realizar treinamento do TriCLPM para automação, instrumentação e processo | Treinar todos os interessados na ferramenta para o acompanhamento das malhas | Treinamento | 10/06/2014 |
| Falta de Sintonia PID | Sintonizar malhas da deslamagem | Reduir Erro PV | Sintonia do PID através do BRTuning | 17/06/2014 |
| Falta de Sintonia PID | Manutenção preventiva nos instrumentos e válvulas da flotação | Identificar e corrigir problemas existentes em todos os componentes das malhas | Manutenção em Campo | 24/06/2014 |
| Desconhecimento de todos os parâmetros necessário para a malha de controle | Criar diagrama de malhas de controle para a linha 1 | Facilitar a identificação da estrutura de controle | Atualização Supervisório | 25/06/2014 |
| Desconhecimento de todos os parâmetros necessário para a malha de controle | Disponibilizar no supervisório os parâmetros detalhados por malha | Facilitar a identificação dos parâmetros das malhas | Atualização Supervisório | 25/06/2014 |

| | | | | |
|---|---|--|-------------------------------------|------------|
| Não disponibilidade das expressões no supervisorio | Disponibilizar no supervisorio as expressões dos cálculos de set-point por malha | Facilitar a identificação das expressões das malhas | Atualização Supervisorio | 25/06/2014 |
| Sistema de supervisão não disponibiliza a função para mostrar expressões das malhas | Criar uma tela de detalhe para disponibilizar as expressões e parâmetros | Facilitar a identificação das expressões e parâmetros das malhas | Atualização Supervisorio | 25/06/2014 |
| Desconhecimento de todos os parâmetros necessário para a malha de controle | Disponibilizar os totalizadores de amido e amina do dia na tela da flotação | Facilitar o acompanhamento da utilização dos insumos pela flotação | Atualização Supervisorio | 25/06/2014 |
| Não utilização do software de auditoria para acompanhamento da malha | Disponibilizar usuário do TriCLPM para todos os engenheiros/analistas de processo | Engenheiros / analistas acompanhem o desempenho das malhas | Cadastro no Software | 30/06/2014 |
| Não utilização do software de auditoria para acompanhamento da malha | Disponibilizar usuário do TriCLPM para a instrumentação | Técnicos Instrumentação acompanhem o desempenho das malhas | Cadastro no Software | 30/06/2014 |
| Falta de Sintonia PID | Sintonizar malhas da flotação | Reduir Erro PV | Sintonia do PID através do BRTuning | 30/06/2014 |
| Falta de critério definido para operação das malhas de controle | Definir responsável operação/processo das malhas de controle | Ter um acompanhamento de perto pelo processo | Acordo entre departamentos | 30/06/2014 |
| Priorização de outros serviços Equipe Instrumentação Reduzida para Efetivação do Plano | Criar plano de manutenção preventiva para cada malha de controle da linha 1 | Identificar problemas preventivamente em todos os componentes da malha | Inserção no SAP | 30/06/2014 |

| | | | | |
|--|--|--|--|------------|
| de Manutenção | | | | |
| Falta de sobressalente de equipamentos e componentes | Fazer levantamento dos instrumentos necessários para o controle da linha 1 e criticá-los | Verificar a necessidade de criticar os instrumentos da linha 1 | Levantamento de dados | 30/06/2014 |
| Não utilização de automação para o método de calibração | Realizar treinamento interno do procedimento de aferição dos densímetros radioativos | Instruir todos os laboratoristas sobre o procedimento de aferição | Treinamento Presencial | 30/06/2014 |
| Falta de Sintonia PID | Instalar medidor de vazão de soda na flotação | Melhorar o Controle de pH (hoje não temos a indicação da vazão de soda) e identificação entupimento. | Compra de medidor de vazão e contratar mão-de-obra | 29/08/2014 |
| Falta de Sintonia PID | Troca das válvulas de reagentes da flotação linha 1 | Modernização das válvulas | Compra de válvulas de controle para reagente | 29/08/2014 |
| Desconhecimento de todos os parâmetros necessário para a malha de controle | Procedimento operação malhas de controle | Definição de operação das malhas de controle | Criação de Procedimento | 01/10/2014 |
| Falta de Sintonia PID | Troca dos atuadores das células de flotação | Modernização do controle de nível das células de flotação | Criação de SAT para testes dos atuadores | 31/10/2014 |