



CENTRO UNIVERSITÁRIO SENAI CIMATEC
PROGRAMA DE POS-GRADUAÇÃO STRICTO SENSU
GESTÃO E TECNOLOGIA INDUSTRIAL

VALMIR DA CRUZ DE SOUZA

**PROPOSTA DE METODOLOGIA DE COMISSONAMENTO: ESTUDO
DE CASO PLANTA PILOTO DE RECUPERAÇÃO DE METAIS
VALIOSOS**

SALVADOR-BA

2020

VALMIR DA CRUZ DE SOUZA

**PROPOSTA DE METODOLOGIA DE COMISSONAMENTO: ESTUDO
DE CASO PLANTA PILOTO DE RECUPERAÇÃO DE METAIS
VALIOSOS**

Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação Stricto Sensu do Centro Universitário SENAI CIMATEC, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Gestão e Tecnologia Industrial.

Orientadora: Prof. Dra. Lílian L. Nani Guarieiro

Orientador: Prof. Dr. Alex Alisson B. Santos

SALVADOR-BA

2020

Comissionamento – Metodologia. Instalações industriais. Recuperação de
Metais Valiosos

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca do Centro Universitário SENAI CIMATEC

S332p Souza, Valmir da Cruz de

Proposta de metodologia de comissionamento: estudo de caso planta piloto de
recuperação de metais valiosos / Valmir da Cruz de Souza. – Salvador, 2020.

137 f.: il. color.

Orientador: Prof^a Dra. Lilian Lefol Nani Guarieiro

Co-orientador: Prof. Dr. Alex Álisson Bandeira Santos

Dissertação (Mestrado em Gestão e Tecnologia Industrial - GETEC) –
Programa de Pós-Graduação, Centro Universitário SENAI CIMATEC, Salvador,
2020.

Inclui referências.

1.Comissionamento – Metodologia. 2. Instalações industriais. 3.
Macroprocesso de comissionamento. 4. Recuperação de metais valiosos I.
Centro Universitário SENAI CIMATEC. II. Guarieiro, Lilian Lefol Nani. III. Santos,
Alex Álisson Bandeira. IV Título.

CDD: 001.4

CENTRO UNIVERSITÁRIO SENAI CIMATEC

Mestrado Profissional em Gestão e Tecnologia Industrial

A Banca Examinadora, constituída pelos professores abaixo listados, aprova a Defesa de Mestrado, intitulada "PROPOSTA DE METODOLOGIA DE COMISSIONAMENTO: ESTUDO DE CASO PLANTA PILOTO DE RECUPERAÇÃO DE METAIS VALIOSOS" apresentada no dia 29 de junho de 2020, como parte dos requisitos necessários para a obtenção do Título de Mestre em Gestão e Tecnologia Industrial.



Orientadora:

Prof.ª Dra. Lilian Lefol Nani Guarieiro
SENAI CIMATEC



Coorientador:

Prof. Dr. Alex Alisson Bandeira Santos
SENAI CIMATEC



Membro Interno:

Prof. Dr. Fernando Luiz Pellegrini Pessoa
SENAI CIMATEC



Membro Externo:

Prof. Dr. Antônio Gabriel Souza Almeida
IFBA

BANCA EXAMINADORA**Orientador 1:**

Prof.^a Dra. Lilian Lefol Nani Guarieiro
Doutora em Química Analítica pela Universidade Federal da Bahia (UFBA),
Salvador, Brasil.
Centro Universitário SENAI CIMATEC

Orientador 2:

Prof. Dr. Alex Álisson Bandeira Santos.
Doutor em Energia e Ambiente pela Universidade Federal da Bahia (UFBA),
Salvador, Brasil.
Centro Universitário SENAI CIMATEC

Membro interno da Banca

Prof. Dr. Fernando Luiz Pellegrini Pessoa
Doutor em Engenharia Química pela Universidade Federal do Rio de Janeiro
(UFRJ), Rio de Janeiro, Brasil
Centro Universitário SENAI CIMATEC

Membro externo da Banca

Prof. Dr. Antônio Gabriel Souza Almeida;
Doutor em Energia e Ambiente pela Universidade Federal da Bahia (UFBA),
Salvador, Brasil.
Instituto Federal da Bahia (IFBA)

SALVADOR-BA

2020

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a **Deus** e ao SENAI CIMATEC pela oportunidade de participar do programa PDE.

Agradeço à minha **família** que deu todo o apoio nos momentos difíceis, principalmente quando não se tinha tempo para desenvolver a pesquisa.

Agradeço também à minha **orientadora**, Profa. Dra. Lilian Lefol Nani Guarieiro, que por seu trabalho e dedicação tornou possível a integração do mundo acadêmico com o mundo técnico, possibilitando a conclusão deste trabalho.

Dedico este trabalho a minha família e amigos que apoiaram e acreditaram na conclusão desta etapa e no meu crescimento pessoal, profissional e acadêmico. Dedico em especial a minha mãe, Maria Alice da Cruz, que sempre acreditou que o filho teria formações e crescimento profissional, mesmo sem entender quais seriam e o que representariam para a vida de toda família.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 -Controle de Pendências Impeditivas e Não Impeditivas da PP de RMV. 80

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Visão Geral do Processo de Comissionamento	25
Quadro 2- Sistemas Operacionais de Processo da planta piloto de RMV	41
Quadro 3 - Caracterização dos subsistemas da planta piloto de RMV	42
Quadro 4 - Preservação de Válvulas.....	50
Quadro 5 - Preservação em Banco de Baterias	54
Quadro 6- Preservação de Cabos e Multicabos.....	54
Quadro 7- Preservação de Motores Elétricos e Geradores.....	55
Quadro 8 - Preservação de Transformadores de Potência	56
Quadro 9 - Preservação dos Instrumentos por Categoria	58
Quadro 10 - Testes requeridos por tipo de válvula.....	60
Quadro 11 - Check List de Malhas Elétricas	66
Quadro 12 - Verificações Gerais para Início do TAP	76
Quadro 13 - Preparação do Sistema/Subsistema Para Partida	77
Quadro 14 - Controle de Tensão em Volts para Teste dos Cabos.....	112
Quadro 15 - Valores mínimos de resistência de isolamento	113
Quadro 16 - Tensões de Testes.....	115
Quadro 17 - Interpretação de Testes	115
Quadro 18 - Tensões de testes das Resistências de Isolamento.....	119

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Histórico do comissionamento.	26
Figura 2 - Macro fluxo do processo de comissionamento	29
Figura 3 - Esquema utilizado na revisão sistemática.	31
Figura 4 - Número de patentes por país.....	32
Figura 5 - A funcionalidade total da planta (empreendimento) depende de estágios consistentes do Comissionamento.....	36
Figura 6 – Esquema metodológico utilizado no desenvolvimento da pesquisa.....	38
Figura 7- Planta Piloto de Recuperação de Metais Valiosos.....	39
Figura 8 - Rede de Precedência usada no Comissionamento Empírico.	45
Figura 9 - Fluxograma do Macroprocesso de Comissionamento Aplicada a Planta Piloto de RMV.	47
Figura 10 -Calibrador de Pressão.	68
Figura 11 - Hart 375 – Comunicador Emerson.....	68
Figura 12 - Pendências Impeditivas e Não Impeditivas no Comissionamento Empírico da PP de RMV na Primeira Montagem, por Categoria.	82
Figura 13 - Somatório das Pendências Impeditivas e Não Impeditivas no Comissionamento Empírico da PP de RMV na Primeira Montagem.....	82
Figura 14 - Pendências Impeditivas e Não Impeditivas no Comissionamento Integrado e Sistemático na PP de RMV na Segunda Montagem por Categoria	83
Figura 15 - Somatório das Pendências Impeditivas e Não Impeditivas no Comissionamento Integrado e Sistemático.....	84
Figura 16 - Comparativo do Número de Pendências Impeditivas entre o comissionamento empírico e o comissionamento Integrado e Sistemático.	84
Figura 17 - Comissionamento Empírico x Comissionamento Integrado e Sistemático, Pendências Não Impeditivas na PP de RMV	85
Figura 18 - Megger DLRO100HB Micro-Ohmmeter / DLRO / Bond Testing.	122
Figura 19 - Medidor Digital de Relação de Transformação TTR 2000I	124

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AABC	Associated Air Balance Council
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AC	Corrente Alternada
ACEEE	American Council for an Energy Efficient Economy
AIA	American Institute of Architects
AIE	Agência Internacional de Energia
APPA	American Public Power Association
ASERTTI	Association of State Energy Research & Technology Transfer Institutions
ASHRAE	American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers
AT	Alta Tensão
BCxA	Building Commissioning Association
BPA	Bonneville Power Administration
BSCA	Building Services Commissioning Association
BSRIA	Building Services Research and Information Association
BT	Baixa Tensão
CCC	California Commissioning Collaborative
CEE	Consortium for Energy Efficiency
CEPAS	Consolidated Environmental Performance Assessment Scheme
CERL	Construction Engineering Research Lab
CFEA	Conselho Federal de Engenharia e Agronomia
CIBSE	Chartered Institution of Building Services Engineers
CM	Completação Mecânica
CONFEA	Conselho Federal de Engenharia e Agronomia
CSA	Commissioning Specialists Association
CSU	California State University
Cx	Comissionamento
CC	Corrente Contínua
DFCM	Division of Facilities Construction & Management
DGS	Department of General Services
DOE	Department of Energy

DSMWG	Demand Side Management Working Group
EBCx	Existing Building Commissioning
ECBCS	Energy Conservation in Building and Community Systems
EIS	Energy Information System
EMIS	Energy Management Information System
ENOB	Energy-Optimised Building
EPA	Environmental Protection Agency
EPBD	Energy Performance of Buildings Directive
EPRI	Electric Power Research Institute
FDD	Fault Detection and Diagnostic
EUA	Estados Unidos da América
FEMP	Fernald Environmental Management Project
GLP	Gás Liquefeito de Petróleo
GPU	Graphics Processing Unit
GSA	General Services Administration
HH	Homem Hora
HVAC	Heating, Ventilation and Air Conditioning
ICC	International Code Council
I-Cx	Comissionamento Inicial
INPI	Instituto Nacional da Propriedade Industrial
KIER	Korean Institute for Energy Research
LBNL	Lawrence Berkeley National Laboratory
LEED	Leadership in Energy and Environmental Design
M	Massa
MORAES	Programa de Operações e Reparos de Manutenção
NBR	Norma Brasileira Regulamentadora
NCBC	National Conference on Building Commissioning
NEBB	National Environmental Balancing Beauru
NEEA	Northwest Energy Efficiency Alliance
NF	Nota Fiscal
NIBS	National Institute of Building Sciences
NR	Norma Regulamentadora
NREL	National Renewable Energy Laboratory

On-Going Cx	Comissionamento Contínuo
PECI	Portland Energy Conservation, Inc.
PG&E	Pacific Gas and Electric Company
PMKB	Project Management Knowledge Base
PMBOX	Project Management Body of Knowledge
PP	Planta Piloto
QCM	Qualidade da Completação Mecânica
QTAP	Qualidade do Teste de Aceitação de Performance
Re-Cx	Recomissionamento
Retro-Cx	Retrocomissionamento
RMV	Recuperação de Metais Valiosos
RNC	Relatório de Não Conformidade
SCE	Sony Computer Entertainment
SDG&E	San Diego Gas & Electric
SHASE	Society of Heating, Air-Conditioning and Sanitary Engineers
SIE	Sony Interactive Entertainment
SMUD	Sacramento Municipal Utility District
SOP	Sistema Operacional de Processo
SSOP	Subsistema Operacional de Processo
STH	Sistema de Teste Hidrostático
TAB	Teste, Ajuste e Balanceamento
TAP	Teste de Aceitação de Performance
TC	Transformador de Corrente
TP	Transformador de Potência
USGBC	U.S. Green Building Council
Zn	Zinco

RESUMO

O comissionamento é o uso de uma metodologia disciplinada, sistemática e profissional, para converter as instalações industriais construídas ou novas em uma unidade industrial integrada e operacional. Esse processo deve ser implementado de maneira segura e eficiente, dentro de um prazo e orçamento definidos. Neste contexto, este trabalho teve como objetivo propor atividades aplicáveis a itens comissionáveis de forma a garantir uma pré-operação e partida segura e com confiabilidade operacional. Assim, um macroprocesso de comissionamento que atenda a maioria dos segmentos industriais foi proposto, sendo também avaliada a sua eficiência em termos de quantidade de pendências impeditivas e não impeditivas à operação de uma planta piloto. Foi utilizada uma planta piloto como estudo de caso, onde foi comparada sua primeira montagem utilizando o conhecimento empírico dos comissionadores, com a proposta de metodologia estruturada no presente estudo. Os resultados obtidos demonstraram sucesso na compleção mecânica e aceitação de performance das atividades selecionadas para aplicação nos itens comissionáveis. Houve redução do tempo de partida e operação assistida e aumento da confiabilidade operacional em função da redução das pendências impeditivas à partida da planta piloto de Recuperação de Metais Valiosos (RMV). O macrofluxo proposto se mostrou eficiente na integração e sistematização das atividades, definindo uma sequência lógica que pode ser adotada em diversos empreendimentos. Houve redução do número de pendências impeditivas e não impeditivas catalogadas, o que contribuiu para a constatação da eficiência metodológica. Observou-se que a integração e sistematização de atividades é o caminho para a redução do retrabalho e como consequência dos custos, permitindo uma disponibilidade operacional mais eficiente e em menos tempo. Assim, a integração sistemática do comissionamento trouxe contribuições benéficas, para os envolvidos nas atividades, gestores e sociedade como um todo, uma vez que os ativos dos diversos segmentos industriais em caso de falha podem causar impactos ambientais desastrosos com custos financeiros incalculáveis, podendo resultar em danos materiais e pessoais dos colaboradores atuantes no empreendimento.

Palavras-chave: Comissionamento - Metodologia. Instalações industriais. Macroprocesso de comissionamento. Recuperação de metais valiosos

ABSTRACT

Commissioning is the use of a disciplined, systematic and professional methodology, to convert operating or new industrial facilities into an integrated and operational industrial unit. This process must be implemented safely and efficiently, within a deadline and budget. In this context, this work aims to propose activities applied to commissionable items in order to guarantee a pre-operation and safe start and with operational reliability. Thus, a macro process commission that meets the majority of industrial segments were proposed and its efficiency in terms of the number of impeding and non-impeding pending issues for the operation of a pilot plant was also evaluated. A pilot plant was used as a case study, where its first assembly was compared using the empirical knowledge by commissioning professionals, with a structured methodology proposal in the present study. The results obtained demonstrated success in the mechanical completion and acceptance of performance of the activities selected for application in the commissionable items. There was a reduction in the start-up time and assisted operation and an increase in operational reliability due to the reduction of impediments to the departure of the Valuable Metals Recovery pilot plant (VMR). The proposed macro flow proved to be efficient in the integration and systematization of activities, defining a logical sequence that can be adopted in several projects. There was a reduction in the number of impeding and non-impeding cataloged pending items, which contributed to the verification of methodological efficiency. It was observed that the integration and systematization of activities is the way to reduce rework and as a consequence of costs, allowing a more efficient operational availability and in less time. Thus, a systematic integration of commissioning can bring beneficial contributions for those involved in activities, managers and society as a whole, once the assets of various industrial segments in cases of failure can cause disastrous environmental impacts with incalculable financial costs and it can result in material damage and personal injury of the employees working in the enterprise.

Keywords: Commissioning - Methodology. Industrial facilities. Commissioning macroprocess. Recovery of valuable metals

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	18
1.1 OBJETIVOS.....	21
1.1.1 Objetivo Geral	21
1.1.2 Objetivos específicos	21
1.2 IMPORTÂNCIA DA PESQUISA	21
2 REVISÃO DE LITERATURA	23
2.1 HISTÓRICO DO COMISSIONAMENTO.....	25
2.2 FASES DO COMISSIONAMENTO.....	29
2.3 METODOLOGIAS DE COMISSIONAMENTO	31
3 METODOLOGIA APLICADA	38
3.1 PROPOSTA DE COMISSIONAMENTO	39
3.1.1 Caracterização do Ambiente de Comissionamento.....	39
3.1.1.1 Sistemas Operacionais de Processo (SOP).....	41
3.1.1.1.1 <i>Malhas de Monitoramento e Controle</i>	43
3.1.1.1.2 <i>Itens Comissionáveis que compõem as Malhas</i>	44
3.2 COMISSIONAMENTO EMPÍRICO	44
3.3 NOVA PROPOSTA DE COMISSIONAMENTO INTEGRADO E SISTEMÁTICO, COM BASE LITERÁRIA SOMADA AO CONHECIMENTO EMPÍRICO	46
3.3.1 Definição das Atividades de Comissionamento.....	48
3.3.1.1 Recebimentos dos itens comissionáveis por categoria	48
3.3.1.2 Preservação dos Itens Comissionáveis por categoria.....	48
3.3.1.2.1 <i>Tubulação e Acessórios</i>	49
3.3.1.2.1.1 <i>Conexões e Filtros</i>	49
3.3.1.2.1.2 <i>Flanges, Tubos e Válvulas</i>	49
3.3.1.2.2 <i>Equipamentos Rotativos</i>	50
3.3.1.2.2.1 <i>Bombas Centrífugas (horizontal e vertical)</i>	50
3.3.1.2.2.2 <i>Bombas Centrífugas com gaxetas</i>	51

3.3.1.2.2.3	<i>Bombas centrífugas com selo mecânico</i>	51
3.3.1.2.2.4	<i>Bombas em geral</i>	51
3.3.1.2.2.4.1	<i>Preservação da Carcaça</i>	51
3.3.1.2.2.4.2	<i>Preservação de Mancais</i>	52
3.3.1.2.2.5	<i>Compressores Alternativos e Centrífugos</i>	52
3.3.1.2.3	<i>Equipamentos Estáticos</i>	53
3.3.1.2.3.1	<i>Vasos, Tanques e Forno</i>	53
3.3.1.2.4	<i>Equipamentos e Cabos Elétricos</i>	53
3.3.1.2.4.1	<i>Banco de Baterias</i>	53
3.3.1.2.4.2	<i>Cabos e Multicabos</i>	54
3.3.1.2.4.3	<i>Motores Elétricos e Geradores</i>	55
3.3.1.2.4.4	<i>Painéis Elétricos</i>	56
3.3.1.2.4.5	<i>Transformadores de Potência</i>	56
3.3.1.2.5	<i>Instrumentação</i>	57
3.3.1.3	<i>Condicionamento dos Itens Comissionáveis por Categoria</i>	59
3.3.1.3.1	<i>Tubulação e Acessórios</i>	59
3.3.1.3.1.1	<i>Itens de Tubulação</i>	59
3.3.1.3.1.2	<i>Malhas de Tubulação</i>	60
3.3.1.3.2	<i>Equipamentos Rotativos</i>	61
3.3.1.3.2.1	<i>Bombas (Centrífugas, Centrífugas com gaxetas e com selo mecânico) e Compressores (Alternativos e Centrífugos)</i>	61
3.3.1.3.3	<i>Equipamentos Estáticos</i>	62
3.3.1.3.3.1	<i>Vaso, Tanques e Forno</i>	62
3.3.1.3.4	<i>Equipamentos e Cabos Elétricos</i>	62
3.3.1.3.4.1	<i>Banco de Baterias</i>	63
3.3.1.3.4.2	<i>Cabos e Multicabos</i>	63
3.3.1.3.4.3	<i>Motores Elétricos</i>	63
3.3.1.3.4.4	<i>Painéis Elétricos</i>	64

3.3.1.3.4.5	<i>Transformador de potência</i>	65
3.3.1.3.4.6	<i>Malhas Elétricas</i>	65
3.3.1.3.5	<i>Instrumentação</i>	67
3.3.1.4	<i>Pré-operação, Partida e Operação Assistida</i>	69
3.3.1.4.1	<i>Tubulação, acessórios e malha de tubulação</i>	69
3.3.1.4.2	<i>Equipamentos Rotativos</i>	69
3.3.1.4.3	<i>Equipamentos Estáticos</i>	70
3.3.1.4.4	<i>Elétrica</i>	70
3.3.1.4.5	<i>Instrumentação</i>	70
3.3.2	<i>Validação da Proposta</i>	71
3.3.2.1	<i>Qualidade da Completação Mecânica (QCM)</i>	71
3.3.2.1.1	<i>Itens de Tubulação</i>	72
3.3.2.1.2	<i>Bombas e Compressores centrífugos</i>	72
3.3.2.1.3	<i>Vasos de Pressão, Filtros e Tanques</i>	73
3.3.2.1.4	<i>Motores</i>	73
3.3.2.1.5	<i>Transformadores de Iluminação e Força</i>	74
3.3.2.1.6	<i>Painéis de Iluminação, Força e Controle</i>	74
3.3.2.1.7	<i>Cabos Elétricos</i>	74
3.3.2.1.8	<i>Instrumentos (Temperatura, Pressão, vazão e nível)</i>	74
3.3.2.1.9	<i>Linha de Sinal, Impulso e Alimentação</i>	75
3.3.2.2	<i>Qualidade dos Testes de Aceitação de Performance (QTAP)</i>	75
3.3.2.3	<i>Quantitativo de pendência registrada por item comissionável</i>	78
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	80
5	CONCLUSÕES	87
6	SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS	89
7	DIVULGAÇÕES DA PESQUISA	90
7.1	ARTIGOS COMPLETOS PUBLICADOS EM CONGRESSOS	90
7.2	CAPÍTULOS DE LIVROS	90

7.3 CAPÍTULOS DE LIVROS ACEITO PARA PUBLICAÇÃO	90
7.4 ARTIGO EM ELABORAÇÃO	91
APÊNDICE A – Segregação das Malhas de Monitoramento e Controle	97
APÊNDICE B – Relação de Itens Comissionáveis da Planta Piloto - Instrumentação	100
APÊNDICE C – Relação de Itens Comissionáveis da Planta Piloto – Equipamentos	104
APÊNDICE D – Atividade de Condicionamento Aplicada as Malhas de Tubulação...	107
APÊNDICE E - Atividades de Condicionamento Aplicada ao Banco de Baterias	110
APÊNDICE F – Atividades de Condicionamento Aplicada aos Cabos e Multicabos ..	112
APÊNDICE G – Atividades de Condicionamento Aplicadas aos Motores Elétricos...	115
APÊNDICE H – Atividades de Condicionamento Aplicadas aos Painéis Elétricos	117
APÊNDICE I - Atividades de Condicionamento Aplicada ao Transformador	120
APÊNDICE J – Atividades de Condicionamento Aplicada a Instrumentação	127
APÊNDICE K – Atividades de Condicionamento Aplicada as Malhas	134

1 INTRODUÇÃO

O comissionamento é um processo conhecido na Engenharia como o trabalho feito por uma equipe selecionada (uma comissão), para colocar em operação um equipamento, subsistema, sistema ou uma planta industrial. Essa comissão normalmente é formada por membros profissionais multidisciplinares com conhecimento empírico na execução das atividades de comissionamento. A comissão pode ser formada com membros da empresa parceira, empresa cliente ou empresa especializada na execução de processos de comissionamento. Também se pode entender o comissionamento como um processo para assegurar que todos os sistemas e componentes de uma instalação industrial sejam concebidos, instalados, testados e mantidos de acordo com as necessidades operacionais do proprietário ou do cliente final. Um processo de comissionamento pode ser aplicado não só para os novos projetos, mas, também para as unidades existentes e os sistemas sujeitos a ampliação, renovação ou reformulação. Na prática, o processo de comissionamento compreende a aplicação integrada de um conjunto de técnicas de engenharia e procedimentos de controle, inspeção e teste de cada componente operacional do projeto. Nas funções individuais contempla-se instrumentos e equipamentos e nas fusões complexas, as malhas, subsistemas e sistemas. Durante muito tempo a engenharia de comissionamento foi associada apenas à terminologia naval, onde comissionar um navio era prepará-lo para sua missão, utilizando os procedimentos de prova de cais, assegurando que todos os seus equipamentos estavam operando em perfeitas condições e que todo o necessário para a operação estava disponível a bordo antes da partida. A prova de cais é um procedimento de engenharia naval que deve ser realizado antes do navio ir para o mar, tendo como objetivo avaliar o desempenho da embarcação. As provas são testes e certificações realizadas nas máquinas, nos instrumentos, nos equipamentos elétricos e nas acomodações (BENDIKSEN E YOUNG, 2005).

Trabalhar a efetividade do comissionamento é um dos grandes desafios das empresas que realizam estas atividades. Deve-se lembrar de que o resultado da competitividade das empresas está focado em reduzir os custos, aumentar os lucros e melhoria dos seus processos (CORSO ET AL., 2015).

Pelo mundo são implantados diversos projetos industriais de variadas categorias, que juntos somam volumosas quantias financeiras. Avarias e

incompatibilidades durante o recebimento de itens comissionáveis, erros durante a fase de construção e montagem são comuns e acarretam perdas monetárias significativamente relevantes, deficiência no desempenho e operabilidade das plantas industriais. A prática comum do mercado é que “Obra não se encerra, se abandona”. Costuma-se iniciar tardiamente a preparação para entrada em serviço, carecendo de planejamento e integração entre as atividades de construção e montagem e a operação da planta industrial. Nesse contexto, pode-se destacar que é durante o comissionamento que ocorre o maior potencial de perdas, porque é durante esta fase que são identificadas as falhas de projetos e os erros de construção e montagem (BENDIKSEN E YOUNG, 2005).

Para Brito, Ribeiro e Matos (2010) o comissionamento é um elo integrador entre o setor de construção com o setor de operação, pois visa aplicar procedimentos técnicos de engenharia para checar e testar cada item da instalação, desde os mais específicos, como peças, instrumentos, passando pelos equipamentos e conjuntos maiores, até chegar aos de maior complexidade, como malhas, subsistemas e sistemas operacionais.

O comissionamento é atividade técnica que consiste em analisar, testar e avaliar o funcionamento de equipamentos ou instalações, nos seus componentes ou na associação desses componentes, de forma a garantir seu uso em condições normais de operação, o que difere da atividade conhecida como startup, que é basicamente o acionamento/energização de equipamentos e dispositivos de uma instalação para verificar sua funcionalidade, e não, o perfeito funcionamento conforme planejado (CONFEEA, 2007).

Tradicionalmente, o comissionamento tem sido visto como uma atividade executada um pouco antes da equipe de operação assumir o comando do sistema para a partida da planta. Contudo, o processo de comissionamento vai além da visão tradicional. O comissionamento pode ser entendido de formas diferentes pelos pontos de vista dos autores da execução e do gerenciamento. Para o comissionador, o mesmo pode ser entendido como um subprojeto ou um projeto à parte, e para o gerenciador do projeto, o comissionamento é entendido como um conjunto de ferramentas e técnicas utilizadas para o processo de controle de qualidade. A definição do comissionamento depende da aplicação industrial onde ele é realizado. A escolha do método a ser utilizado recai sobre cada tipo de processo, mas, pode ser replicada em diferentes empreendimentos (GANDRA, 2011).

O comissionamento também foi definido por Verri (2013) como sendo um conjunto de atividades destinadas à preservação e a verificação da funcionalidade de item ou sistema, e que se caracteriza pela realização de testes, verificações, aferições, calibrações, ajustes e testes de simulações sem carga.

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) especifica na NBR 16315/2014 o termo comissionamento como sendo:

Conjunto estruturado de conhecimentos, práticas, procedimentos e habilidades aplicáveis de forma integrada a uma determinada máquina, visando torná-la operacional, certificando sua operabilidade em termos de desempenho, segurança, confiabilidade e rastreabilidade de informações (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2014, p. 15).

Algumas empresas possuem procedimentos gerais ou específicos para atender as disciplinas de seus processos. A Petrobras apresenta em seu documento PG-25-SEQUIETCM/CEND as suas recomendações para a qualificação de pessoal que atua no comissionamento de instalações com instrumentação e neste documento, o comissionamento é definido como:

Conjunto estruturado de conhecimentos, práticas, procedimentos e habilidades aplicáveis de forma integrada a uma instalação, visando torná-la operacional, dentro dos requisitos de desempenho desejados, tendo como objetivo central assegurar a transferência da instalação da executante para o cliente/usuário final de forma rápida, ordenada e segura, certificando sua operabilidade em termos de desempenho, confiabilidade e rastreabilidade de informações (PETROBRAS, 2010, p.150).

De acordo com Project Management Knowledge Base (PMKB), o comissionamento tem o seguinte significado:

Processo composto por um conjunto de atividades, que visam a transferência de um empreendimento industrial para o operador comercial nas condições de segurança, performance, confiabilidade, rastreabilidade documental, custo e prazo de acordo com os requisitos contratuais. (PMKB, 2019, online).

O comissionamento pode ser entendido de diversas formas pelos pontos de vista dos autores pesquisados na literatura. A pluralidade nos conceitos leva cada comissionador a executar as atividades de comissionamento em função do seu conhecimento empírico, não existindo uma metodologia pré-estabelecida com as atividades mínimas necessárias para que o item comissionável seja considerado como comissionado.

Desta forma, a presente pesquisa visa integrar e propor as atividades mínimas necessárias para essa padronização e consolidação, pacificando as divergências das visões e conceitos, levando em consideração a aplicação das atividades mais usadas na indústria.

A aplicação dessas atividades será feita em um estudo de caso (planta piloto), para que haja identificação dos pontos de melhorias e sejam propostas soluções para estes. Diante da diversidade dos conceitos encontrados, nas mais variadas pesquisas realizadas na literatura, esse trabalho visa propor uma integração dos conceitos com uma metodologia direcionada e mais abrangente, aplicável a diversos segmentos da indústria.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

Propor uma metodologia de comissionamento padrão para aplicação em plantas industriais, levando em consideração a integração entre disciplinas e atividades mínimas a serem realizadas nos itens comissionáveis. Tal metodologia será validada em uma planta piloto de recuperação de metais valiosos.

1.1.2 Objetivos específicos

- Definir as melhores atividades aplicáveis aos itens comissionáveis de forma a garantir uma pré-operação e partida segura e com confiabilidade operacional;
- propor um macroprocesso de comissionamento que atenda a maioria dos segmentos industriais;
- avaliar a eficiência da metodologia proposta no comissionamento de uma planta piloto.

1.2 IMPORTÂNCIA DA PESQUISA

A justificativa da escolha do tema foi motivada pela necessidade de pacificação da mesma base metodológica para desenvolvimento das atividades de comissionamento, saindo do conhecimento empírico do comissionador ou do

procedimento interno de cada empresa. Na indústria brasileira e nas indústrias internacionais existem diversos segmentos industriais, com os mais variados tipos de produção. Mesmo diante de tanta diversidade industrial, toda indústria possui equipamentos comuns, tais como equipamentos rotativos, equipamentos estáticos, equipamentos elétricos, instrumentos e tubulação. A motivação é proporcionar uma opção de literatura acadêmica nessa área do conhecimento (comissionamento), tendo em vista a integração e padronização das atividades mínimas necessárias para comissionamento dos itens comissionáveis. É durante o comissionamento que ocorre o maior potencial de perdas, esta é a fase onde as falhas de projeto e os erros de construção aparecerão. O foco no processo de comissionamento deve ocorrer desde o primeiro dia do projeto.

2 REVISÃO DE LITERATURA

Foi realizada uma revisão da literatura para identificação de quais autores já desenvolveram metodologia semelhante, onde as mesmas foram aplicadas e quais as melhorias a serem feitas. A proposta de comissionamento integrado é importante para garantir a operabilidade de um equipamento, sistema ou uma planta industrial (BENDIKSEN E YOUNG, 2005). Esta é fundamental para a coordenação de técnicas de engenharia aplicadas a um item ou sistema industrial, visando torná-lo apto a operação, melhorar a comunicação entre setores do empreendimento, desde a engenharia, contratadas, suprimentos construção, montagem até a operação, fazendo com que as ações sejam integradas e tenham por objetivo a transferência do ativo em condições de pleno funcionamento (BRITO; RIBEIRO; MATOS, 2010). O comissionamento, quando bem direcionado, tem como marco a garantia da qualidade do empreendimento, reduzindo retrabalhos e desperdícios financeiros (GANDRA, 2011).

Para direcionamento desse trabalho, foram utilizadas as palavras-chave: Comissionamento Inicial, Recomissionamento, Retrocomissionamento, Comissionamento Contínuo para a pesquisa. A metodologia proposta vem complementar as citações de autores renomados cujas experiências já ajudaram a mitigar vários desvios no mundo dos projetos onde o comissionamento não é conhecido apenas como uma fase, mas, sim como um processo. Para desenvolvimento desse trabalho, foram consultadas fontes nacionais e internacionais, cujas reflexões conceituais, aliadas aos conhecimentos já existentes ajudaram a complementar uma outra visão sobre o comissionamento em processos industriais.

Nas pesquisas realizadas, foram identificados quatro tipos de comissionamento com quatro fases distintas, embasados nas publicações de Akashi *et al.* (2004) e Choinière (2011). Esses comissionamentos consistem em processos sistemáticos desenvolvidos com a finalidade de atender a uma necessidade, seja ela controle da qualidade, melhorias operacionais, otimização ou manutenção. A seguir apresenta-se uma breve abordagem sobre os quatro tipos de comissionamento e suas respectivas fases:

- a) I-Cx (Comissionamento Inicial) - Trata-se de um processo sistemático de controle da qualidade, cobrindo todas as fases produtivas e as fases

subsequentes à aceitação da performance de cada sistema operacional de processo;

- b) Retro-Cx (Retrocomissionamento) - Comissionamento implantado em uma instalação existente, que não tenha passado por processo prévio ao comissionamento;
- c) Re-Cx (Recomissionamento) - Processo implantado após o comissionamento inicial ou retrocomissionamento, quando se espera melhorias operacionais e registros documentais do desempenho e performance das instalações, sejam novas ou existentes;
- d) On-Going Cx (Comissionamento Contínuo) - Desenvolvido para atender às necessidades da manutenção e operação, otimizando e melhorando o desempenho dos sistemas e subsistemas de processo, após o comissionamento inicial ou retrocomissionamento.

Cada tipo de comissionamento é composto por quatro fases distintas: pré-projeto, projeto, construção e operação. Diferentes guias escritos por diferentes organizações em todo o mundo estão disponíveis e explicam em detalhes essas diferentes fases. Como exemplo, têm-se o Anexo 40 da Agência Internacional de Energia (AIE), que desenvolveu cinco planos padrão de Comissionamento. Esses planos são baseados no tamanho do edifício e na complexidade do sistema Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado (HVAC) e incluem listas típicas de tarefas com uma descrição do conteúdo de cada tarefa. Tais planos podem ser usados como base para definir planos de comissionamento personalizados, adaptados a um determinado projeto. Pode-se verificar essa informação no Quadro 1, com visão geral do processo de comissionamento.

De uma forma geral, é possível identificar vários conceitos e descrições para o processo de comissionamento. As ações e objetivo de um processo de comissionamento consistem em um conjunto de técnicas e procedimentos de engenharia aplicados de forma integrada a um item ou sistema industrial, visando torná-lo operacional, dentro dos requisitos necessários à sua operação de acordo com as prerrogativas do cliente.

Quadro 1 - Visão Geral do Processo de Comissionamento

Commissioning Process Overview	
Fase de pré-projeto	Selecionar um líder de comissionamento
	Reunião de comissionamento da fase pré-projeto
	Começar a desenvolver os requisitos do projeto do cliente
	Desenvolver o esboço inicial do plano de comissionamento
Fase de Desempenho	Reunião de comissionamento da fase de projeto (se a reunião de pré-projeto não ocorreu)
	Executar a revisão do projeto com foco em comissionamento
	Atualizar plano de comissionamento
	Desenvolver requisitos de comissionamento para a especificação
	Começar o planejamento dos testes funcionais das listas de verificação, do manual do sistema e dos requisitos de treinamento
Fase de construção	Reunião inicial da fase de construção
	Revisar submissões, monitorar o desenvolvimento da obra e coordenação
	Revisão O&M Manuais
	Realizar observação contínua da construção
	Executar verificações de atividades
	Executar monitoramento de diagnóstico
	Executar testes funcionais
	Elaborar relatório de comissionamento e manual dos sistemas
	Desenvolver plano de recomissionamento
	Verificar e revisar o treinamento da equipe do proprietário
Fase de ocupação e operação	Resolver problemas pendentes de comissionamento
	Executar testes sazonais / diferidos
	Realizar uma revisão quase final da garantia

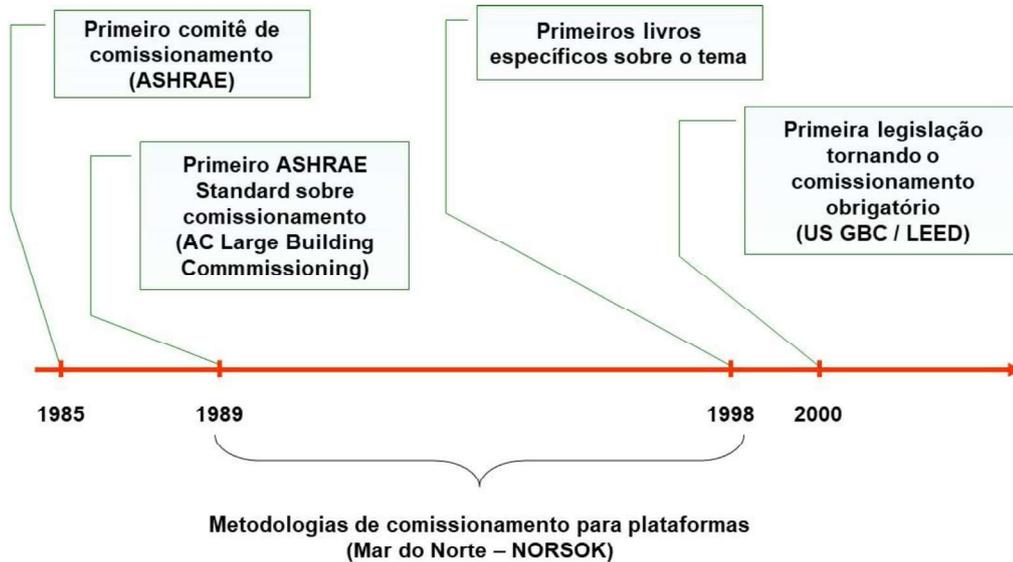
Fonte: LEGRIS ET AL. (2010).

2.1 HISTÓRICO DO COMISSIONAMENTO

De acordo Bendiksen e Young (2005), no “*Commissioning of Offshore Oil and Gas Projects*”, o comissionamento originou-se na indústria naval, assegurando a integridade e funcionalidades dos navios, quando entregues a seu serviço ativo. Por meio dos testes verifica-se todas as funcionalidades do navio ainda nas docas, antes de ser colocado ao mar. Sua aplicação na construção civil só começou nos Estados Unidos na segunda metade do século XX, no final da década de 70. “Consistentemente em uma análise de custo verifica-se que é durante o comissionamento que ocorre o maior potencial de perdas. Esta é a fase onde as falhas de projeto e os erros de construção aparecerão. Neste mesmo livro pode-se ver

através da representação (Figura 1), o surgimento do comissionamento ao longo do tempo.

Figura 1- Histórico do comissionamento.



Fonte: BENDIKSEN; YOUNG (2005).

Nos Estados Unidos em 1996 foi criada a *Building Commissioning Association* (BCxA), uma associação norte-americana dedicada ao processo do comissionamento em construção civil. A BCxA em seu site oficial apresenta um histórico temporal do comissionamento, com os principais acontecimentos e desenvolvimento no mundo. Nesse contexto, são apresentados os primeiros procedimentos e diretrizes e os países pioneiros em buscar uma padronização e metodologia voltada para o comissionamento. Na análise do histórico pode-se constatar que os primeiros passos do comissionamento após a criação da BCxA foram voltados para a construção civil, em comissionamento de prédios e sistema HVAC, visando tornar as construções de edifícios mais eficientes em termo de energia. São apresentadas algumas principais citações desse histórico, que se iniciou na década de 70, quando o governo do Canadá passou a usar, em 1977, o comissionamento em seus projetos. Em 1985 a Universidade de Wisconsin-Madison localizada nos Estados- Unidos passou a ministrar cursos de comissionamento, formando o primeiro comitê de diretriz de comissionamento da ASHRAE. Em 1989 foi publicada a primeira edição das diretrizes de comissionamento de edifícios da Administração de Energia Bonneville (BPA). O Ano de 1993 contou com alguns acontecimentos interessantes na história do

comissionamento, como o primeiro programa para certificação de comissionamento promovido pela Balanço Ambiental Nacional (NEBB), a publicação, pela National Grid, de um guia de comissionamento para clientes comerciais, e ainda, nesse mesmo ano, o desenvolvimento de um guia de especificação de Comissionamento pela universidade de Washington. Em 1994, o governo do Canadá faz mais uma contribuição significativa para a história do comissionamento, publicando o manual de comissionamento para projetos de construção de edifícios. Nesse mesmo ano, o corpo de engenheiros do exército dos Estados Unidos da América (EUA) desenvolve procedimentos de comissionamento de HVAC. A Sociedade Americana de Engenheiros de Aquecimento, Refrigeração e Ar Condicionado (ASHRAE) publicou, em 1996, as primeiras diretrizes do processo de comissionamento para HVAC. No ano de 1998 os EUA através do Departamento de Energia (DOE) e o Projeto de Gestão Ambiental Fernald (FEMP), passaram a incorporar o comissionamento como parte de reformas dos edifícios públicos federais. Ainda nesse ano a Aliança Noroeste de Eficiência Energética (NEEA) financia um programa de comissionamento de edifícios públicos e o Instituto Nacional de Ciência da Construção (NIBS) realiza workshop sobre aplicação de Comissionamento para todo tipo de edifício. Foi também em 1998 a publicação do primeiro livro sobre o tema comissionamento. O cinema foi utilizado como veículo de divulgação com a produção do primeiro filme sobre comissionamento, parceria entre DOE e a Sandia National Labs.

Em 1999, o ComEd lança o Programa de Operações e Reparos de Manutenção (MORES), que inclui o Recomissionamento, e começa a oferecer o Comissionamento como um de seus serviços de consultoria. No ano 2000, foram implantados diagnósticos integrados de comissionamento em programa de sistemas comerciais para edifícios de alto desempenho, e lançada uma pesquisa sobre atividades automatizadas de comissionamento através do desenvolvimento de software. O marco desse ano foi o programa piloto lançado pela Companhia de Gás e Energia do Pacífico (PG&E) para atualizações de eficiência energética e recomissionamento de instalações de longa duração. A FEMP, em 2002, publica o primeiro guia de comissionamento contínuo para gerentes federais. Até esse ano o comissionamento contínuo não tinha sido mencionado desde o surgimento do comissionamento na década de 70. Em 2004 o Laboratório Nacional Lawrence Berkeley (LBNL), iniciou o primeiro estudo nacional sobre os benefícios do comissionamento, em termos de economia financeira e segurança operacional. Nesse mesmo ano o Conselho de

Construção Verde dos EUA (USGBC) apresenta os primeiros pré-requisitos para retrocomissionamento da história. No ano de 2006 o estado da Califórnia-EUA, investe em larga escala no programa de recomissionamento com publicação das guias de comissionamento para edifícios novos e existentes e publicação do kit de ferramentas de comissionamento interno para pequenos edifícios. Nesse mesmo ano foi publicado nos EUA o guia de especificações para sistemas de monitoramento de desempenho. Até então o desempenho das construções comissionadas não era medido.

Entre os anos de 2007 a 2018, seguiram com novas publicações sobre recomissionamento, retrocomissionamento e comissionamento contínuos, com predominância para a construção civil, buscando melhor desempenho das novas construções, tendo como carro chefe a melhoria da eficiência energética dos novos edifícios. Instituições como a BCxA, Comissionamento Colaborativo da Califórnia (CCC), LEED, Divisão de Construção e Gerenciamento de Instalações (DFCM), USGBC, entre outras, contribuíram com essas pesquisas e publicações. Anualmente, a Conferência Nacional sobre Construção de Comissionamento (NCBC) ocorria em diferentes cidades e estados com premiações para pessoas e/ou instituições com grandes feitos voltados para o comissionamento. Nos últimos anos, os indicadores de mercado mostram crescimento no número de empresas que oferecem serviços de comissionamento. Em 2008, 267 empresas prestadoras de serviços e 665 membros se registraram no BCxA. Também houve um aumento dramático na certificação de comissionamento e treinamento fornecido pelas organizações profissionais, que indicam uma demanda dos profissionais de engenharia por mais conhecimento. Segundo Friedman *et al.* (2011), as agências governamentais também investiram em recursos para pesquisa e tecnologia, demonstrando esforço para estimular o mercado de comissionamento. Em julho de 2012, as diretrizes do Código Internacional Council (ICC) sobre Comissionamento são publicadas. No ano de 2018, mais precisamente em outubro, ocorreu o 20º aniversário da BCxA, onde a pauta da discussão era a necessidade de mais investimento para melhorar significativamente a eficiência energética do edifício existente, atender às metas de baixo consumo de energia para novas construções e atender à escassez projetada de provedores qualificados e certificados para o comissionamento.

2.2 FASES DO COMISSIONAMENTO

A estrutura do comissionamento pode ser direcionada de acordo com o modelo adotado em cada empreendimento. No entanto, o planejamento do comissionamento define as diretrizes para a organização, coordenação e controle das atividades de comissionamento. O objetivo é estabelecer as condições de realização dos serviços de comissionamento, em termos de organização, responsabilidades, procedimentos gerenciais, gestão do tempo e dos recursos, podendo ser dividida conforme representado na Figura 2 em: Recebimento de Itens Comissionáveis, Preservação de Itens Comissionáveis Por Categoria, Condicionamento de Itens Comissionáveis Por Categoria, Pré-operação & partida e Operação Assistida (PETROBRAS, 2010).

Figura 2 - Macro fluxo do processo de comissionamento



Fonte: PETROBRAS (2010).

Fase 1: Recebimento de Itens Comissionáveis. Todo equipamento, instrumento e sobressalentes, independente da sua origem de aquisição deve ter uma conferência quantitativa e qualitativa no recebimento. Cabe à supervisão do almoxarifado efetuar esta conferência, bem como a recepção de toda a documentação técnica, entregue junto com os equipamentos, executando, sempre que possível, a conferência antes do descarregamento. A conferência de recebimento se inicia com a verificação visual da embalagem e/ou dos equipamentos ainda sobre o veículo transportador de modo a observar qualquer ocorrência de excesso, falta ou danos e avarias que os mesmos tenham sofrido durante o transporte (PETROBRAS, 2010). Em caso de identificação de avaria, é emitido Relatório de Não Conformidade (RNC) e dependendo da intensidade da mesma os equipamentos são rejeitados, não sendo permitida a descarga destes.

Fase 2: Preservação dos Itens Comissionáveis por Categoria. Para Souza (2013), nesta fase estão presentes o conjunto de atividades efetuadas sobre os itens comissionáveis, visando mantê-los em boas condições de conservação, desde o momento de sua saída da fábrica até o momento de sua preparação para partida

(quando é substituída pela manutenção). Essas preservações devem seguir as recomendações do fabricante e melhores práticas de preservação. Para boa parte dos itens comissionáveis, a preservação adequada é pré-requisito para que a garantia do fabricante seja assegurada.

Fase 3: Condicionamento de Itens Comissionáveis por Categoria. Segundo Souza (2013), essa fase do comissionamento consiste no conjunto de atividades de campo executadas durante a fase de construção e montagem, com o objetivo de assegurar que todos os itens comissionáveis atingiram o estágio de Completação Mecânica, encontrando-se prontos para iniciar o processo de Pré-Operação & Partida. As atividades de condicionamento são realizadas nas fases de fabricação, construção civil e montagem eletromecânica e incluem o recebimento, armazenamento, preservação, inspeção mecânica e funcional, calibração e aferição, teste hidrostático e pneumático, *flushing*, limpeza de linhas, limpeza química, testes de malha, testes elétricos e outras, para todos os itens dos sistemas e subsistemas do empreendimento.

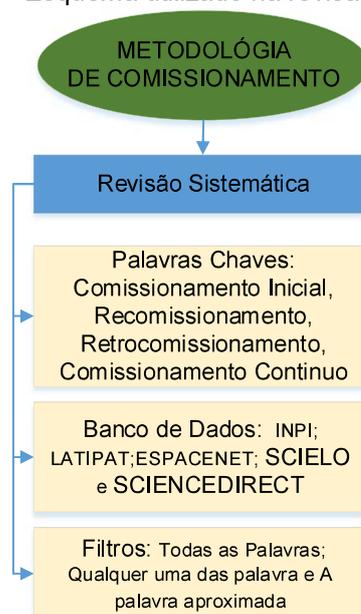
Fase 4: Pré-operação & Partida. Para Souza (2013), essa fase compreende o conjunto de atividades de campo executadas sobre itens comissionáveis, malhas, subsistemas e sistemas, com o objetivo de levá-los da Completação Mecânica até o estágio de Operação Plena. A pré-operação engloba todos os testes e verificações realizados com emprego de energia, pressão e fluidos, mas sem passagem ou geração de produtos e os Testes de Aceitação de Performance (TAP) dos Subsistemas Operacionais de Processo (SSOP) e dos Sistemas Operacionais de Processo (SOP). Quando realizados todos os TAP com sucesso, a instalação está liberada (apta) à partida.

Fase 5: Operação Assistida. Segundo Souza (2013), essa fase trata-se do último processo do comissionamento, consistindo na prestação de assistência técnica à Equipe de Operação do empreendimento por parte da equipe de comissionamento. Inicia-se a partir da aprovação de cada TAP em cada SOP. Esta assistência pode estender-se por um prazo pré-definido ou até o atendimento a algum requisito fixado em contrato. O encerramento da Operação Assistida representa, via de regra, a finalização do escopo dos serviços do processo de comissionamento.

2.3 METODOLOGIAS DE COMISSIONAMENTO

Na pesquisa realizada durante o desenvolvimento do presente trabalho (Figura 3), através de uma revisão sistemática de literatura, foram identificados os métodos de comissionamento existentes. Foram estabelecidos os critérios: i) descritores de busca – Comissionamento Inicial, Recomissionamento, Retrocomissionamento, Comissionamento Contínuo; ii) base de dados – Scielo (www.scielo.org.br), Sciencedirect (www.sciencedirect.com), Instituto Nacional da propriedade Industrial (INPI) (<http://www.inpi.gov.br/>), LATIPAT (<https://lp.espacenet.com/>); iii) período de busca de 2009 à 2019; iv) filtros de busca – atribuição de questões para serem respondidas quanto à existência e discussão do tema no título, resumo e corpo do artigo ou patente. Durante as pesquisas foi criado um controle contendo as informações principais das patentes, artigos, monografias e dissertações pesquisados, cujo intuito era analisar conteúdo relacionado com o tema desta pesquisa, em termos de metodologia existente de comissionamento ou embasamento teórico para fundamentação da revisão bibliográfica, que é a base desse trabalho. Serão citadas as principais autorias pesquisadas, cujo assunto abordado em suas publicações, apresentou alguma contribuição direta ou indireta para desenvolvimento desse trabalho acadêmico.

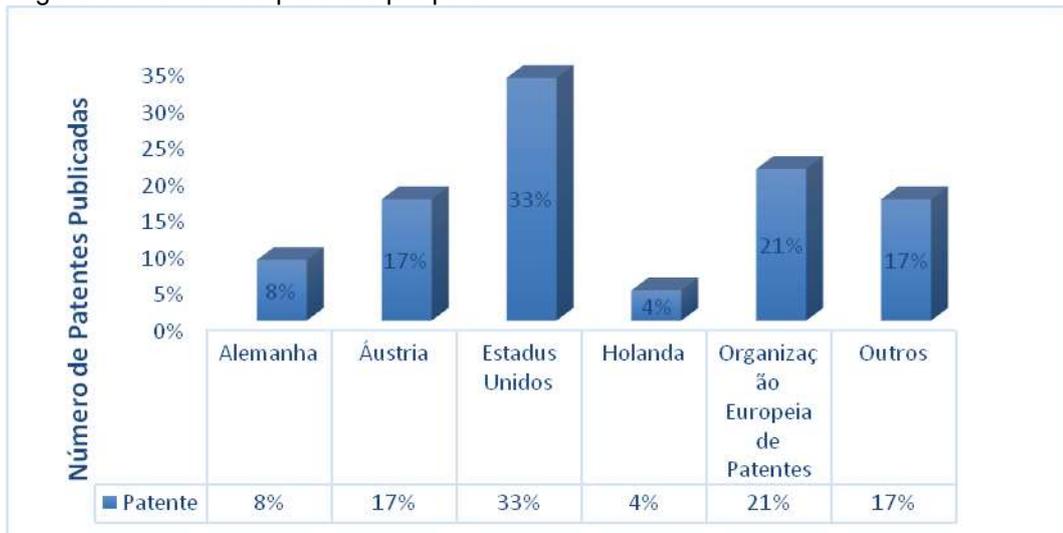
Figura 3 - Esquema utilizado na revisão sistemática.



Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Nos artigos e patentes pesquisadas não foram localizadas metodologias integradas de comissionamento, que se aplicassem em diversos segmentos da indústria, ou até mesmo que servissem como embasamento para o comissionamento contínuo, recomissionamento e retrocomissionamento, base desta pesquisa. Foi identificado que os trabalhos desenvolvidos possuíam aplicações específicas em função da sua necessidade, atendendo apenas a um interesse específico, não sendo flexíveis, voláteis em sua aplicação. Na Figura 4, pode-se identificar que há uma política de desenvolvimento da engenharia de comissionamento, concentrada em poucos países, em função do número de patentes publicadas. Percebe-se que países como Estados Unidos e a própria União Europeia concentram um número superior de publicações em relação a todos os demais países do mundo. Serão destacadas citações de alguns desses trabalhos.

Figura 4 - Número de patentes por país



Fonte: SOUZA E GUARIEIRO (2018).

Merrill *et al.* (2017) desenvolveram um sistema de comissionamento para integração de produtos entre a parte fabricante e a parte comerciante. Esse sistema determina os fatores associados à transação de múltiplas partes que compreendem: o preço de aquisição; a identidade e características do comerciante fornecedor; a identidade e características do fabricante. O sistema utiliza uma parte dos dados coletados de pelo menos um dos fatores, para direcionamento do produto em função da necessidade do comerciante distribuidor até chegar ao cliente final.

Nancy *et al.* (1999) desenvolveram um sistema para comissionamento de serviços de telecomunicações. Esse sistema contava com ferramentas para formação

de um programa de lógica e controle de serviços. A base do sistema era concentrar em um nó de rede o recebimento e distribuição da lógica dos serviços.

Wünscher e Freudelsperger (1999) implantaram um sistema logístico de comissionamento para fornecimento automático de itens “alongados”. Exemplo de item alongado foi o pacote de cigarros. O sistema desenvolvido era controlado através de computador do local de armazenamento, integrado com a estação de transferência e um percurso classificado, que é desenvolvido pelo transporte coletor, seguindo determinações previamente definidas pelo sistema de comissionamento.

Hellenbrand (2018) desenvolveu um sistema de comissionamento, que tinha como base o armazenamento e distribuição de produtos, organizados por fileiras seguindo uma ordem de armazenamento. Para se formar o eixo de armazenamento as prateleiras precisavam de alguns requisitos de montagem, como ser horizontais, possuir pelo menos uma segunda fileira, ser uma em cima da outra etc. Para isso, uma unidade de controle era acoplada à unidade de operação, sendo configurada para a saída de produtos em partes idênticas que se encontrassem em uma fileira a partir das superfícies de prateleira horizontais, transferindo os produtos para o dispositivo de saída auxiliar.

Asiwaju e Thomsen (2019) desenvolveram um sistema de comissionamento capaz de analisar através dos recursos disponíveis no equipamento os parâmetros de desempenho, com o objetivo de mapear dados e gerar mapas de desempenho, descrevendo o comportamento esperado dos parâmetros de desempenho dos recursos do equipamento. Com o mapa de desempenho individual por equipamento e o tempo de testes, o sistema realizava atividades como comissionamento contínuo, monitoramento e verificação, manutenção preventiva, detecção de falhas e diagnósticos, bem como análise comparativa de desempenho de energia e monitoramento a longo prazo.

Marchette e Oliveira (2017) desenvolveram um estudo da contribuição do comissionamento para um bom resultado de segurança durante a transferência de um terminal de armazenamento de combustível. Os autores concluíram pela importância da aplicação do comissionamento como gestão eficaz para realização dos testes funcionais, garantindo uma confiabilidade na operação e transferência do ativo para seu cliente.

Nas pesquisas realizadas para desenvolvimento deste trabalho contou-se com embasamento no trabalho dos autores Ney e Fortes (2017), cuja publicação teve

relevância e aplicação neste trabalho, pois o conteúdo abordado demonstra uma metodologia de comissionamento voltada para a indústria de óleo e gás, particularmente para a gaseificação. De acordo com os autores, um comissionamento bem executado é fundamental para a redução de custo e tempo de trabalho, assim como a previsão de possíveis falhas de projeto e montagem.

Araújo (2015), propôs em sua pesquisa que a engenharia do comissionamento fosse modelada para ser incorporada como área de extensão do Project Management Body of Knowledge (PMBOK). Para o autor, o objetivo de uma planta industrial não se limita à sua construção e montagem, mas, tem como finalidade a operabilidade da mesma. A engenharia de comissionamento pode contribuir para que as empresas possam maximizar ganhos, minimizar riscos, e obterem vantagem competitiva através da adoção de uma prática disciplinada e ordenada de comissionamento, através de uma metodologia previamente definida.

Laurindo *et al.* (2017), desenvolveram um modelo de simulação de eventos discretos com base em um software existente, integrando com um controlador lógico programável (CLP), para aplicação em sistemas de controle de áreas fabris. Para os autores, o comissionamento de plantas industriais é uma das etapas realizadas nos projetos de engenharia que visam a garantir o pleno funcionamento dos equipamentos, máquinas e sistemas de controle. O comissionamento é realizado através de um conjunto de procedimentos e testes que tornam a unidade industrial apta ao pleno funcionamento. Seu objetivo principal é assegurar, de forma coordenada e segura, a transferência da unidade industrial do projetista para o operador.

Costa *et al.* (2014), desenvolveram um método para propor um procedimento específico para o comissionamento de redes de instrumentação sem fio, usando boas práticas de comissionamento existentes. Atualmente o processo de comissionamento em sistemas de automação industrial está passando por uma transformação para superar as lacunas existentes entre a montagem e a entrega dos equipamentos para operação. Nesse contexto, a instrumentação sem fio está cada vez mais ganhando terreno no desenvolvimento de protocolos de comunicação e com isso, merece técnicas de comissionamento adequadas para este fim.

King (2012), apresentou em sua publicação uma ideia de gestão de projeto com o foco no processo de comissionamento de uma forma sintética e organizada, com aplicação no segmento de óleo e gás, voltados para plataformas *off-shore*. Para o

autor, o comissionamento pode ser definido como um processo orientado para a qualidade, onde se deve verificar e documentar que a performance dos sistemas e equipamentos atingiram o objetivo e critérios estabelecidos. De acordo com o autor, há um problema comum nas diversas obras de grande porte, que é a falta do planejamento estruturado focado no processo do comissionamento. Quando a obra tem planejamento seguindo as melhores práticas é possível estabelecer um modelo analítico e estruturado para a realização das atividades, o que resulta em otimização de tempo e garantia de funcionalidade. Esse planejamento deve ser multidisciplinar e apoiado por softwares de planejamento, para subsídio à equipe de comissionamento e planejamento.

Através da revisão sistemática foram identificadas as metodologias de comissionamento aplicadas atualmente, onde estas foram utilizadas no desenvolvimento de um novo modelo integrado e sistemático de comissionamento. Dessa forma, a seguir serão detalhadas as metodologias encontradas na literatura.

Nas pesquisas realizadas, foi possível constatar que a metodologia de comissionamento tem como locomotiva a aplicação em sistemas de construção de edifícios, com objetivo de melhorar sua eficiência energética e a funcionalidade de acordo com o projeto. Já nos demais segmentos da indústria nacional e internacional, as metodologias de comissionamento estão em desenvolvimento, com um destaque para o segmento de óleo e gás, que possui uma política madura e estruturada sobre comissionamento. A área de óleo e gás está focando no papel integrador do comissionamento, integrando os diversos setores do empreendimento, contratada, engenharia, construção & montagem, suprimentos e operações (BENDIKSEN E YOUNG, 2005)

Nas metodologias identificadas pode-se destacar: (i) a visão operacional onde a instalação ou empreendimento deve operar de forma integrada, estável e segura; (ii) a hierarquia de sistema, onde a instalação é um conjunto de sistemas operacionais que executam o processo desejado segundo uma lógica definida; e (iii) o avanço progressivo ascendente, onde o comissionamento se inicia ao nível dos itens comissionáveis e segue uma sequência lógica, passando pelas malhas, subsistemas e sistemas operacionais de processo. A sequência de validação do comissionamento se inicia com os itens individuais e depois com a associação dos mesmos, o que se identifica como malhas. O conjunto das malhas formam os Subsistemas Operacionais de Processo (SSOP) e o conjunto dos SSOP formam os Sistemas Operacionais de

Processo (SOP). Essa metodologia visa a garantir funcionalidade da instalação e essa integração de SOP forma o empreendimento, começando pelo menor item que é o item comissionável.

O comissionamento requer uma metodologia, para assegurar que os sistemas sejam instalados e testados de modo a possibilitar sua operação com: segurança, desempenho, confiabilidade, previsibilidade e rastreabilidade das informações. A Figura 5 mostra que a funcionalidade total da planta depende de estágios consistentes do Comissionamento.

O Comissionamento não deve ser considerado fase onde os atrasos da obra serão recuperados (BUZZETI E COUTINHO, 2020). É fundamental que a equipe participe parcialmente desde a fase de Engenharia e Planejamento e integralmente na Construção e Montagem eletromecânica. Muitos ajustes serão mais fáceis de serem realizados e problemas de fabricação e conservação poderão ser constatados com antecedência. O Handover (passagem) entre a equipe de implantação para a equipe de Operação e Manutenção deve ser feito de forma estruturada, envolvendo toda a documentação dos testes, especificidades de funcionamento dos equipamentos e formalização de eventuais pendências. Como benefício, é possível uma melhor aderência ao plano de operação durante a fase Ramp-up (construção), alcançando de forma mais rápida a curva de produção nominal para o empreendimento.

Figura 5 - A funcionalidade total da planta (empreendimento) depende de estágios consistentes do Comissionamento.



Fonte: BUZZETI E COUTINHO (2020)

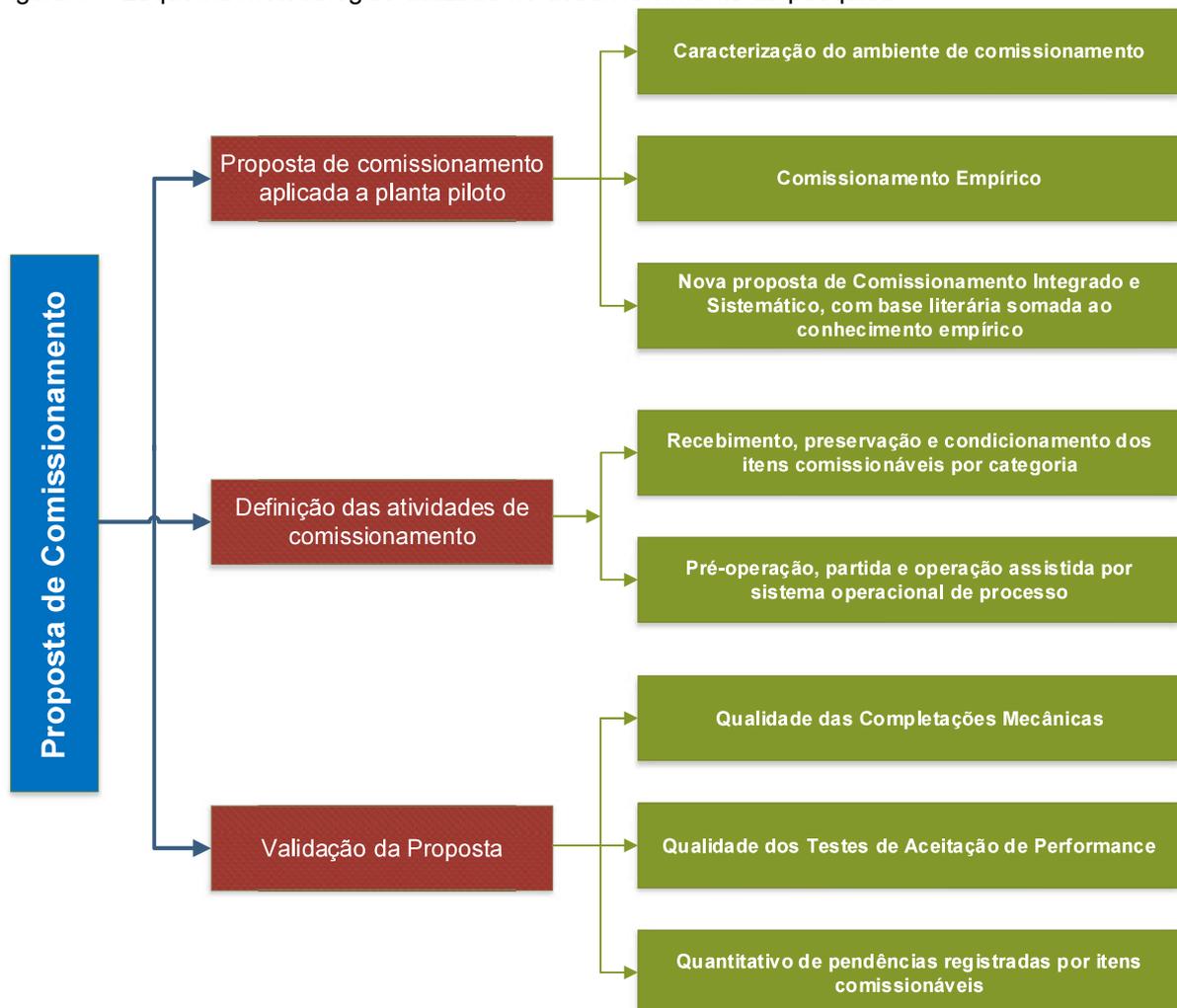
Utilizando a planta piloto de Recuperação de Metais Valiosos (RMV), foi realizada uma análise de quais atividades mínimas seriam necessárias para se colocar um equipamento apto para entrada em operação, levando em consideração a segurança dos equipamentos e das pessoas e a disponibilidade e operabilidade dos equipamentos e instrumentos, os quais aqui serão chamados de itens comissionáveis. Após as pesquisas realizadas nos artigos, patentes, trabalhos de conclusão de curso, dissertações e teses foi identificada a necessidade de integração das atividades a serem realizadas nos itens comissionáveis, não se limitando ao conhecimento empírico de cada comissionador. Nesse contexto se deslumbra a necessidade da criação de uma metodologia integrada e sistemática de comissionamento para os itens comissionáveis comuns a todo empreendimento, independente do segmento industrial. Esses itens comissionáveis são das disciplinas de tubulação, equipamentos rotativos, equipamentos estáticos, elétrica e instrumentação/automação, cuja aplicação é indispensável em qualquer empreendimento industrial.

3 METODOLOGIA APLICADA

O Desenvolvimento metodológico do presente estudo foi realizado seguindo as etapas presentes na Figura 6. O desenvolvimento de um macroprocesso de comissionamento foi realizado visando a atender a maioria dos segmentos industriais, em termo de etapas para a realização das atividades de comissionamento.

No estudo de caso foram utilizadas as melhores atividades aplicáveis aos itens comissionáveis. Essas atividades foram selecionadas com base no conhecimento empírico dos comissionadores, fundamentação teórica das literaturas pesquisadas, as melhores práticas recomendadas e lições aprendidas do comissionamento anterior.

Figura 6 – Esquema metodológico utilizado no desenvolvimento da pesquisa



Fonte: Elaborado pelo autor (2020)

3.1 PROPOSTA DE COMISSIONAMENTO

3.1.1 Caracterização do Ambiente de Comissionamento

O objeto de estudo da presente pesquisa para desenvolvimento e aplicação da nova metodologia de comissionamento foi uma planta piloto de RMV. Seus principais equipamentos são: forno, Lança de Topo Submersa (TSL), queimador auxiliar, resfriador adiabático, filtro de mangas, resfriador secundário, trocador de calor a ar, lavadora de gases, exaustor e chaminé (Figura 7).

Figura 7- Planta Piloto de Recuperação de Metais Valiosos



Fonte: Elaborado pelo autor (2020)

O desenvolvimento do projeto RMV foi motivado com objetivo de reduzir o passivo ambiental, e eliminação dos custos e riscos envolvidos na disposição de resíduos de mineração e necessidade de aumento do rendimento metalúrgico das mineradoras. Para realizar a recuperação de metais como zinco, chumbo, índio e prata, foi projetada e montada a planta piloto de RMV, utilizando rota Pirometalúrgica. Foram processados três tipos de materiais na planta de recuperação de metais valiosos. Dois resíduos, a Jarosita e o resíduo de Chumbo-Prata e o Concentrado de chumbo, que não se trata de um resíduo e sim de um produto com valor agregado

produzido por empresas mineradoras. O processo utilizado para a recuperação dos metais de interesse (Valiosos) envolve duas etapas: uma etapa de oxidação e uma etapa de redução do material que foi processado.

O concentrado de chumbo e o resíduo de chumbo-prata foram processados conjuntamente. Para estes materiais o processo compreende as duas etapas: uma etapa de oxidação, onde a maior parte dos sulfetos são oxidados, liberando energia para a fusão de parte da matéria prima alimentada. O restante da energia necessária foi obtido através da queima de combustível. Após a fusão do material ocorrerá a formação de duas fases, o bullion, que na sua maior parte trata-se de chumbo fundido ($94\% < \text{chumbo} < 99\%$), e uma escória com aproximadamente 40% de chumbo na forma de óxido de chumbo. Essas duas fases são separadas por diferença de densidade. O bullion, material mais denso, será depositado no fundo do forno, e a escória, menos densa, ficará sobre o bullion. Após a etapa de oxidação, tem início a etapa de redução da escória. Durante essa segunda etapa o óxido de chumbo foi reduzido a chumbo metálico e decantado havendo, dessa forma, nova separação de fases, e após novo vazamento de metal, resta no forno apenas escória ao final desta etapa, com aproximadamente 4% de chumbo. Parte dessa escória servirá de lastro para o início de uma nova batelada.

Em ambas as etapas há pequena volatilização de metais que são oxidados e precipitados como óxidos ao entrar em contato com o ar na região superior do forno. Esse material segue o fluxo dos gases gerados, juntamente com as poeiras arrastadas, rumo ao sistema de tratamento de gases. Esta corrente de gás e sólidos foi resfriada, filtrada e lavada com o objetivo de recuperar o material particulado contido e garantir a emissão de um gás livre de qualquer contaminação para a atmosfera.

Neste processo o produto de maior interesse está na fase metal, formada e retirada em ambas as etapas. A escória final e o pó recolhido no filtro de mangas e no resfriador serão analisados para a avaliação da eficiência do processo e do balanço material. O material particulado recuperado no sistema de gases foi reutilizado como parte do Blend de matérias-primas utilizados para os testes.

Quanto à Jarosita, o processo compreendeu apenas a etapa de redução, sendo usado o coque de petróleo como agente redutor. Da mesma forma que no processo anterior, há a formação de metais volatilizados, porém em quantidade bem maior. Ao entrar em contato com ar na região superior do forno, são oxidados e precipitam na

forma de óxidos. Esta corrente de gás e sólidos será resfriada, filtrada e lavada com o objetivo de recuperar o material particulado contido, e garantir a emissão de um gás livre de qualquer contaminação para a atmosfera. Neste processo os produtos de interesse estão no pó recolhido no filtro de mangas. Em ambos os processos a escória é descartada e resfriada na saída do forno.

Todo o processo de oxidação/redução/volatilização ocorre em um forno revestido internamente com refratário. A carga é alimentada na parte superior do forno, através de uma esteira. A esteira, por sua vez, é alimentada através de dosadores helicoidais. A mistura de alimentação é composta pelo concentrado chumbo/resíduo Chumbo-prata + sílica + calcário + água, no primeiro caso, ou Jarosita + sílica + calcário + água + coque, no segundo caso.

O aquecimento do forno é realizado pela queima de Gás Liquefeito de Petróleo (GLP) e com Ar Comprimido enriquecido com oxigênio, em volume. Todo processo é instrumentado com monitoramento e controle de temperatura, pressão manométrica, pressão diferencial e vazão. Toda a planta é automatizada, dispondo de Controlador Lógico Programável (CLP) e sistema supervisorio com estação de operação e controle.

3.1.1.1 Sistemas Operacionais de Processo (SOP)

A planta piloto de RMV é dividida em três SOP para fins de operação e controle, sendo eles: Sistema de Utilidades, Sistema Pirometalúrgico e Sistema de Tratamento de Gases. O SOP é composto por equipamentos, tubulações e instrumentos cujo funcionamento conjunto produz ou mantém o processo, utilidade e condição de segurança ou facilidade operacional da planta piloto (Quadro 2).

Quadro 2- Sistemas Operacionais de Processo da planta piloto de RMV

SOP	DESCRIÇÃO
Utilidades	Responsável por garantir suprimentos d'água, ar comprimido e gases para a queima da planta.
Pirometalurgia	Responsável pela fundição de matéria prima e pelo fracionamento do material fundido, permitindo a separação do bullion (chumbo fundido (94% < Pb < 99%) e da escória

	por diferença de densidades. Essa área engloba o forno de fundição, o sistema de queima e os equipamentos periféricos necessários ao processo de fundição.
Tratamento de gases	Responsável por reduzir a temperatura e filtrar particulados e resíduos tóxicos presentes nos gases expelidos pelo forno. Nessa área estão instalados uma série de resfriadores, um filtro de mangas e uma lavadora de gases, para garantir que as emissões de poluentes estejam de acordo com a legislação ambiental brasileira.

Fonte: Elaborado pelo autor (2020)

Além disso, a planta piloto de RMV é caracterizada por SSOP, os quais foram divididos a critério da construção e montagem da planta, para facilitar as atividades de preparação para funcionamento, desde que o mesmo possa operar de forma independente, conforme apresentado no Quadro 3.

Quadro 3 - Caracterização dos subsistemas da planta piloto de RMV

SOP	SSOP	Descrição
Utilidades	Sistema de água	Composto pelo tanque de água e pela bomba de água. A bomba injeta água no header que alimenta a lança do forno, os resfriadores e a lavadora de gases.
	Sistema de ar comprimido	Composto por um compressor, secador, tanque pulmão e filtros. O compressor alimenta o cavalete de ar comprimido, assim como o ar necessário para a geração de chama na lança e no queimador piloto.
	Sistema de Gases	Composto por oxigênio e gás natural, cujo fornecimento é de responsabilidade da concessionária local. Os gases alimentam os cavaletes de gás natural e o cavalete de oxigênio, trabalhando em conjunto com o ar comprimido produzindo a mistura para viabilidade da chama da lança e do queimador piloto.
Pirometalurgia	Sistema de Chama	Composto pela lança, queimador e todos os instrumentos que injetam e regulam os gases para queima. Assim como, os instrumentos que regulam o fornecimento de utilidades. Todas as instalações dos instrumentos desse sistema foram inseridas no cavalete de gases.
	Sistema do Forno	O forno é o principal equipamento da planta piloto de RMV, onde ocorrem as reações de redução necessárias ao

		processo produtivo. O sistema do forno compreende o forno, o cadinho, os atuadores eletromecânicos responsáveis pelos movimentos de ambos e todos os instrumentos envolvidos nesse processo.
	Sistema do Painel de Comando	Responsável por todos os comandos de movimentação do forno e da lança em campo. A operação local através desse painel permitiu ao operador melhor visibilidade para as manobras de basculamento do forno e içamento da lança.
	Sistema de Dosagem	Composto pelos dosadores, suas respectivas balanças e pela esteira de carga, cuja principal função do conjunto é dosar a quantidade de matéria prima a ser colocada no forno.
Tratamento de Gases	Sistema de Tratamento de Gases	Composto pelo resfriador adiabático, filtro de mangas, resfriador secundário, trocador de calor a ar, lavadora de gases, exaustor e chaminé. O processo de tratamento dos gases se inicia no resfriador adiabático, onde os gases que saem do forno expandem, diminuindo a velocidade, e conseqüentemente separando-se de parte das partículas arrastadas, que serão recolhidas no fundo do resfriador. Um sistema de spray – chuveiro de água com ar comprimido - é utilizado continuamente para ajustar a temperatura dos gases fazendo com que os mesmos cheguem ao filtro de mangas dentro dos limites permitidos

Fonte: Elaborado pelo autor (2020)

3.1.1.1.1 *Malhas de Monitoramento e Controle*

As malhas de monitoramento e controle da planta piloto de RMV foram divididas levando em consideração a funcionalidade de cada SSOP. A maioria das malhas da planta são malhas abertas para monitoramento das variáveis de processo, tais como pressão e temperatura para vazão de gás natural e oxigênio. As malhas de atuação são de controle para fins de segurança de processo. A descrição e categorização das malhas de monitoramento e controle da planta piloto de RMV estão descritas no APÊNDICE A.

3.1.1.1.2 Itens Comissionáveis que compõem as Malhas

Os itens comissionáveis da planta piloto de recuperação de metais valiosos são: componente ou equipamento mecânico, tubulação, elétrico, de instrumentação ou de automação cujo processo de comissionamento foi necessário para garantir a condição de operabilidade da planta. Todos os itens existentes na planta foram codificados individualmente (TAG). Ver itens comissionáveis nos APÊNDICES B e C.

3.2 COMISSIONAMENTO EMPÍRICO

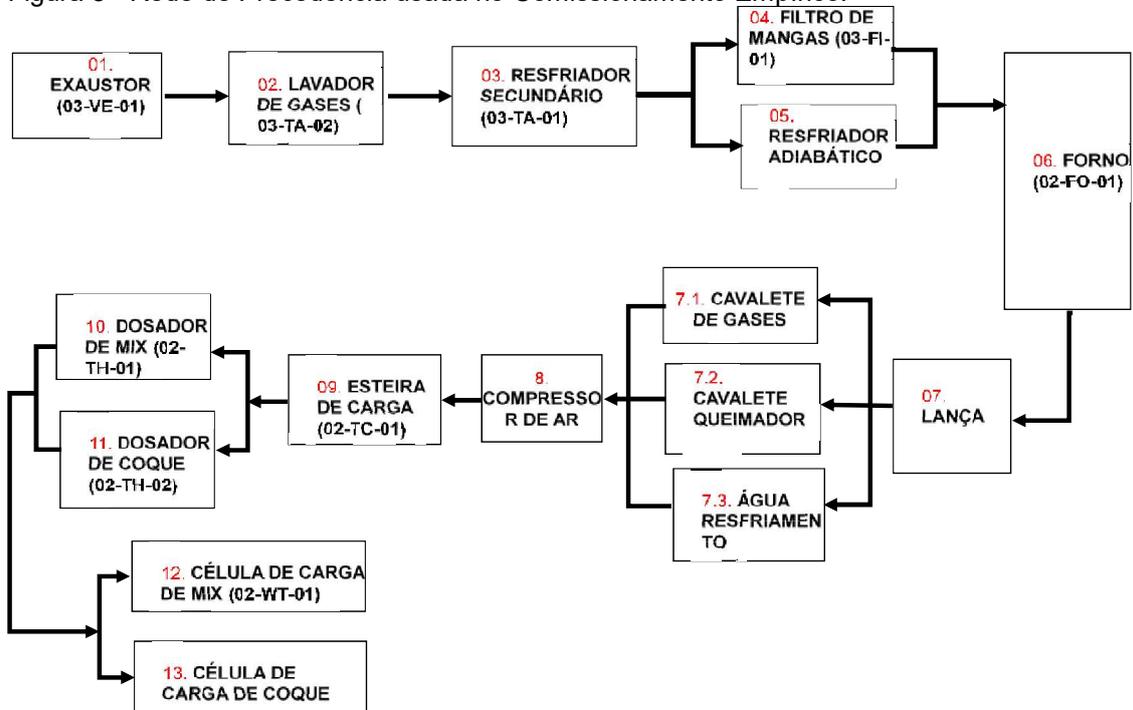
A planta piloto de RMV foi projetada, construída, montada e comissionada pela equipe de colaboradores do SENAI CIMATEC, onde são desenvolvidos projetos de inovação tecnológica, seja para um produto ou processo. Esse perfil de atividade em 2015 se encontrava em desenvolvimento na instituição, necessitando de amadurecimento e desenvolvimento de procedimentos para a realização de montagens e comissionamento de unidades piloto. As atividades realizadas na primeira montagem e comissionamento da planta piloto de RMV, contaram com a experiência dos colaboradores, recém contratados pelo SENAI CIMATEC naquele período: profissionais de caldeiraria, química, mecânica, elétrica, instrumentação e automação. A equipe de automação possuía um dos membros com conhecimento empírico em comissionamento de plantas industriais nas áreas de óleo & gás, química, álcool & açúcar, com trabalhos desenvolvidos para empresas nacionais e internacionais, com atuação *on-shore* e *off-shore*.

A experiência dos colaboradores permitiu que a planta piloto de RMV fosse montada e comissionada, mesmo com dificuldade de recursos e compreensão da maioria dos envolvidos. O comissionamento não seguiu procedimentos e metodologias propostas por literaturas, nem foram realizadas todas as atividades de testes que deveriam acontecer para validação, devido à falta de equipamentos (ferramentas especiais) para a realização do comissionamento, tais como: Gerador de pressão (PRESYS), bomba de pressão manual, megômetro, ponte Kelvin, forno de temperatura etc. Para a realização dos Loop testes foi utilizada uma programadora Hart 375 emprestada. Foi concebido pela equipe de química e a equipe de automação

uma rede de precedência (Figura 8), para direcionar a sequência dos testes e alocação da equipe de comissionamento, que estava reduzida. Os demais documentos foram os elaborados durante a fase do projeto detalhado e os documentos fornecidos pelos fornecedores e fabricantes.

Durante o recebimento dos itens comissionáveis não foi realizada inspeção qualitativa, nem emissão de RNC. Foi checado apenas quantidade e compatibilidade com a Nota Fiscal (NF), após o recebimento do item comissionável. Não foi usada política de preservação, apenas armazenamento, até o momento da montagem do item. Na fase de condicionamento foi realizado loop teste utilizando a programadora Hart Emerson 375, simulado sinal de corrente de 4 a 20 mA, para os instrumentos da planta. Quanto aos equipamentos rotativos, foram realizados teste de alimentação elétrica e teste de sentido de giro dos motores. As tubulações e equipamentos estáticos, quando possível, foram testadas com água para verificação de vazamentos. Os equipamentos de automação foram testados com a rede ethernet, comunicação entre campo e sala de controle.

Figura 8 - Rede de Precedência usada no Comissionamento Empírico.



Fonte: Elaborado pelo autor (2020)

A falta de equipamento para realização dos testes de condicionamento gerou impacto negativo, bem como pendências que necessitaram de tratamento antes da NDI-01

partida da unidade. Os testes essenciais de malhas utilizaram variáveis de processo nas condições de trabalho. Para que fossem realizados os testes de aceitação de performance, foram utilizados produtos do processo, tais como: gás natural, oxigênio, água de processo, ar comprimido e ar de instrumentos. O caso mais crítico de pendência ocorreu com o compressor de ar, usado para ar comprimido e ar de instrumentos, o mesmo por mau dimensionamento foi substituído três vezes por não alcançar a vazão necessária ao processo. Todas as pendências impeditivas e não impeditivas à partida e operação da planta piloto de Recuperação de Metais valiosos no município de Simões Filho (BA) em 2015 tiveram suas ocorrências catalogadas e quantificadas para comparativo futuro com as pendências geradas após a aplicação de uma metodologia estruturada para o comissionamento da planta piloto de RMV.

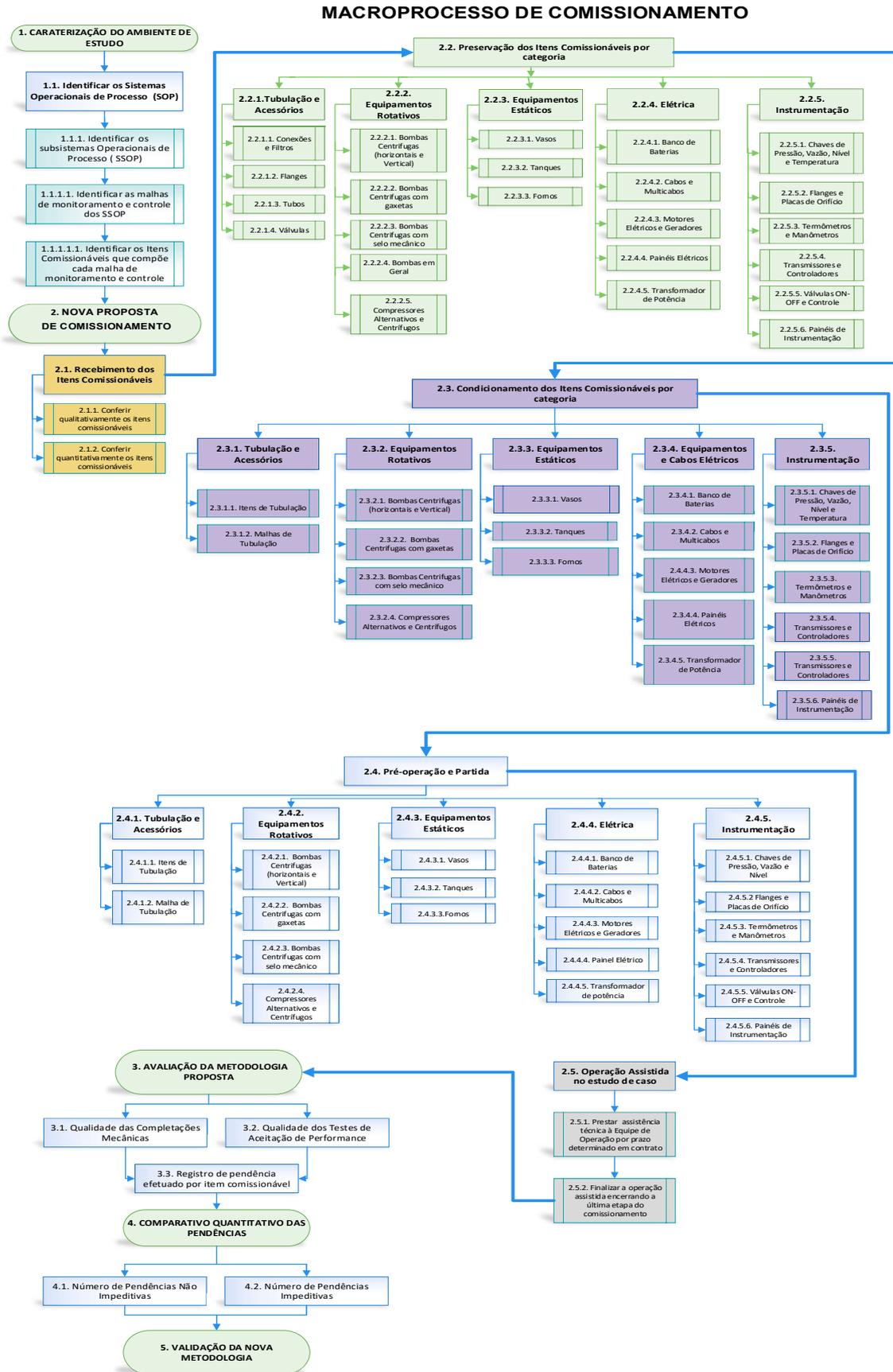
3.3 NOVA PROPOSTA DE COMISSIONAMENTO INTEGRADO E SISTEMÁTICO, COM BASE LITERÁRIA SOMADA AO CONHECIMENTO EMPÍRICO

A segunda montagem da planta piloto de RMV no CIMATEC PARK, localizado no município de Camaçari (BA) em 2019, contou com profissionais habilitados, lições aprendidas do comissionamento anterior, equipamentos (ferramentas especiais), pesquisa literárias, procedimentos, folhas de testes e um fluxograma do macroprocesso do comissionamento, desenvolvido para aplicação na planta piloto e em outros empreendimentos independente do segmento industrial (ver Figura 9).

As atividades de comissionamento para cada item comissionável foram definidas em reunião com a equipe de comissionamento e a gestão do projeto, que através de seu conhecimento e fundamentação teórica, embasadas pelas pesquisas realizadas, direcionou as atividades mínimas necessárias para garantir a funcionalidade dos itens comissionáveis por categoria, com sua integração às malhas de monitoramento e controle, subsistemas operacionais e sistemas operacionais de processo, dos quais os mesmos fazem parte.

O objetivo principal era verificar após o comissionamento integrado e sistemático o quantitativo de pendências geradas, para que fosse comparada a eficiência do comissionamento integrado e sistemático versus o comissionamento empírico. As etapas do comissionamento integrado e sistemático aplicado à planta piloto de RMV em 2019, podem ser visualizadas na Figura 9.

Figura 9 - Fluxograma do Macroprocesso de Comissionamento Aplicada a Planta Piloto de RMV.



Fonte: Elaborado pelo autor (2020)

O macrofluxo de processo de comissionamento desenvolvido para aplicação na Planta Piloto de RMV, possui 5 (cinco), etapas distintas, onde cada etapa é detalhada a nível de composição e não de atividade a ser executada, no entanto, a representação é genérica e flexível para aplicação em qualquer empreendimento que vise à aplicação sistemática das atividades de comissionamento.

3.3.1 Definição das Atividades de Comissionamento

3.3.1.1 Recebimentos dos itens comissionáveis por categoria

Todo equipamento, instrumento da planta piloto RMV, independente da sua origem de aquisição, passou por conferência quantitativa e qualitativa durante seu recebimento. A supervisão do almoxarifado efetuou conferência, bem como a recepção de toda a documentação técnica, entregue junto com os equipamentos, executando-se, sempre que possível, a conferência antes do descarregamento. A conferência dos recebimentos se iniciou com a verificação visual da embalagem e/ou dos equipamentos ainda sobre o veículo transportador, observando-se qualquer ocorrência de excesso, falta ou danos e avarias que os mesmos tenham sofrido durante o transporte.

Nos casos em que foram identificadas avarias, foi emitido um RNC e dependendo da intensidade da mesma os equipamentos foram rejeitados e não foi permitida a descarga destes. A inspeção qualitativa abrangeu as verificações visuais, dimensionais, mecânicas, elétricas, documentação e outras específicas. A inspeção quantitativa abrangeu a verificação das quantidades dos itens relacionados na requisição de compras (RC) com a NF do carregamento das mercadorias.

3.3.1.2 Preservação dos Itens Comissionáveis por categoria

As atividades de preservação realizadas na planta piloto visaram manter boas condições de conservação dos itens comissionáveis desde o momento de sua saída da fábrica até o momento de sua preparação para partida (quando é substituída pela manutenção). Foram seguidas as recomendações do fabricante e melhores práticas

de preservação empírica dos profissionais envolvidos nas atividades. Para boa parte dos itens, a preservação adequada foi pré-requisito para que a garantia do fabricante fosse assegurada.

3.3.1.2.1 Tubulação e Acessórios

3.3.1.2.1.1 Conexões e Filtros

Para a preservação das conexões e filtros da planta piloto foram executadas as recomendações do fabricante e as boas práticas de preservação como armazenar sobre dormentes / estrados / pallets de forma a não causar danos aos acessórios ou ao revestimento. Quanto à corrosão, amassamento e contaminação, no caso de curvas admitiu-se o contato entre peças, exceto para materiais dissimilares (aços inoxidáveis); a proteção foi realizada na placa de identificação, extremidades roscadas ou biseladas, nas superfícies dos flanges de forma a evitar danos mecânicos. As verificações consistiram em observar as condições de pintura, armazenamento do elemento filtrante, condições da carcaça e limpeza em geral. Foram realizadas limpezas com pincel ou escova ou pano limpo e tamponamento de bocais ou qualquer abertura com plástico e/ou madeira.

3.3.1.2.1.2 Flanges, Tubos e Válvulas

As ações de preservação dos flanges, tubos e válvulas na planta piloto consistiram em preservar os revestimentos quanto à corrosão e amassamentos e o contato direto entre as peças. Foi verificado se o tubo em aço liga e/ou inoxidável estava sendo manuseado sem riscos de contaminação, utilizando-se os dispositivos adequados (ex.: cabos revestidos, cintas, etc.) conforme visto no Quadro 4.

Quadro 4 - Preservação de Válvulas

	VERIFICAÇÃO	PROTEÇÃO	OUTRAS
VÁLVULAS	Lubrificação dos componentes	Pulverizou contatos elétricos com cs-25 ou similar no caso das válvulas de controle	Efetuar limpeza geral
	Condições de pintura	Pulverizou superfícies usinadas com white-lub no caso das válvulas de controle	Limpar com pincel / escova / pano limpo
	Engrenagens	Superfícies dos flanges contra corrosão e danos mecânicos	Engraxar haste
	Lubrificação dos componentes	Foi aplicado anticorrosivo nos parafusos e porcas	Tamponar bocais / aberturas com plástico e/ou madeira

Fonte: Elaborado pelo autor (2020)

3.3.1.2.2 Equipamentos Rotativos

3.3.1.2.2.1 Bombas Centrífugas (horizontal e vertical)

A ação de preservação das bombas centrífugas na planta piloto, concentraram-se no posicionamento da máquina. As máquinas de eixo longo foram posicionadas atendendo as recomendações do fabricante para evitar uma flexão fora do recomendado pelo mesmo. Todos os instrumentos foram protegidos com caixa de madeira e com a sua identificação. Também foi realizada a proteção das placas de identificação, componentes e acessórios, contra danos mecânicos e contra intempéries. As extremidades roscadas / bisseladas, superfícies usinadas foram protegidas contra corrosão. Foram verificadas as conexões / bocais / flanges, acoplamento, nível de óleo, mancais, condições de pintura, limpeza, lubrificação dos componentes, carcaça, sucção da bomba, válvula de descarga e existência de vazamentos.

Foram realizados lubrificação via pinos graxeiros, tamponamento dos bocais com plástico e/ou madeira, com aplicação de anticorrosivo nos parafusos e porcas e as superfícies usinadas foram pulverizadas com desengripante.

3.3.1.2.2.2 Bombas Centrífugas com gaxetas

Para preservação das bombas centrífugas que foram recebidas com gaxetas montadas na planta piloto, foi feita remoção e substituição por uma gaxeta especial que somente permaneceu na bomba durante o período de preservação. Para o material do engaxetamento usou-se fibras sintéticas, com impregnação de PTFE (ex.: Chetra 1711 GS ou Hecken 1820). A câmara foi completamente preenchida com anéis de gaxeta separados (com os cortes deslocados entre si de 90°).

Antes do startup, assegurou-se que a gaxeta de preservação fosse removida e substituída pelos anéis de gaxeta especificados para a operação da bomba.

3.3.1.2.2.3 Bombas centrífugas com selo mecânico

Para preservação das bombas centrífugas com selo mecânico na planta piloto, estas permaneceram com os selos mecânicos completos, mantidos na câmara de vedação. Foram aplicados preventivos contra corrosão através das conexões de circulação e do quench e anualmente o eixo da bomba foi girado diversas vezes enquanto se aplicava o preventivo.

3.3.1.2.2.4 Bombas em geral

3.3.1.2.2.4.1 Preservação da Carcaça

As ações de preservação das bombas em geral consistiram em limpar e preservar completamente os ressaltos dos flanges da bomba com um dos preventivos contra corrosão. Em flanges lisos e flanges com execução RJF (RTJ), foram colocadas juntas planas; nos flanges ranhurados, duas juntas foram colocadas na ranhura, e todos os bocais foram fechados por tampas metálicas fornecidas com o equipamento. Utilizou-se, para preservar as ranhuras dos flanges, o KOMATHERM 605.

As conexões para a água de refrigeração / linhas de circulação etc., foram fechadas por tampas de aço normais, utilizando-se Molykote. Enquanto o anticorrosivo era aplicado, o eixo da bomba era girado manualmente por diversas

vezes (observado o sentido de rotação). Geralmente, ao manusear o interior de carcaças de bombas grandes, usualmente são usados apenas sprays. Neste caso, a preservação foi repetida a cada seis meses.

3.3.1.2.2.4.2 Preservação de Mancais

As ações de preservação dos mancais consistiram em encher o corpo do mancal com preventivo contra corrosão até a face inferior do eixo. Os mancais de borracha não entraram em contato com óleo, tinta, gasolina ou similar. Todos os mancais de borracha de reposição foram guardados em lugar fresco e escuro.

As bombas que necessitaram de armazenamento por mais de seis meses após sua data de fabricação, registrada em sua placa de Identificação, tiveram seus mancais preenchidos com óleo mineral ISO VG 32. E assim foram mantidas durante todo o período de armazenamento das mesmas. Na ocasião de preparação para a partida, todos os óleos dos mancais foram previamente drenados.

3.3.1.2.2.5 Compressores Alternativos e Centrífugos

As ações de preservação dos compressores alternativos e centrífugos consistiram em cobrir de forma adequada quando o equipamento estava armazenado em local aberto. Verificou-se o posicionamento da máquina e manteve-se a mesma bem apoiada e nivelada. A elevação da máquina foi realizada pelos pontos de apoio previstos para esse fim. A proteção tem como objetivo preservar a placa de identificação, proteger contra danos mecânicos, intempéries, poeira. Foi necessário medir e registrar resistência de isolamento – motores e tamponar conexões, bocais e flanges e por fim aplicar anticorrosivo nos parafusos e porcas.

3.3.1.2.3 Equipamentos Estáticos

3.3.1.2.3.1 Vasos, Tanques e Forno

Todos os vasos, tanques e forno da planta piloto tiveram suas bocas de visita com as faces de assentamento protegidas com graxa GMA 2 EP, com junta provisória e fechadas com no mínimo 4 parafusos. Foi realizada proteção das faces de assentamento dos flanges contra danos mecânicos utilizando discos de madeira, fixados por meio de parafusos comuns ou outro dispositivo. As faces de assentamento dos flanges e as roscas dos parafusos e estojos foram protegidas contra corrosão. Quando o vaso ficou exposto às intempéries durante seis meses; as verificações foram direcionadas para o estado de todos os materiais.

Foram protegidos os internos, elementos filtrantes, anéis de testes; proteção anticorrosiva dos chumbadores. Por último foram aplicados vernizes para proteção de bisel, ranhuras de flanges e proteção de pintura.

3.3.1.2.4 Equipamentos e Cabos Elétricos

3.3.1.2.4.1 Banco de Baterias

A preservação do banco de baterias utilizado na planta piloto teve como primeira ação a observação da embalagem, observando se a mesma era adequada para armazenamento prolongado. A proteção serve para evitar danos à placa de identificação, danos mecânicos, contra intempéries e poeira. A embalagem do fabricante foi mantida durante a armazenagem. Para preservar os terminais dos elementos foi aplicado vaselina neutra. O equipamento foi mantido em boas condições de limpeza; a inspeção visual consistiu em observar o estado de conservação dos componentes, bem como a existência dos acessórios para montagem, juntas de vedação, nível de óleo e tamponamento das conexões, bocais e flanges.

Para finalização das ações de preservação do banco de baterias foi feito a pulverização dos contatos elétricos com CS-25 ou similar (ver Quadro 5).

Quadro 5 - Preservação em Banco de Baterias

EQUIPAMENTO	AÇÃO REALIZADA	FASE
BANCO DE BATERIAS	Medição e registro da resistência de Isolamento	Após montagem
	Medição e registro da rigidez dielétrica do óleo	Antes da montagem
	Medição e registro da rigidez dielétrica do óleo	Após montagem

Fonte: Elaborado pelo autor (2020)

3.3.1.2.4.2 Cabos e Multicabos

As ações de preservação dos cabos e multicabos de força e sinal utilizados na planta piloto são resumidas no Quadro 6.

Quadro 6- Preservação de Cabos e Multicabos

	AÇÃO REALIZADA	CONDIÇÕES DE ARMAZENAMENTO
CABOS E MULTICABOS	Selagem das pontas dos cabos com fita de alta fusão.	-
	Aplicação de raticida no local de armazenamento.	-
	Verificação das condições físicas dos cabos e fios, acondicionados em rolos.	Local coberto (Almoxarifado, container).
	Verificação das condições físicas dos fios, acondicionados em bobinas.	Local aberto, com cobertura por lona na bobina.
	Medição da resistência de isolamento entre condutores ainda na bobina ou rolo.	-

Fonte: Elaborado pelo autor (2020)

3.3.1.2.4.3 Motores Elétricos e Geradores

As ações de preservação dos motores elétricos e geradores utilizados na planta piloto são resumidas no Quadro 7.

Quadro 7- Preservação de Motores Elétricos e Geradores

	AÇÃO REALIZADA	RECOMENDAÇÃO
MOTORES ELÉTRICOS E GERADORES	Verificação do travamento do rotor dos equipamentos com mancal de bucha.	Realizar manualmente antes do armazenamento em local coberto.
	Tamponamento das entradas das caixas.	Utilizar material disponível no local de armazenamento.
	Giro manualmente (4 a 5 voltas) uma vez durante a semana.	Recomenda-se que o eixo do motor seja girado. Após o giro, a ponta de eixo deverá ficar pelo menos 90° deslocada em relação à posição original, conforme API 686.
	Energização da resistência de Aquecimento	Se o motor possuir resistência de aquecimento, preferencialmente esta deverá ficar energizada durante toda preservação

Fonte: Elaborado pelo autor (2020)

Um ponto importante a se destacar é que caso o motor necessite ficar armazenado por mais de seis meses após sua data de fabricação, registrada em sua placa de Identificação, seus mancais deverão ser preenchidos com óleo mineral ISO VG 32. Deverão ser mantidos assim durante todo o período de armazenamento do motor. Na ocasião de preparação para a partida, todo o óleo dos mancais deverá ser previamente drenado.

3.3.1.2.4.4 Painéis Elétricos

A preservação dos painéis de instrumentos na planta piloto teve uma elevação mínima de 10 cm, em relação ao piso. A umidade relativa controlada no local de armazenamento máxima: 70 % de acordo com as Instruções do Fabricante. Foi verificado se os componentes e acessórios fornecidos em separado foram armazenados e identificados em local seco e abrigado e se foi utilizado sílica-gel para controle da umidade. Foram mantidas as características da embalagem do fabricante durante o armazenamento e analisado se a mesma era adequada para armazenamento prolongado. Por fim, foi realizado tamponamento das entradas e energização de resistência de aquecimento nos painéis que possuíam a mesma.

3.3.1.2.4.5 Transformadores de Potência

As ações de preservação para os transformadores de potência utilizados na planta piloto são resumidas no Quadro 8.

Quadro 8 - Preservação de Transformadores de Potência

	AÇÃO REALIZADA	RECOMENDAÇÃO
TRANSFORMADORES DE ILUMINAÇÃO	Verificação do nível de óleo dos transformadores imersos em óleo	Identificado o nível do óleo abaixo do recomendado, o mesmo deve ser completado
	Tamponamento de todas as tampas e entradas dos transformadores	Realizar tamponamento de forma a não gerar danos mecânicos ao equipamento
	Verificação da resistência de isolamento dos enrolamentos	Efetuar a secagem dos equipamentos que apresentarem baixo isolamento
	Limpar as buchas de alta e baixa tensão do transformador com pano limpo, embebido em benzina retificada ou outro solvente de igual efeito	Atentar para que o pano utilizado não deixe a porcelana com pelos que venham a influenciar nos resultados dos ensaios de dielétricos

	Proteção dos instrumentos e buchas com isopor e caixa de madeira	Confeccionar caixas de madeira compatíveis com o tamanho dos instrumentos existentes no transformador
	Energizar a resistência de painéis auxiliares	Deve ser mantida ligada a resistência de aquecimento de painéis auxiliares, quando existentes
	Verificação do tamponamento dos flanges dos radiadores e das entradas das caixas de AT, BT e auxiliares	Durante a verificação identificado tamponamento inadequado, o mesmo deve ser substituído pelo apropriado
	Verificação do nível e a existência de vazamento de óleo	Identificado vazamento o mesmo deve ser sanado ou acionar garantia do fabricante
	Aplicação de sílica-gel nos painéis auxiliares	Controlar a umidade interna no painel auxiliar, para evitar formação de ferrugem
	-	Verificar a existência de corpos estranhos no interior do invólucro, como sendo qualquer material que não faz parte do equipamento e tenha sido deixado por engano, como porcas e arruelas soltas, panos de limpeza, restos de cabos, objeto metálicos e não metálicos etc

Fonte: Elaborado pelo autor (2020)

3.3.1.2.5 Instrumentação

As ações de preservação dos instrumentos utilizados na planta piloto são resumidas no Quadro 9.

Quadro 9 - Preservação dos Instrumentos por Categoria

AÇÃO REALIZADA	Chaves de Pressão Vazão, Nível e Temperatura.	Flanges e Placas de Orifício	Termômetros e Manômetros	Transmissores e Controladores	Válvulas ON-OFF e Controle
Aplicação de antioxidante nos contatos e terminais elétricos	X				
Realização de limpeza com pincel ou pano seco	X				
Disponibilização de sílica-gel no interior do instrumento ou em sua embalagem	X		X	X	
Aplicação de anti-corrosivo nas conexões e tampas roscadas	X				X
Aplicação de graxa, vaselina nas ranhuras dos flanges e tamponar		X			
Verificação do tamponamento das conexões livres. Aplicar anticorrosivo nas conexões roscadas e tamponar		X		X	
Proteção das roscas com vaselina neutra			X		
Verificação do tamponamento das conexões livres				X	X
Aplicação de graxa GMA 2 EP nas ranhuras dos flanges e tamponar					X

Aplicação de graxa na haste e parafusos					X
Proteção dos internos das válvulas de controle contra corrosão					X

Fonte: Elaborado pelo autor (2020)

3.3.1.3 Condicionamento dos Itens Comissionáveis por Categoria

As atividades de condicionamento realizadas na planta piloto de RMV tiveram como objetivo assegurar que todos os itens comissionáveis atingissem o estágio de Completação Mecânica, encontrando-se prontos para iniciar o processo de Pré-Operação e Partida.

3.3.1.3.1 Tubulação e Acessórios

As tubulações tratam de conjunto de tubos e acessórios voltados ao processo industrial da planta piloto de RMV, principalmente para distribuição de água, ar comprimido, ar de instrumentos, oxigênio e gás natural.

3.3.1.3.1.1 Itens de Tubulação

Os itens de tubulação mais requeridos na planta piloto de recuperação de metais valiosos para testes na fase de condicionamento de acordo com as especificações foram as válvulas. Foram realizados teste de pressão e estanqueidade em válvulas manuais e de bloqueio (gaveta, esfera, retenção, globo) e reengaxetamento. Os testes de vedação em baixa pressão foram realizados com ar comprimido e em alta pressão com água (ver Quadro 10).

Quadro 10 - Testes requeridos por tipo de válvula

Tipo de Válvula	Tipos de Testes			Sentido
	Corpo	Vedação	Contra-vedação	
Esfera	Requerido	Requerido	N/A	Dois sentidos
Gaveta	Requerido	Requerido	Requerido	Dois sentidos
Globo	Requerido	Requerido	Requerido	Indicado pela Seta
Retenção	Requerido	Requerido	N/A	Indicado pela Seta
Angular	Requerido	Requerido	N/A	Dois sentidos
Macho	Requerido	Requerido	N/A	Dois sentidos
Borboleta	Requerido	Requerido	N/A	Indicado pela Seta
Agulha	Requerido	Requerido	N/A	Dois sentidos
Diafragma	Requerido	N/A	N/A	Indicado pela Seta
Alívio	Requerido	Requerido	N/A	Indicado pela Seta
Quebra Vácuo	Requerido	Requerido	N/A	Indicado pela Seta

Fonte: Elaborado pelo autor (2020)

3.3.1.3.1.2 Malhas de Tubulação

As malhas de tubulação na planta piloto de recuperação de metais valiosos tiveram teste de pressão executado por sistema ou subsistemas de tubulação, ao invés de tubulações individuais. Nos sistemas que se estenderam além da construção e nesses limites não havia flanges, ligação roscada, ligação soldada ou válvula de bloqueio, o teste foi aplicado até o acessório de bloqueio mais próximo.

Alguns equipamentos, tais como vasos, trocadores de calor, separadores, filtros, bombas ou qualquer outro equipamento instalado na linha, já testado individualmente, que não causaram dificuldades ao teste do sistema de tubulações, foram testados, juntamente com o sistema de tubulações aos quais estavam conectados. A pressão de teste não foi excedida em nenhum ponto a pressão de teste permitida para os equipamentos e atendeu à norma do projeto da tubulação.

Antes da realização dos testes hidrostáticos, foram consultados os isométricos de tubulação “Isoteste”, desenvolvidos na fase do projeto por subsistema ou sistema. Os testes hidrostáticos realizados na planta piloto de RMV, estão descritos no APÊNDICE D.

3.3.1.3.2 Equipamentos Rotativos

Os equipamentos rotativos voltados ao processo industrial da planta piloto de recuperação de metais valiosos foram: bombas centrífugas horizontais, bombas centrífugas verticais, bombas centrífugas com gaxetas, bombas centrífugas com selo mecânico, compressor alternativo e compressor centrífugo.

3.3.1.3.2.1 Bombas (Centrífugas, Centrífugas com gaxetas e com selo mecânico) e Compressores (Alternativos e Centrífugos)

As atividades de condicionamento realizadas para as bombas centrífugas na planta piloto de recuperação de metais valiosos consistiram em verificar conformidade com as especificações do equipamento rotativo “como montado” em relação aos documentos aprovados do projeto e do fabricante, nivelamento, alinhamento, nível de óleo lubrificante, instalação de filtros (filtros Y, filtros tipo chapéu de bruxa, filtros de ar e filtros de óleo), giro livre de conjuntos rotativos e alinhamento entre eixos acionados x acionadores. Foram efetuados nos equipamentos rotativos correção de paralelismo de flanges, torqueamento final das conexões, com emissão dos respectivos registros, teste do sistema de óleo lubrificante; remoção dos fluidos de preservação dos equipamentos, circulação de óleo (Flushing) do sistema de lubrificação, abastecimento com óleo e/ou graxa para operação, medição de vibração e nível de ruído dos equipamentos rotativos em vazio e identificação dos equipamentos na base.

3.3.1.3.3 *Equipamentos Estáticos*

Os equipamentos estáticos voltados ao processo industrial da planta piloto de recuperação de metais valiosos foram: vasos, tanques e o forno.

3.3.1.3.3.1 *Vaso, Tanques e Forno*

As atividades de condicionamento realizadas para os vasos, os tanques e o forno na planta piloto de RMV consistiram em verificar montagem em relação aos documentos de engenharia aprovados e data book do fornecedor, inspecionar internas e verificar a identificação pintada na respectiva base do equipamento. Foi realizado medição de espessura “casco”, elaboração do teste hidrostático conforme a Norma Regulamentadora 13 (NR13), observando os procedimentos específicos exigidos para equipamentos testados em que operavam dentro da faixa de comportamento de ruptura frágil conforme curvas de operação x temperatura fornecida pelos fabricantes; medição do recalque da base civil, retirada de juntas provisórias e instalação de juntas definitivas; complementação de isolamento térmico (quando aplicável) e pintura após teste de pressão, lavagem e montagem de internos. Por fim foi elaborada uma lista de verificação para Inspeção Interna de Segurança Inicial - NR13 e uma lista de verificação para Inspeção Externa de Segurança Inicial – NR13.

3.3.1.3.4 *Equipamentos e Cabos Elétricos*

Os equipamentos elétricos da planta piloto de recuperação de metais valiosos que passaram pelo processo de condicionamento foram: banco de baterias, motores, gerador, painéis e transformadores. Os cabos elétricos que passaram pelo processo de condicionamento foram: cabos singelos e multicabos, independente da sua bitola.

3.3.1.3.4.1 Banco de Baterias

Os testes de condicionamento no banco de baterias da planta piloto RMV visaram detectar irregularidades no equipamento e em sua instalação. Foi realizada medição de temperatura do Eletrólito visando oferecer parâmetros para referir a densidade a 25°C e detectar possíveis irregularidades. O passo a passo consta no APÊNDICE E.

3.3.1.3.4.2 Cabos e Multicabos

A planta piloto de recuperação de metais valiosos foi montada em sua infraestrutura contendo cabos e multicabos de diversas configurações, desde simples cabo singelo a multicabos com dezesseis vias. Todos os cabos foram submetidos ao teste de continuidade, antes de serem ligados aos equipamentos elétricos. Os cabos foram submetidos ao teste de isolamento antes de serem ligados aos equipamentos elétricos, com megôhmetro de tensão compatível com sua classe de isolamento. Os cabos blindados que tinham tensão de serviço maior que 1kV, tiveram seus isolamentos medidos com o megôhmetro e os que foram aprovados também foram submetidos ao gerador de Alto Potencial - Hipot. Os cabos que tinham shield foram submetidos ao teste de continuidade e teste de isolação (entre as veias e a veia e o shield). As atividades de condicionamento aplicadas aos cabos e multicabos da planta piloto de RMV estão detalhados no APÊNDICE F.

3.3.1.3.4.3 Motores Elétricos

A planta piloto de RMV foi montada em sua infraestrutura contendo motores elétricos de diversas potências. Esses motores eram responsáveis por acionamentos de bombas, sopradores, exaustores e vibradores. O conjunto acionador mais demandado caracteriza os equipamentos rotativos que eram alimentados com uma tensão de 380 Volts trifásico e frequência de 60 Hertz. Nos motores elétricos foram realizadas diversas verificações, sendo elas: resistência ôhmica dos enrolamentos para motores de baixa tensão; resistência de isolamento; resistência ôhmica dos

enrolamentos para motores de média tensão; fechamento das ligações de acordo com esquema de ligação; continuidade dos detectores de temperatura internos ao motor e aperto das conexões e do aterramento. O detalhamento dos ensaios realizados nos motores elétricos está descrito no APÊNDICE G.

3.3.1.3.4.4 Painéis Elétricos

Os painéis elétricos da planta piloto de RMV podem ser classificados em painéis de iluminação, força e controle. As verificações realizadas consistiram em verificar: partes móveis dos dispositivos de separação e do funcionamento das portas quanto ao fechamento e abertura; funcionamento do sistema de bloqueio das portas, em condições de circuito energizado; dimensional e estrutural; resistência de isolamento de barramentos, isoladores e demais componentes removendo os cartões eletrônicos; verificação da continuidade do barramento; polaridade e da continuidade elétrica dos circuitos auxiliares; verificação da continuidade e da pressão das garras dos fusíveis de força; verificação da relação de transformação e polaridade dos Transformadores de Corrente (TC) e Transformadores de Potência (TP); curva de saturação dos TC's de proteção executando os TC's de relés térmico se "ground sensor"; alinhamento dos contatos de força dos contatores com corrente nominal superior a 100A e disjuntores, exceto os de caixa moldada; resistência ôhmica e da simultaneidade dos contatos dos contatores e disjuntores com tensões nominais superiores a 480 V, exceto os de caixa moldada; régua de bornes, identificação dos circuitos de controle, medição e proteção; conferência da conformidade dos componentes elétricos com o projeto; ajuste dos relés térmicos e de proteção para a corrente de projeto, teste de atuação; colocação do selo de calibrado nos relés térmicos; blank test (ponto a ponto desenergizado); resistores de aquecimento e iluminação interna; sistema de inserção e extração dos contatores, disjuntores; funcionamento dos instrumentos de medição; funcionamento dos ventiladores e exaustores; funcionamento das chaves comutadoras e sinaleiros; sequência de fases; injeção de corrente nos circuitos dos TC's observando operação dos relés de proteção; aperto das conexões e do aterramento. A metodologia de aplicação dos ensaios nos painéis elétricos está detalhada no APÊNDICE H.

3.3.1.3.4.5 Transformador de potência

O transformador de potência da planta piloto de extração de metais valiosos é responsável por rebaixar a tensão da rede da concessionária local de 13,8 kV para 380V e como consequência alimentar o painel de potência da planta piloto. As ações de condicionamento realizadas no transformador visaram detectar qualquer tipo de irregularidade do equipamento. Na execução dos testes foram observadas as diretrizes constantes no Manual de Montagem do fabricante, assim como projetos e especificações técnicas do transformador. As precauções iniciais que foram tomadas antes de iniciar os testes de condicionamento foram: não iniciar nem realizar os testes sob o controle de tempo instável, chuvoso ou sujeito a descargas atmosféricas; antes de abrir as caixas de terminais ou qualquer porta de acesso do transformador, tanto em alta tensão quanto em baixa tensão, certificou-se que o cubículo alimentador estava com o disjuntor extraído e a saída aterrada, mantendo as chaves de bloqueio com o responsável pelos testes. Não foi permitido que pessoas não envolvidas nos ensaios ficassem na área de testes. Foi certificado que o transformador se encontrava completamente desenergizado, também foi verificado se o invólucro e os trilhos do transformador encontravam-se ligados à malha de aterramento da unidade. Os enrolamentos de alta e baixa tensão do transformador foram aterrados para evitar descargas acidentais; foram desconectados os terminais de alta e baixa tensão e retirado o aterramento dos enrolamentos para dar início aos ensaios. Após os ensaios e testes, foram reconectados corretamente os cabos, tendo-se o cuidado de colocar graxa apropriada nas conexões e comprovando apertos satisfatórios para evitar mal contato.

Foi verificado o aperto de todos os parafusos do equipamento, desde fixação de chapas até aperto do núcleo, utilizando torquímetro onde aplicável. Para saber o valor do torque foi feita consulta ao fabricante. Após todos os ensaios realizados conforme consta no APÊNDICE I, o transformador foi liberado para utilização.

3.3.1.3.4.6 Malhas Elétricas

Após encerramentos do condicionamento individual por equipamento e cabeamento elétrico, foram realizados os testes das malhas elétricas, onde os testes

de condicionamento consistiram em testar os conjuntos, com os equipamentos interligados entre si e ao controlador.

Os testes de malhas elétricas foram executados em duas frentes simultaneamente: um engenheiro de automação, com um assistente de comissionamento, trabalhando diretamente na sala de controle registrando os testes executados e uma dupla em campo, composta por um engenheiro eletricitista e um eletrotécnico. Os pontos que foram testados estavam relacionados nas listas de entrada e saída. Os testes foram executados por cubículo e por painel. A sequência de execução foi feita de acordo com o indicado na programação, de forma que selecionado o painel também era selecionada a tela no sistema supervisório que correspondia o painel em teste.

Depois de selecionado o painel o procedimento era testar todos os pontos (digitais e analógicos) que faziam parte daquele painel. As simulações de campo iniciaram-se ao lado do equipamento para acionamento da botoeira de campo, no caso de sinais digitais. No caso de sinais analógicos a simulação foi feita no painel correspondente através de fonte de tensão ou corrente. Nos casos de pontos de alarme de falha resultante do resumo de várias proteções, cada proteção foi simulada. Os testes de malhas elétricas realizados na planta piloto de recuperação de metais seguiu o checklist, conforme Quadro 11, pois as atividades que foram verificadas são realizadas anteriormente por cada item comissionável. Esses itens fazem parte de uma malha elétrica e, por consequência, de um SSOP e, por sua vez, de um SOP. Desta forma os testes de malhas garantem a operabilidade do SSOP.

Quadro 11 - Check List de Malhas Elétricas

INSPEÇÃO MECÂNICA	TESTE DE CERTIFICAÇÃO	TESTES FUNCIONAIS
Verificado o estado das Conexões e do aperto geral?	Conferida a execução de teste de certificação para todos os itens comissionáveis da malha?	Confirmada a energização da malha?
Verificado o estado de conservação e limpeza em geral?	Executado teste de resistência isolamento dos cabos?	Executada a medição de tensão?
Retirado todo o material usado na preservação?	Executado o teste de continuidade?	Executada a medição de corrente?

Verificada a pintura (Ex.: eletrocalhas, painéis e suportes)?	Executado o teste de tensão aplicada (HIPOT)?	Confirmado o funcionamento da malha?
Verificada a suportação (Ex.: eletrocalhas, painéis e eletrodutos)?	Verificada a amarração dos cabos?	
Verificado o aterramento (Ex.: eletrocalhas, painéis e eletrodutos)?	Confirmado o fechamento dos bandejamentos e eletrocalhas?	
Alimenta�o definitiva das resistências de aquecimento está ligada?	Antes da energiza�o, confirmado o fechamento de todas as tampas de painéis e equipamentos?	
Verificada a identifica�o (Ex.: cabos, borneiras e painéis)?	Confirmado o faseamento da malha?	

Fonte: Elaborado pelo autor (2020)

3.3.1.3.5 Instrumenta o

Os instrumentos utilizados na planta piloto de RMV que passaram pelo processo de condicionamento foram: instrumentos de temperatura, instrumentos de vazão, instrumentos de nível, instrumentos de pressão manométrica e instrumentos de pressão diferencial. Esses instrumentos podem ser classificados como: man metros, term metros, pressostatos, fluxotatos, chave de nível, termopares, transmissores de vazão, transmissores de temperatura, transmissores de pressão manométrica, transmissores de pressão diferencial, válvulas de controle, válvulas de ON/OFF, válvula solenoide, sensores indutivos e sensores de posi o. A rela o de instrumentos da planta piloto   contida na lista de instrumento do projeto. Todos os instrumentos são itens comissionáveis. As atividades de condicionamento que foram comuns às categorias de instrumentos foram: emissão do certificado de calibra o para instrumentos analógicos; verifica o de funcionalidades para todos os instrumentos analógicos e discretos; teste de acionamento de todos os instrumentos analógicos e discretos; reaperto final das conexões mecânicas, elétricas e eletrônicas;

verificação da correta alimentação dos instrumentos e ausência de fuga para terra; teste de pressão e estanqueidade nos "tubings", para os instrumentos de pressão manométrica e pressão diferencial.

As atividades realizadas de condicionamento específico para cada tipo de instrumento são descritas no APÊNDICE J.

Todos os testes de malhas foram executados utilizando instrumentos de precisão compatíveis com as condições a serem efetuadas. Os certificados de aferição de instrumentos padrões continham as seguintes informações abaixo relacionadas:

- a) Órgão Certificador;
- b) Resultados da Aferição;
- c) Tolerância do Padrão de Aferição;
- d) Prazo de validade;
- e) Data de Emissão.

Todos os instrumentos analógicos de 4 a 20 mA tiveram os loops test realizados com programador HART 375, conforme Figura 10 e com calibrador de pressão PC-507, conforme Figura 11. Detalhes da execução dos testes das malhas de instrumentação estão descritas no APÊNDICE K.

Figura 11 - Hart 375 – Comunicador Emerson.



Fonte: Google Imagens (2019)

Figura 10 -Calibrador de Pressão.



Fonte: Google Imagens (2019)

3.3.1.4 Pré-operação, Partida e Operação Assistida

3.3.1.4.1 *Tubulação, acessórios e malha de tubulação*

As atividades de pré-operação e partida que foram realizadas na planta piloto de recuperação de metais valiosos para a tubulação, acessórios e malha de tubulação, consistiram na liberação dos serviços de verificação de funcionalidade; lubrificação final para funcionamento; verificação da remoção de dispositivos auxiliares de montagem, suportação temporária e andaimes; verificação da localização e funcionalidade dos vents e dos drenos e a instalação dos caps com correntes; verificação/reparo geral final em pintura de suportes, estruturas metálicas e linhas de tubulação. Quanto às instalações de vents e drenos de tubulação, quando ocorreram, o trecho era testado, independentemente do fato de já ter sido testado anteriormente. Foi realizada remoção, limpeza e reinstalação de filtros e purgadores; montagem de linhas provisórias para alimentação e drenagem dos sistemas; relocação de suportes metálicos (quando necessário); remoção e remontagem das placas de orifício, "spools" e instrumentos; realizado reaperto de parafusos; substituição das juntas com vazamento; substituição de gaxetas em válvulas com vazamento; montagem e remontagem de válvulas e substituição das válvulas defeituosas. Por fim foram realizados lubrificação das válvulas; execução de leaktest (teste de vazamentos); ajuste e calibração de suportes de mola e acoplamento com equipamentos.

3.3.1.4.2 *Equipamentos Rotativos*

As atividades de pr -operação e partida que foram realizadas na planta piloto de recuperação de metais valiosos para os equipamentos rotativos, bombas e compressores, consistiram na verificação da liberação dos serviç os de funcionalidade, remoção das travas de seguranç a dos selos mecânicos, teste do conjunto acoplado motor x bomba usando o próprio produto como fluído, medição de vibração e nível de ruído dos equipamentos rotativos acoplados, instalação e retirada de filtros

temporários, reaperto final de conexões e por fim foram realizados os testes de intertravamento / alarme dos sistemas de lubrificação, selagem e controle.

3.3.1.4.3 Equipamentos Estáticos

As atividades de pré-operação e partida que foram realizadas na planta piloto de recuperação de metais valiosos para os equipamentos estáticos, vasos, tanques e forno, consistiram na verificação da liberação dos serviços de funcionalidade, carregamento do catalizador (onde aplicável), ver procedimento específico, reaperto final de parafusos e estojos, fechamento definitivo dos bocais de visita, "Steam-out" de equipamentos, montagem de linhas provisórias para alimentação e drenagem dos sistemas e por fim foi emitido relatório de Inspeção Inicial de segurança.

3.3.1.4.4 Elétrica

As atividades de pré-operação e partida que foram realizadas na planta piloto de recuperação de metais valiosos para os equipamentos e cabos elétricos (banco de baterias, cabos, multicabos, motores, geradores, painéis elétricos e transformadores de potência), consistiram na verificação da liberação dos serviços de funcionalidade, verificação e correção da ligação dos cabos elétricos, teste do conjunto acoplado motor x bomba usando o próprio produto como fluido, medição de vibração e nível de ruído dos equipamentos rotativos acoplados, verificação e correção de ligação de cabos elétricos e por fim foram realizados testes funcionais das gavetas de entrada e saída, interligação e lógica associada.

3.3.1.4.5 Instrumentação

As atividades de pré-operação e partida que foram realizadas na planta piloto de recuperação de metais valiosos para a instrumentação (chave de nível, fluxostatos, pressostatos, placas de orifício, termômetro, manômetro, transmissores, controladores, válvula de bloqueio, válvula de controle, válvula solenoide e painéis de

instrumentação), consistiram na verificação da liberação dos serviços de funcionalidade, execução de testes de malhas e de intertravamento, execução de testes funcionais das gavetas de entrada e saída, interligação e lógica associada, verificação da integridade mecânica e funcionamento dos instrumentos, realizando-se teste de malhas desde o campo para a sala de controle com simulação de sinal. Foi colocada a malha em operação para fechamento das atividades de pré-operação e partida da instrumentação e suas malhas e foi também elaborado e emitido o certificado de teste de malha de instrumentação.

3.3.2 Validação da Proposta

Esta etapa da pesquisa trata-se de uma fase de verificação, sendo esta desenvolvida para avaliar a eficácia da aplicação da proposta da metodologia de comissionamento. O estudo de caso foi realizado em uma planta piloto de RMV, a qual foi comissionada em dois momentos distintos, utilizando técnicas coordenadas e não coordenadas para execução das atividades, o conhecimento empírico dos comissionadores e utilizando a nova proposta de metodologia de comissionamento. A eficácia da nova proposta de comissionamento foi avaliada através da redução do número de pendências impeditivas e não impeditivas à operação da planta piloto de RMV, durante a completção mecânica e teste de aceitação de performance. Uma pendência impeditiva trata-se de qualquer desvio que afete a condição de plena operabilidade e/ou conformidade física de um item, malha, subsistema ou sistema, durante todas as fases do processo de comissionamento.

3.3.2.1 Qualidade da Completção Mecânica (QCM)

Segundo Souza (2013), a Qualidade da Completção Mecânica de um subsistema ou sistema operacional de processo, se atinge, uma vez que as atividades de montagem de todos seus componentes (itens/malhas comissionáveis), estão concluídas conforme o referencial técnico aplicável. Durante a inspeção da Completção Mecânica, devem ser realizadas diversas verificações para que seja garantida a qualidade da finalização da montagem. Na planta piloto de RMV, foram

realizadas as seguintes atividades por categoria de item comissionável, para atestar a QCM.

3.3.2.1.1 Itens de Tubulação

Foi verificada conformidade do item com as especificações do fabricante e realizado teste de pressão e estanqueidade em válvulas manuais e de bloqueio (gaveta, esfera, retenção, globo), além do reengaxetamento.

Efetuuou-se inspeção na instalação de acessórios, itens especiais, suportes definitivos e componentes. Exemplo: elementos filtrantes, juntas de expansão, suportes de mola, etc. Verificou-se se os suportes de mola e as juntas de expansão estavam travados até a conclusão do teste de pressão e lavagem do sistema. Também foi realizada uma inspeção nas soldas dos suportes nas tubulações que deveriam estar de acordo com os procedimentos qualificados e especificações do fabricante.

Deve ser verificado se os suportes de tubulação próximos a bocais de equipamentos rotativos são de tipo regulável; se a instalação de juntas definitivas, flanges cegos e filtros permanentes correspondem onde requeridos; os torqueamentos finais dos parafusos e estojos; a Lubrificação final para funcionamento; o ajuste de suportes de mola a frio (foram removidas as travas antes da pré-operação); a medição de espessura zero nas janelas de inspeção; e, por fim, isolamento térmico e pintura após testes de pressão também foram validados.

3.3.2.1.2 Bombas e Compressores centrífugos

Foi verificada a conformidade com as especificações do fabricante; se a conformidade do equipamento rotativo “como montado” estavam adequadas em relação aos documentos aprovados de projeto e de fabricante; se o nivelamento estava de acordo ao requerido; se foi realizado o torqueamento final das conexões; se foi realizada a instalação de filtros (filtros Y, filtros tipo cônico, filtros de ar e filtros de óleo); se foi feita a remoção dos fluidos de preservação dos equipamentos. Foi verificado e testado o sistema de óleo. O sistema de circulação de óleo (Flushing) do

sistema de lubrificação foi verificado para saber se tinha sido circulado o óleo no sistema. A verificação se estendeu à checagem do giro livre de conjuntos rotativos e sentido de giro do acionador; medição de vibração e nível de ruído dos equipamentos rotativos em vazio e por fim foi checado alinhamento entre o eixo do equipamento acionado e o eixo.

3.3.2.1.3 Vasos de Pressão, Filtros e Tanques

Foi realizada uma verificação de montagem em relação aos documentos de engenharia aprovados e data book dos fornecedores, assim como: Inspeção de internos; medição de Espessura “casco”; elaboração do Teste Hidrostático (TH), conforme NR-13, observando os procedimentos específicos exigidos para equipamentos testados em que operam dentro da faixa de comportamento de ruptura frágil, conforme curvas de operação x temperatura fornecida pelos fabricantes. Também foi inspecionada a lavagem e limpeza interna dos equipamentos; instalação de juntas definitivas e a identificação pintada na respectiva base do equipamento. Por fim, quando era aplicável, o isolamento térmico e pintura após teste de pressão, lavagem e montagem de internos.

3.3.2.1.4 Motores

Para os motores existentes na planta piloto de RMV, foram checados os apertos finais das conexões elétricas, a conformidade com as especificações do fabricante, a conformidade para operação em atmosferas explosivas (INMETRO), a emissão de Laudo Técnico das Instalações executadas, em atendimento a NR-10, checagem da sequência de fase, polaridade e sentido de rotação, assim como a verificação do teste de atuação e comando e teste em vazio.

3.3.2.1.5 Transformadores de Iluminação e Força

Para o transformador existente no galpão que alimenta a planta piloto de RMV, foi feita a verificação de nivelamento na base área, pois o mesmo é fixado entre postes. Foi verificada a conformidade de ligação dos bornes e aterramento. Foi realizado reaperto de conexões e checagem dos testes do óleo (rigidez dielétrica) e por fim a medição da resistência de isolamento.

3.3.2.1.6 Painéis de Iluminação, Força e Controle

Foi verificado se o Laudo Técnico das Instalações executadas foi emitido, em atendimento a NR-10; foi realizada verificação de conformidade com as especificações do fabricante, conformidade para operação em atmosferas explosivas (INMETRO) e Inspeção do aperto final de conexões mecânicas, elétricas e eletrônicas, e por último, verificação de identificação.

3.3.2.1.7 Cabos Elétricos

Para todos os cabos de potência da planta piloto de RMV, foram realizados checagem da Identificação dos circuitos, verificação do teste de continuidade; teste de tensão aplicada ao dielétrico em cabos de 2,4 e 13,8 kV, com Hi-pot, teste de megger no recebimento e verificação sistema do nobreak.

3.3.2.1.8 Instrumentos (Temperatura, Pressão, vazão e nível)

Na planta piloto de RMV, por possuir diversos tipos de instrumentos, as principais atividades realizadas para atestar a qualidade da completação mecânica, foram: verificação do certificado de calibração do Instrumento, funcionalidade, teste de atuação, correta alimentação dos instrumentos e ausência de fuga para terra. Foi realizado reaperto final de conexões mecânicas, elétricas e eletrônicas. Foi analisada a existência de seladora em seus cabos de alimentação assim como a instalação

devida de seus respectivos prensa cabos. Foram realizados teste hidrostático dos poços de temperatura, teste de pressão e estanqueidade nos "tubings" e nos corpos dos indicadores de nível e por último a verificação da limpeza de "tubings" de controle e de sinal.

3.3.2.1.9 Linha de Sinal, Impulso e Alimentação

Foram realizadas inspeções em todas as linhas de impulso na planta piloto de RMV, para observar possíveis vazamentos e alimentação. Foram realizados testes hidrostaticamente e/ou pneumaticamente conforme norma N-858, para garantir a declividade em instalação com "tubing" para linha de impulso. As linhas de impulso correram em paralelo e alinhadas, sendo que o comprimento da linha de impulso foi o menor possível, evitando-se que seja superior a 10 metros. Por fim, foi verificada a posição das tomadas de impulso em relação ao fluido de processo, segundo o detalhe típico de instalação ao processo de cada tipo de instrumento.

3.3.2.2 Qualidade dos Testes de Aceitação de Performance (QTAP)

Para Souza (2013) o teste de desempenho de um subsistema ou sistema acontece quando é avaliada a sua capacidade de atendimento aos requisitos de aceitação de projeto especificado. Um procedimento de TAP deve conter: objetivo, descrição dos equipamentos, referências, rede de precedência do sistema, ferramentas especiais, materiais de consumo, sobressalentes, sistemas provisórios e instruções para a realização da partida. A conclusão bem-sucedida do TAP de um subsistema ou sistema é atestada pela emissão de um termo de transferência de aceitação do subsistema ou sistema operacional de processo. Na planta piloto de RMV, foram realizadas as seguintes atividades por categoria de item comissionável, para atestar a QTAP:

- a) O teste de simulação realizado no início da pré-operação foi utilizando fluido não inflamável, não tóxico e não reagente, possibilitando simulações, verificações e correções necessárias do sistema, sem classificar a unidade (exemplo: água e gás inerte);

- b) Para os testes realizados no início da partida utilizou-se a carga de processo ou com fluido inflamável, tóxico e/ou reagente ou ainda energia elétrica, possibilitando simulações necessárias para avaliar, aferir e atestar a conformidade física e o comportamento do sistema, antes da entrada em operação contínua.

Serão mostrados nos Quadros 12 e 13 a identificação das principais atividades aplicadas aos SSOP e SOP da planta piloto de RMV. As atividades são apresentadas como listas de verificação, procedimentos e instruções operacionais, sendo utilizadas para atestar a qualidade dos testes de aceitação. Foi requisito para atestar qualidade do TAP na planta piloto, que os subsistemas ou sistemas completassem seus testes de funcionamento com sucesso e atendessem as condições de operação, ou seja, sem nenhum tipo e pendência. A constatação da existência de pendências durante um TAP levaria à sua recusa (pendências impeditivas) ou a sua aceitação provisória (pendências não impeditivas).

Quadro 12 - Verificações Gerais para Início do TAP

AÇÃO	IDENTIFICAÇÃO / DESCRIÇÃO DO ITEM	S	N	N/A
Verificar	A emissão do certificado de complementação mecânica			
Confirmar	A conclusão da pasta de testes do subsistema com documentos específicos			
Agendar	Reunião de avaliação dos preparatórios para start-up do sistema			
Confirmar	Comunicação antecipada a todos envolvidos direta ou indiretamente para acompanhamento do teste			
Confirmar	A liberação dos sistemas/ subsistemas sob teste e seus precedentes			
Instalado	Reunião para aprovação de start-up do sistema /subsistema			

Fonte: Elaborado pelo autor (2020)

Quadro 13 - Preparação do Sistema/Subsistema Para Partida

AÇÃO	IDENTIFICAÇÃO/ DESCRIÇÃO DO ITEM	S	N	N/A
SOP: UTILIDADES; PIROMETALURGIA E TRATAMENTO DE GASES				
Efetuar	Inspeção visual geral de operação			
Verificar	Isolamento dos limites de teste do sistema			
Verificar	A evidência de que todos os itens comissionáveis atingiram a completação mecânica			
Definir	A condição de carga para operação			
Verificar	Nível dos fluidos (combustível, óleo hidráulico, óleo do motor, fluidos da transmissão e líquido refrigerante)			
Verificar	Fechamento das válvulas de dreno de equipamentos e dreno/vent de linhas de transferência de água			
Verificar	A existência de vazamentos nos sistemas			
Verificar	Pressão de descarga através dos manômetros, das bombas d'água e compressor			
Verificar	Interferência nos painéis de potência e instrumentação, espalhados pela planta piloto			
Inspeccionar	Equipamentos que serão utilizados para possibilitar os testes com produto (combustível), para atestar a condição de funcionalidade do sistema, com fluido real de processo.			
Verificar, Inspeccionar	Equipamentos específicos (Tanque de GN, tanque de oxigênio, etc.), conforme manual de operação e segurança			
Verificar, Inspeccionar	Sistemas de geração das utilidades (Ar comprimido, Ar de Instrumentos, Oxigênio, Gás Natural, Água de Processo e Energia Elétrica).			
Verificar	Alimentação elétrica dos motores			

Verificar	Atuação do sistema de transferência automático da alimentação elétrica principal para alimentação elétrica secundária			
Verificar	Atuação do Nobreak na falta de energia elétrica, para estabilidade do sistema de controle.			
Verificar	Se a interface com o sistema supervisor está totalmente operacional, através da execução prévia do teste intertravamento lógico,			
Verificar	Se todas as pendências foram eliminadas tipo 1 e tipo 2.			

Fonte: Elaborado pelo autor (2020)

3.3.2.3 Quantitativo de pendência registrada por item comissionável

Para Souza (2012) pendência consiste em qualquer desvio que afete a condição de plena operabilidade e ou conformidade física de um item, malha, subsistema ou sistema, durante todas as fases do processo de comissionamento. Na planta Piloto de RMV, foram estabelecidos critérios, responsabilidades e metodologia a ser implementados durante a geração, processamento e fechamento das listagens de pendências, geradas durante o processo de comissionamento. Todas as pendências geradas foram catalogadas e controladas mediante a utilização de planilhas.

Na planta piloto de RMV, foram identificadas três categorias de pendências, sendo estas:

- a) **Pendência de Projeto** – Foram todas as pendências identificadas dentro da documentação de Projeto, que não permitiam seguir com a sequência de Montagem ou Comissionamento;
- b) **Pendência de Fornecedor** - Foram todas as pendências identificadas dentro do escopo de fornecimento (documentação técnica, packing list, data book, etc.), que não permitiam seguir com a sequência lógica e segura da Montagem ou do Comissionamento;
- c) **Pendência de Comissionamento** - Foram todas as pendências identificadas durante a execução da Montagem e Comissionamento,

sendo que estas eram de emissão de documentação ou de execução de serviços.

Na planta piloto de RMV, seguindo as boas práticas de classificação de pendências, as mesmas foram divididas por tipo durante a fase do comissionamento; cujo objetivo é segregar as pendências que são impeditivas ou não à execução o TAP. Foram estas:

a) Impeditiva (Tipo 1): Uma pendência era considerada impeditiva se sua existência fosse provocar as situações:

- Bloquear o prosseguimento do processo de comissionamento do item, malha subsistema ou sistema envolvido;
- colocar em risco a segurança das pessoas ou das instalações;
- exigir a paralisação de instalações já em operação para sua correção.

b) Não impeditiva (Tipo 2): A pendência era não impeditiva quando as atividades do processo de comissionamento prosseguiam mesmo na sua presença e/ou as condições não colocavam em risco a segurança das pessoas ou das instalações e nem exigiam a paralisação das instalações já em operação para sua correção.

Toda pendência gerada na planta piloto de RM, foi classificada segundo a categoria (Projeto, Fornecedor e Comissionamento) a que pertence e do tipo (impeditiva ou não impeditiva) da pendência.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após a conclusão das duas etapas de comissionamento da planta piloto de RMV, foram realizadas as análises dos resultados, levantando o número de pendências impeditivas e não impeditivas registradas, conforme consta na Tabela 1. Após análise, foi possível verificar se o planejamento dos recursos de uma atividade foi suficiente ou precisa de melhorias. A integração das atividades realizadas nos itens comissionáveis, malhas, SSOP e SOP visaram à melhor operabilidade dos mesmos, analisando como se concluiu a CM e o TAP.

Em linhas gerais, os resultados encontrados no presente estudo evidenciaram a não existência de uma padronização das atividades de comissionamento, integrada, sistematizada.

Durante a execução da montagem eletromecânica e realização dos TAP foram catalogadas e quantificadas todas as pendências impeditivas e não impeditivas a “partida” da planta piloto de RMV. Essas pendências foram separadas por categorias (impeditivas e não impeditivas). Conforme registrado na Tabela 1, essas categorias abrangem: tubulação e acessórios, equipamentos rotativos, equipamentos estáticos, equipamentos elétricos, cabos e instrumentação.

Tabela 1 -Controle de Pendências Impeditivas e Não Impeditivas da PP de RMV.

ITENS COMISSIONÁVEIS POR CATEGORIA	COMISSIONAMENTO EMPÍRICO					COMISSIONAMENTO INTEGRADO E SISTEMÁTICO				
	PENDÊNCIAS IMPEDITIVAS		PENDÊNCIAS NÃO IMPEDITIVAS		SOMA	PENDÊNCIAS IMPEDITIVAS		PENDÊNCIAS NÃO IMPEDITIVAS		SOMA
	QUANT.	%	QUANT.	%		QUANT.	%	QUANT.	%	
Tubulação e Acessórios	7	44%	9	56%	16	3	50%	3	50%	6
Equipamentos Rotativos	11	44%	14	56%	25	3	33%	6	67%	9
Equipamentos Estáticos	3	27%	8	73%	11	2	33%	4	67%	6
Equipamentos e Cabos Elétricos	13	46%	15	54%	28	6	43%	8	57%	14
Instrumentação	9	41%	13	59%	22	5	42%	7	58%	12
TOTAL DE PENDÊNCIAS	43		59		102	19		28		47

Fonte: Elaborado pelo autor (2020)

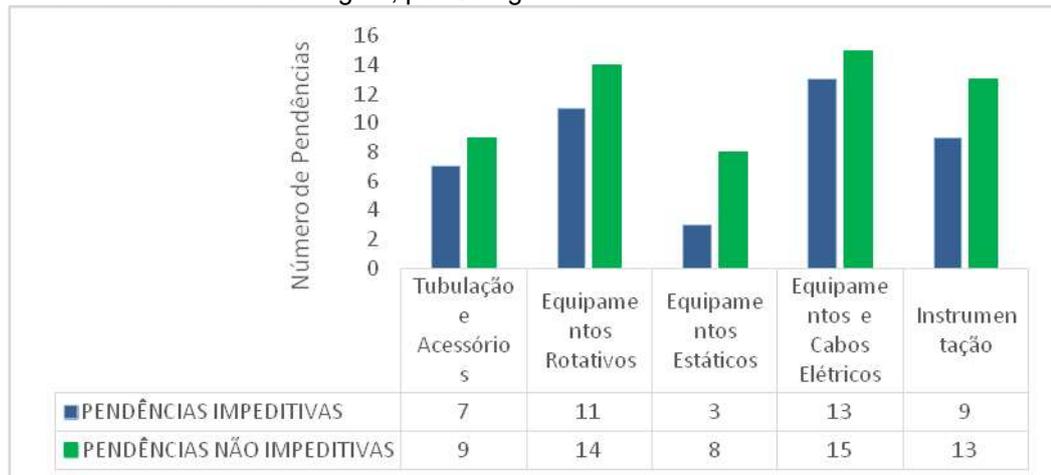
Na Tabela 1, foram registradas as pendências durante a primeira montagem da planta piloto de RMV, quando a mesma foi montada no município de Simões Filho (BA), em 2015, onde o comissionamento teve realização através do conhecimento empírico dos comissionadores. Seguindo as melhores práticas de suas vivências com as atividades de comissionamento, a equipe não se baseou em procedimentos, check lists, certificados, folhas de verificação dos itens ou malhas etc.

Ainda na Tabela 1, foram registradas as pendências durante a segunda montagem da planta piloto de RMV, quando a mesma teve sua remontagem no município de Camaçari (BA), no SENAI CIMATEC PARK, em 2019. Nessa montagem o comissionamento foi realizado com integração e sistematização, onde as atividades de comissionamento se basearam em documentos previamente elaborados para a realização das atividades, além do planejamento da sequencias das ações de comissionamento, levando em consideração uma rede de precedência, que demonstra a sequência operacional e a sequência de partida dos SSOP e SOP da Planta Piloto de RMV.

Segue-se com análise gráfica dos dados registrados na Tabela 1, para melhor interpretação e comparação do desempenho da aplicação da metodologia de comissionamento integrada e sistemática, aplicada na segunda montagem da Planta piloto de RMV.

Na Figura 12, observa-se que na primeira montagem da Planta Piloto de RMV, foi registrado um número de pendências significativo por categoria de itens comissionáveis, sendo que as disciplinas de elétrica e equipamentos rotativos lideram as pendências impeditivas a partida da planta. As duas juntas somaram 24 pendências impeditivas, as demais disciplinas somaram 19 pendências impeditivas. Para resolver esse tipo de pendências foi necessária uma sinergia das equipes de montagem e comissionamento, através do conhecimento empírico adquirido ao longo das suas carreiras profissionais. Cada disciplina possuía especialistas técnicos. As pendências encontradas possuíam erros de projetos, fornecimento e montagem.

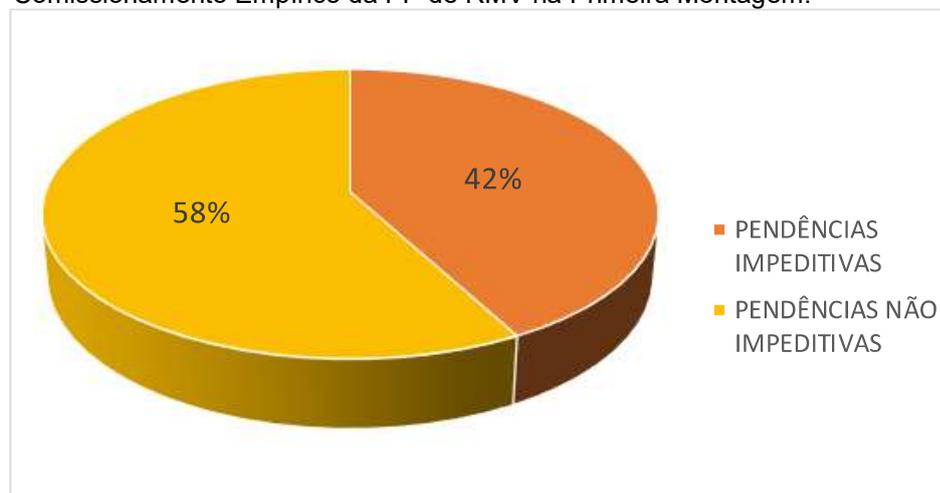
Figura 12 - Pendências Impeditivas e Não Impeditivas no Comissionamento Empírico da PP de RMV na Primeira Montagem, por Categoria.



Fonte: Elaborado pelo autor (2020)

Na Figura 13, é possível observar o percentual somado das pendências impeditivas versus não impeditivas. Foram registradas 43 pendências impeditivas (representa 42%, em relação ao total de 102 pendências) e 59 pendências não impeditivas (representa 58%, em relação ao total de 102 pendências), na primeira montagem da Planta Piloto de RMV. Esses resultados corroboram com a descrição da importância da existência de um comissionamento bem estruturado em termos de planejamento e gestão para identificação previa das pendências, redução de custo e tempo de retrabalho, assim como a previsão de possíveis falhas de projeto e montagem, conforme descrito por Ney e Fortes (2017).

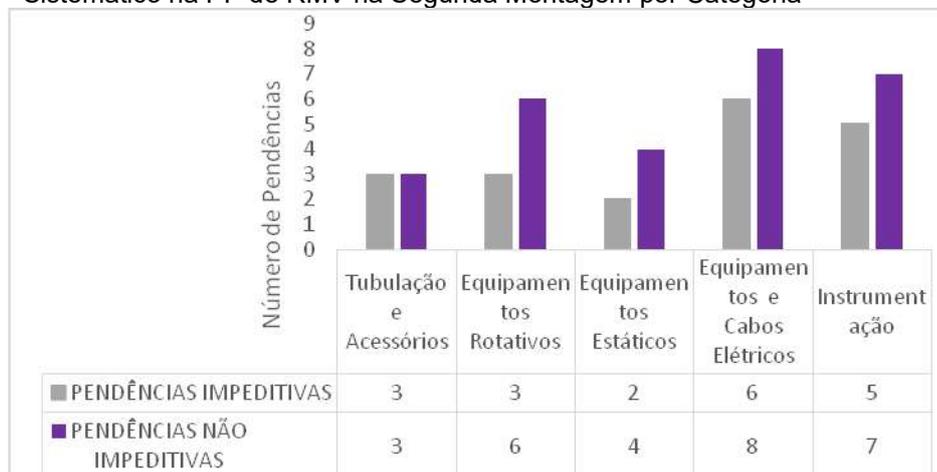
Figura 13 - Somatório das Pendências Impeditivas e Não Impeditivas no Comissionamento Empírico da PP de RMV na Primeira Montagem.



Fonte: Elaborado pelo autor (2020)

Na Figura 14, observa-se que na segunda montagem da planta piloto de RMV, foi registrado um número reduzido de pendências, por categoria de itens comissionáveis em relação a primeira montagem. As disciplinas de elétrica e equipamentos rotativos tiveram redução expressiva no número de pendências, as duas disciplinas juntas somaram 9 pendências impeditivas, as demais disciplinas juntas somaram 10 pendências impeditivas. Para sanar esses tipos de pendências a equipe de comissionamento atuou de forma sistematizada, apoiada pelas lições aprendidas do primeiro comissionamento, procedimentos para sanar as pendências e embasamento literário das pesquisas realizadas.

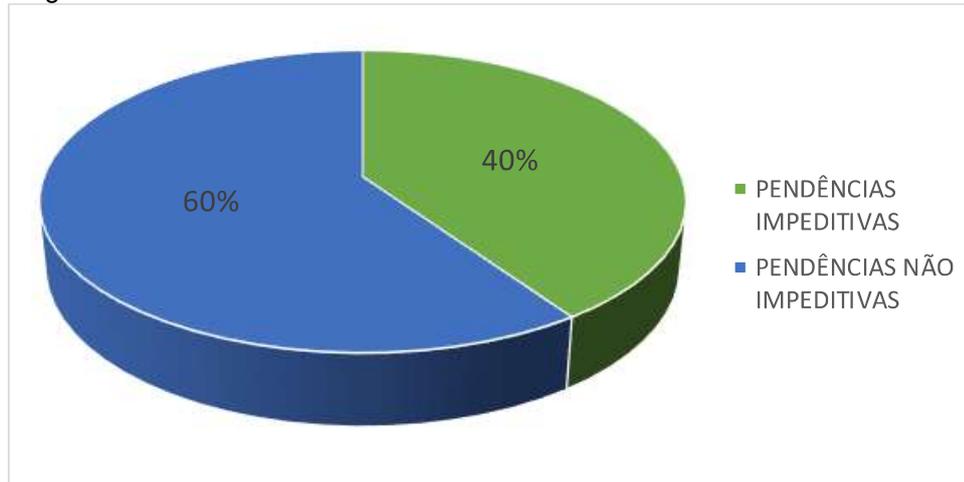
Figura 14 - Pendências Impeditivas e Não Impeditivas no Comissionamento Integrado e Sistemático na PP de RMV na Segunda Montagem por Categoria



Fonte: Elaborado pelo autor (2020)

A Figura 15 demonstra o percentual somado das pendências impeditivas versus não impeditivas durante a segunda montagem. Foram registradas 19 pendências impeditivas (representa 40%, em relação ao total de 47 pendências) e 28 pendências não impeditivas (representa 60%, em relação ao total de 47 pendências) na segunda montagem da Planta Piloto de RMV. Nesse contexto, estes resultados corroboram com a importância de um planejamento estruturado e sistematizado, focado no processo do comissionamento desde o início do empreendimento, permitindo um planejamento prévio com elaboração do plano de comissionamento, estruturação da equipe de comissionamento e do seu ferramental, conforme descrito por King (2012).

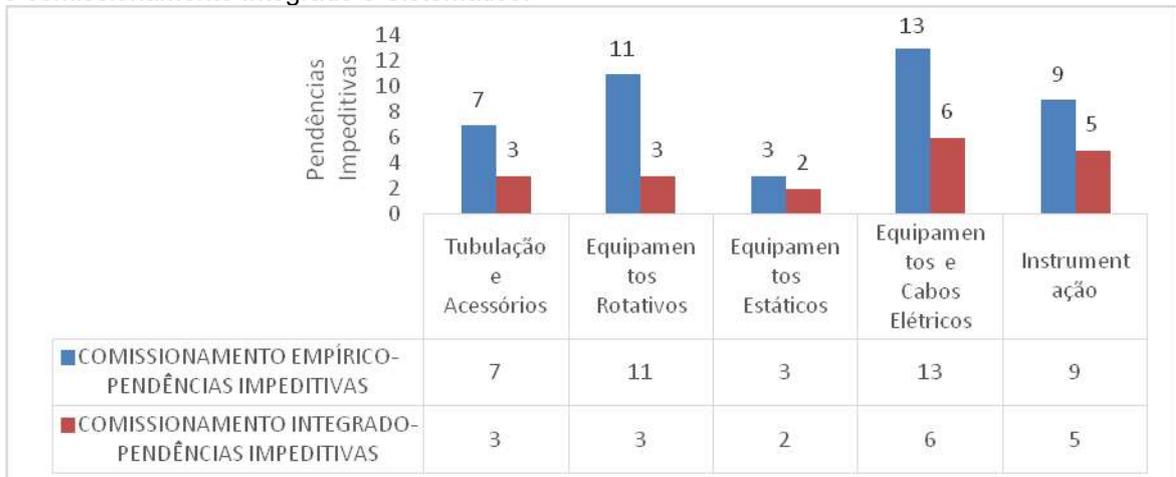
Figura 15 - Somatório das Pendências Impeditivas e Não Impeditivas no Comissionamento Integrado e Sistemático.



Fonte: Elaborado pelo autor (2020)

Na Figura 16 foi realizada uma comparação entre as pendências impeditivas encontradas na primeira montagem em contrapartida com a segunda montagem da Planta Piloto de RMV. Os dados demonstram uma redução significativa no número de pendências impeditivas por categoria dos itens comissionáveis. Exemplo: Tubulação de 07 para 03; Rotativos de 11 para 03; Estático de 03 para 02; Elétrica de 13 para 03 e Instrumentação de 09 para 05. Essa redução permitiu uma resposta mais rápida e eficiente da equipe de comissionamento na resolução das pendências impeditivas, dando condições à liberação da planta para a operação.

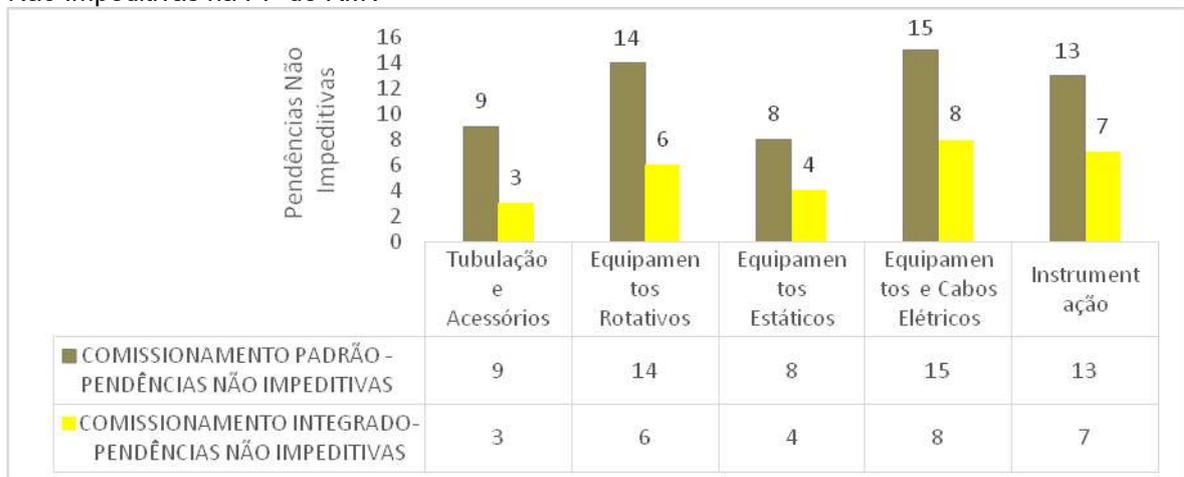
Figura 16 - Comparativo do Número de Pendências Impeditivas entre o comissionamento empírico e o comissionamento Integrado e Sistemático.



Fonte: Elaborado pelo autor (2020)

Na Figura 17 foi feita uma comparação entre as pendências não impeditivas encontradas na primeira montagem em contrapartida com a segunda montagem da Planta Piloto de RMV. Foi constatado por categoria de itens comissionáveis uma redução no número de pendências não impeditivas. Exemplo: Tubulação de 09 para 03; Rotativos de 14 para 06; Estático de 08 para 04; Elétrica de 15 para 08 e Instrumentação de 13 para 07. As pendências não impeditivas foram sanadas pela equipe de comissionamento, logo após a operação da Planta Piloto de RMV, visto que as mesmas não eram impeditivas à partida da unidade.

Figura 17 - Comissionamento Empírico x Comissionamento Integrado e Sistemático, Pendências Não Impeditivas na PP de RMV



Fonte: Elaborado pelo autor (2020)

Com dados obtidos durante o primeiro comissionamento (Comissionamento Empírico) e o segundo comissionamento (Comissionamento Integrado e Sistemático), realizado no ambiente do estudo de caso dessa pesquisa, constatou-se através de dados a importância relatada em diversos trabalhos pesquisados na revisão da literatura, base deste trabalho. Segundo um dos autores, Bendiksen e Young (2005), de 80% a 90% dos riscos que se caracteriza na etapa de comissionamento poderiam ser previstos e por consequência evitados, diminuindo significativamente o retrabalho. Todo retrabalho tem custo financeiro atrelado, em função do Homem-Hora (HH) empregado para a execução das atividades, porém, quando o retrabalho é reduzido, entende-se que a redução de custo é proporcional a redução desse retrabalho. Com a redução do retrabalho, o tempo de execução do comissionamento, pré-operação, partida e operação assistida é reduzido, e essa redução de tempo de execução pode gerar uma economia financeira significativa para o empreendimento. Esse trabalho

não trata especificamente desses valores de redução financeira, porém a planta piloto de RMV teve na prática uma redução de 45 para 30 dias de operação assistida. O que demonstra para os gestores e tomadores de decisão a importância de uma política voltada para a engenharia de comissionamento e a importância do emprego da mesma, desde os primeiros passos do projeto, independente se o empreendimento é novo ou existente e seu segmento industrial.

5 CONCLUSÕES

Para a realização deste trabalho foi realizado um estudo de caso que teve duas etapas de análise, através de dois comissionamentos distintos, o primeiro com base no conhecimento empírico dos comissionadores e o segundo comissionamento teve como base o conhecimento empírico, lições aprendidas, procedimentos e revisão bibliográfica.

Este trabalho fundamentou os requisitos do comissionamento mínimo para a planta piloto RMV, caracterizando cada item e também o seu conjunto, para que o mesmo desempenhe o seu papel conforme os requisitos mínimos necessários a sua funcionalidade e também represente o seu correto papel junto ao seu entorno (malhas, subsistemas e sistemas), uma vez que os ativos dos diversos segmentos industriais em caso de falha podem causar impactos ambientais desastrosos com custos financeiros incalculáveis, podendo resultar em danos materiais e pessoais dos colaboradores atuantes no empreendimento.

A aplicação piloto em um empreendimento para validação do conceito mostrou que há divergência nas aplicações das técnicas usadas para comissionamento por parte dos comissionadores que utilizam seu conhecimento empírico para a realização da atividade. Desta forma, esta pesquisa buscou identificar os pontos de melhorias e preenchimento dessas lacunas, propor as atividades primárias para comissionamento dos itens comissionáveis, malhas, subsistemas e sistemas. Além disso sugerir um macrofluxo do processo de comissionamento, que pode ser utilizado como base para os comissionadores, permitindo aplicação em qualquer segmento industrial, deficiente em metodologia de comissionamento.

A aplicação da metodologia ordenada de comissionamento no estudo de caso identificou a necessidade da sistematização e direcionamento das atividades de comissionamento, através de documentos e procedimentos que relacionem e integrem a base de execução do comissionamento para cada item comissionável, malhas, subsistemas e sistema operacional de processo. A viabilidade da metodologia foi analisada de acordo com a qualidade da completação mecânica dos itens comissionáveis e a qualidade dos testes de aceitação de performance dos subsistemas e sistemas operacionais de processo, e por fim o quantitativo de pendência registradas por itens comissionáveis. Analisando as causas das pendências, foi possível propor ações e atividades que permitissem o

comissionamento dos instrumentos ou equipamentos e operabilidade dos mesmos, sem pendências impeditivas à partida do empreendimento. Essa reformulação permitiu uma redução no retrabalho de montagem e comissionamento, onde se perde muito em HH, para a correção das falhas identificadas dos projetos, fornecimento e comissionamento. Houve uma redução no tempo de partida do empreendimento, visto que existia uma garantia mínima de operabilidade dos itens comissionáveis e suas respectivas integrações. A operação assistida que marca o fim do comissionamento no empreendimento que tem sua vigência de acordo com cada contrato, essa etapa foi reduzida de 45 dias para 30 dias, onde as responsabilidades da equipe de comissionamento foram transferidas para a equipe de manutenção do empreendimento. A redução da vigência da fase de operação assistida se deu pela redução do número de ocorrências para intervenção da equipe de comissionamento.

Além das questões econômicas, a não realização do comissionamento pode trazer grande impacto nas questões de segurança e poluição ambiental, tais como: vazamentos em tubulações ou em tanques de armazenamento de produtos, rompimento de válvulas, explosões de equipamentos, plantas, plataformas e instalações diversas. Sem os testes prévios antes da retomada ou primeira vez em operação, esses eventos podem ser seguidos de incêndios ou explosões de grandes proporções com custos de recuperação exorbitantes, impacto ambiental incalculável e perda de vidas humanas.

6 SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS

- Análise de viabilidade econômica do comissionamento na redução de retrabalhos, devido a erros de projetos e montagem eletromecânica;
- Avaliação dos benefícios ambientais proporcionados pela realização do descomissionamento em oleodutos;
- Desenvolvimento de ferramentas para o comissionamento virtual e sua aplicação na indústria de processos contínuos;
- Análise do desempenho e performance do recomissionamento após implantação do comissionamento inicial e do retrocomissionamento.
- Estudo de correlação do comissionamento contínuo e segmento de manufatura.

7. DIVULGAÇÕES DA PESQUISA

7.1 ARTIGOS COMPLETOS PUBLICADOS EM CONGRESSOS

- SOUZA, V.; GUARIEIRO, L. **Metodologias de comissionamento para implantação de novo processo em uma planta industrial: uma breve revisão.** SIINTEC - International Symposium on Innovation and Technology. Salvador, ano 4, p. 1–8, outubro, 2018.
- SOUZA, V.; MIGUEL JUNIOR, A.; DA COSTA, C. C. F. WINKLER, I. SAMPAIO, R. R. **O case *wisemotion* sob a ótica neoschumpeteriana.** SIINTEC - International Symposium on Innovation and Technology. Salvador, ano 4, p. 1–8, outubro, 2018.
- SOUZA, V.; LEÃO, A. S.; PESSOA, F. L. P.; DA SILVA CALIXTO, E. E. **Minimização do Uso de Água e Geração de Efluentes através do Método do Diagrama de Fontes de Água.** SIINTEC - International Symposium on Innovation and Technology. Salvador, ano 5, p. 1–9, outubro, 2019.
- SOUZA, V.; MIGUEL JUNIOR, A.; SANTOS, A. A. B. **Estudo Comparativo de Eficiência Energética e Exegética de um processo Spray Dryer Alimentado por Energia Elétrica e Gás Natural.** CIBIM – Congreso Iberoamericano de Ingeniería Mecánica. Cartagena, ano 14, p. 1–5, novembro, 2019.

7.2 CAPÍTULOS DE LIVROS

- SOUZA, V.; GUARIEIRO, L. **Metodologias de comissionamento para implantação de novo processo em uma planta industrial: uma breve revisão.** In: WINKLER, Ingrid *et al.* Ciência, Tecnologia e Inovação: Desafio para um Mundo Global. Ponta Grossa, PR: Atena, 2019. p. 24 – 30.
- SOUZA, V.; MIGUEL JUNIOR, A.; DA COSTA, C. C. F. WINKLER, I. SAMPAIO, R. R. **O case *wisemotion* sob a ótica neoschumpeteriana.** In: WINKLER, Ingrid *et al.* Ciência, Tecnologia e Inovação: Desafio para um Mundo Global. Ponta Grossa, PR: Atena, 2019. p. 95 – 102.

7.3 CAPÍTULOS DE LIVROS ACEITO PARA PUBLICAÇÃO

- SOUZA, V.; MIGUEL JUNIOR, A.; SANTOS, A. A. B. **Estudo Comparativo de Eficiência Energética e Exegética de um processo Spray Dryer Alimentado por Energia Elétrica e Gás Natural.** In: SOBRENOME DO

AUTOR DO EBOOK , Prenome. Engenharia na Prática: Importância Teórica e Tecnológica. Ponta Grossa, PR: Atena, 2020. p. xx – yy.

7.4 ARTIGO EM ELABORAÇÃO

- Proposta de metodologia de comissionamento: estudo de caso planta piloto de recuperação de metais valiosos

REFERÊNCIAS

ÁGÚSTSSON, Rúnar Örn; JENSEN, Per Anker. Building commissioning: what can Denmark learn from the US experience. **Journal of Performance of Constructed Facilities**. v. 26. n. 3. 2012.

AKASHI, Yasunori *et al.* The IEA/ECBCS/Annex 40. **Glossary On Commissioning**. 2004.

ALMASI, A. Pre-commissioning, commissioning and start-up of industrial plants and machineries. **Australian Journal of Mechanical Engineering**. v. 12. n. 2. p. 257-263. 2014.

ARAUJO, T. E. **Proposta para adequação da engenharia de comissionamento como área de extensão para o PMBOK**. SEGeT: Simpósio de Excelência em Gestão e Tecnologia. Rio de Janeiro, ano 12. p. 1-12. out., 2015.

ASIWAJU, O.; THOMSEN, P. **Parametrização do desempenho de equipamentos e sistemas de processos**. S.A. Armstrong Limited (CA). BR n. PI 011335, 02 dez. 2016, 15 out. 2019

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5410: Instalações Elétricas de Baixa Tensão**. Rio de Janeiro, 1997.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16315: Instalação e Comissionamento de Máquinas**. Rio de Janeiro, 2014.

BENDIKSEN, T.; YOUNG, G. **Commissioning of offshore oil and gas projects: the manager's handbook**. 2 ed. Estados Unidos: AuthorHouse, 2005.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. **NR13 – Manual Técnico de Caldeiras e Vasos de Pressão**. (Portaria nº 23/94), Brasília, DF: TEM/SIT/DSST, 2006. 124 p. Ed. Comemorativa 10 anos da NR-13.

BRITO, A. S; RIBEIRO, H; MATOS, L. M. **Comissionamento em Sistemas de Tubulações de Utilidades: Aplicação do Comissionamento a um Sistema de Resfriamento**. 187p. Monografia (Curso de Construção e Montagem de Tubulações Industriais – Ênfase em Petróleo e Gás). FIRJAN/SENAI – Instituto SENAI de Educação Superior. Rio de Janeiro, 2010.

BUZZETI, R. P. COUTINHO, I. **Comissionamento: o que é, para que serve e quem faz.** Project Management Knowledge Base (PMKB). Disponível em: <<https://pmkb.com.br/artigos/comissionamento-o-que-e-para-que-serve-e-quem-faz/>> Acesso em: 02 abr. 2020.

CASTRO N., **Commissioning of HVAC Systems for Improved Energy Performance:** IEA Annex 40 Update. National Conference on Building Commissioning. Atlanta, Georgia, USA, 2004.

CASTRO, N.; CHOINIÈRE, D. **Cost-Effective Commissioning for Existing and Low Energy Buildings - A New IEA ECBCS Research Project.** In: Proceedings of the National Conference on Building Commissioning. abr, 2006.

CHOINIÈRE, Daniel *et al.* **Annex 47 Report 1:** Commissioning Overview. Canadá: International Energy Agency, Energy Conservation in Buildings and Community Systems Programme, 2011.

CONSELHO FEDERAL DE ENGENHARIA E AGRONOMIA. CONFEA. **Manual de Procedimentos para Verificação e a Fiscalização do Exercício e da Atividade Profissional.** Brasília, 2007.

CORSO, E. *et al.* Mapeamento do processo produtivo em uma indústria de móveis. **CONNEXIO Revista Científica de Gestão e Negócios.** ISSN 2236-8760. Universidade Potiguar. v. 4. n. 2. p. 39-53, 2015.

COSTA, C. E. S. *et al.* Industrial Wireless Instrumentation and the Current Commissioning Model. **IFAC Proceedings Volumes.** v. 47. n. 3. p. 2617-2621, South Africa: Elsevier, august 2014.

E2INTERACTIVE, INC. D/B/A E2INTERACTIVE, INC. (US). MERRILL, B. S. *et al.* **Índícios transferíveis e visor com sistema de comissionamento relacionado.** BR n. PI 022220 7, 22 mar.2013, 22 ago. 2017.

FERI, L.; SCHENK, T. C. W.; KNIBBE, J.E. **Controlador remoto para comissionamento de uma fonte de luz em sistema de iluminação codificada e método para o comissionamento de uma fonte de luz em um sistema de iluminação codificada.** Philips Lighting Holding B.V (NL). BR n. PI009797 0, 21 out. 2010, 05 set. 2017.

FERRETTI, N. M.; MIYATA, M.; BAUMANN, O. A retrospective on the impact of Annex 40 and Annex 47 research on the international state of building commissioning. **Energy and Buildings**. v. 158. p. 54-61, 2018.

FRIEDMAN, H. *et al.* **Annex 47 Report 3: Commissioning Cost-Benefit and Persistence of Savings**. National Institute of Standards and Technology Technical Note 1727. dec., 2011.

GANDRA, R. M. **Comissionamento em projetos industriais de investimento: considerações sobre esta ferramenta do processo de controle da qualidade**. v. 17. n. 12. p. 12. Publicado em: set., 2011. Disponível em: <https://www.pmisp.org.br/enews/edicao1109/artigo_02.asp> Acesso em: 02 abr. 2020.

HEINZ, J.A.; CASALT, R. **The Building Commissioning Handbook**. APPA: The Association of Higher Education Facilities Officers, 1446 Duke St., Alexandria, VA 22314-3492, 1996.

HELLENBRAND, Christoph. **Dispositivo de comissionamento para produtos em partes, e processo para saída de produtos em partes a partir de um dispositivo de comissionamento**. Becton Dickinson Rowa Germany GMBH. BR n. PI 0116472, 07 jul, 2016, 06 mar. 2018.

JOHANNING, J.; KEIL, B. **Método para o comissionamento de um reator auto térmico para a geração de gás de síntese reformando-se gases de alimentação que contém hidrocarboneto em uma câmara de reação onde as reações de oxidação e reforma acontecem**. Thyssenkrupp UHDE GMBH (DE). Br n. PI 023005 3, 13 mar. 2012, 10 abr. 2018

KILLCROSS, M. **Chemical and process plant commissioning handbook: A practical guide to plant system and equipment installation and commissioning**. Elsevier, 2011.

KING, D. M. **Commissioning Planning through an Operational Precedence Net Using the Primavera Software**. In: International Conference on Offshore and Marine Technology: Science and Innovation. IEEE, p. 62-66, march 2012.

KNEBEL, D. E.; MCBRIDE, M. F. **ASHRAE guideline: The commissioning process, 0-2005**. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. Atlanta, 2005.

KONINKLIJKE PHILIPS ELECTRNICS N. V. (NL). Petrus D. V Van Der Stok. **Comisionamento automático de dispositivos de um sistema de controle em rede programa de computador portador de registros sistemas para o comissionamento automático de dispositivos de um sistema de controle em rede e dispositivo.** BR n. PI 1005921, 19 fev. 2010, 24 set. 2019.

LAURINDO, Q. M. G. *et al.* Comissionamento de uma linha de produção no software de simulação a eventos discretos Ururau. **GEPROS: Revista de Gestão da Produção, Operações e Sistemas.** ano 12. n.1. p. 1-26. São Paulo, março 2017.

LEGRIS, Chloé, *et al.* **Annex 47 Report 1: Commissioning Overview.** National Institute of Standards and Technology. NIST Technical Note 1725. nov., 2010.

MARCHETTE, C. F.; OLIVEIRA. S. L.H. **Contribuições do comissionamento para a gestão da segurança de processo de um terminal de armazenamento de GLP e gasolina natural.** SIMEP: Simpósio de Engenharia de Produção. Santa Catarina, ano 5. p. 1-13. Maio, 2017.

MCCORMACK, A. J. **Sistema de rede sem fio, dispositivo de união para uso em um sistema de rede sem fio, método de comissionamento de um sistema de rede sem fio e programa de computador.** Philips Lighting Holding B.V. (NL). BR n. PI PI 1009743, 08 jun. 2010, 15 mar. 2016.

MONTENEGRO, B. **O Comissionamento Durante as Fases de Construção de um Empreendimento Complexo.** EPC News: abril, 2009.

NANCY M. K. *et al.* **Sistema e processo para comissionamento de serviço de telecomunicações total.** DSC TELECOM L.P. (US). BR n. PI 9710710, 22, mai. 1997, 17 ago. 1999.

NEY, A. M. G.; FORTES, Z. M. Metodologia para processo integrado de comissionamento em unidades industriais. **SISTEMA & GESTÃO: Revista Eletrônica.** v. 12. n. 2. p. 246-251. Rio de Janeiro. jun, 2017.

O'CONNOR, James T.; MOCK, Brant D. Construction, commissioning, and startup execution: problematic activities on Capital projects. **Journal of Construction Engineering and Management.** v. 145. n. 4. 2019.

PETROBRAS BRASIL. **Manual de Engenharia – Implantação de Empreendimentos.** v. 2. Rio de Janeiro: PETROBRAS, 2010. 150p.

PRATES, A. Inovações Tecnológicas no Comissionamento de Projetos de Óleo & Gás. **Revista TN Petróleo**. ano 9. n. 50. 2006.

PROJECT MANAGEMENT KNOWLEDGE BASE. PMKB. **Requisitos básicos de Comissionamento**. Disponível em: <<http://pmkb.com.br/download/requisitos-basicos-de-comissionamento/>>. Acesso em: 15 set. 2019.

SOUZA, D. B. L. Gestão do conhecimento nas organizações: desafios e oportunidades. **Revista Estação Científica**. n.3. Juiz de Fora, out., 2006.

SOUZA, V. **Manual de Comissionamento do Terminal de Regaseificação da Bahia**. Salvador: CONSÓRCIO GNL BAHIA, 2013. 62 p.

SOUZA, V. **Procedimento de Controle e Resolução de Pendências do Terminal de Regaseificação da Bahia**. Salvador: CONSÓRCIO GNL BAHIA, 2012. 08 p.

SOUZA, V.; GUARIEIRO, L. **Metodologias de comissionamento para implantação de novo processo em uma planta industrial: uma breve revisão**. SIINTEC - International Symposium on Innovation and Technology. Salvador, ano 4, p. 1–8, outubro, 2018.

VERRI, L. A. **Gestão de ativos: o comissionamento antecipado na construção e montagem como vetor positivo na preservação da confiabilidade**. XXVII Congresso da Abraman, Rio de Janeiro: 2013.

VISIÉ, J. C. **Commissioning of Building HVAC Systems for Improved Energy Performance: A Summary of Annex 40 Results**. 2004.

WU, W.; ISSA, R. R. A. **BIM-enabled building commissioning and handover**. In: Computing in Civil Engineering 2012. p. 237-244.

WÜNSCHER, E. **Sistema de comissionamento**. KNAPP HOLDING GMBH (AT). BR n. PI 9609540, 17 jul. 1996, 23 fev. 1999.

WÜNSCHER, E.; FREUDELSPERGER, K. **Instalação de comissionamento para fornecer automaticamente itens alongados**. KNAPP HOLDING GMBH (AT). BR n. PI 9612143, 18 dez. 1996, 28 dez. 1999.

APÊNDICES

APÊNDICE A – Segregação das Malhas de Monitoramento e Controle

SSOP	MALHA	DESCRIÇÃO	CATEGORIA
Sistema de água	01-P-001	Pressão de água de resfriamento da lança	Monitoramento
	01-T-001	Temperatura da água de resfriamento da lança	Monitoramento
	01-X-001	Bomba de alimentação da água de resfriamento da lança	Controle
Sistema de Chama	02-B-001	Ignitor – Acionamento do queimador auxiliar 02-QU-01	Controle
	02-B-002	Chama – Queimador Auxiliar 02-QU-01	Monitoramento
	02-F-001	Vazão de oxigênio da lança 02-LC-01	Controle
	02-F-002	Vazão de AR Comprimido – combustão da lança 02-LC-01	Controle
	02-F-003	Vazão de AR Comprimido – SHROUD da lança 02-LC-01	Controle
	02-F-004	Vazão de AR Comprimido – queimador auxiliar 02-QU-01	Controle
	02-F-005	Vazão de Gás Natural – lança 02-LC-01	Controle
	02-F-006	Vazão de Gás Natural – Queimador auxiliar 02-QU-01	Controle
	02-B-003	Ignitor (Status) – queimador auxiliar 02-QU-01	Monitoramento
	02-P-001	Pressão alta de oxigênio para a lança 02-LC-01	Monitoramento
	02-P-002	Pressão alta de AR Comprimido para a lança 02-LC-01	Monitoramento
	02-P-003	Pressão alta de Gás Natural para a lança 02-LC-01	Monitoramento
	02-P-004	Pressão alta Gás Natural para o queimador auxiliar 02-QU-01	Monitoramento
	02-P-005	Pressão baixa de oxigênio para a lança 02-LC-01	Monitoramento
	02-P-006	Pressão baixa de AR Comprimido para a lança 02-LC-01	Monitoramento
	02-P-007	Pressão baixa de AR Comprimido SHROUD da lança 02-LC-01	Monitoramento
	02-P-008	Pressão baixa de AR Comprimido para o queimador auxiliar 02-QU-01	Monitoramento
	02-P-009	Pressão baixa de gás natural para a lança 02-LC-01	Monitoramento
	02-P-010	Pressão na saída do forno 02-FO-01 para o Adiabático	Monitoramento
	02-X-009	Bloqueio de oxigênio para a lança 02-LC-01	Controle
	02-X-010	Bloqueio de oxigênio para a lança 02-LC-01	Controle
	02-X-011	Bloqueio de Gás Natural para a lança 02-LC-01	Controle

	02-X-012	Bloqueio de Gás Natural para a lança 02-LC-01	Controle
	02-X-013	Bloqueio de gás natural – queimador auxiliar 02-QU-01	Controle
	02-X-014	Bloqueio (GN) – Queimador auxiliar 02-QU-01	Controle
	02-X-015	Bloqueio (GN) – Queimador auxiliar 02-QU-01	Controle
	02-X-016	Purga Ar Comprimido - lança 02-LC-01	Controle
	02-X-017	Alívio oxigênio - lança 02-LC-01	Controle
	02-Z-001	Posição da lança	Monitoramento
	02-X-018	Alívio de oxigênio – lança 02-LC-01	Monitoramento
	02-Z-011	Posição aberta válvula 02-SSV-01	Monitoramento
	02-Z-012	Posição aberta válvula 02-SSV-02	Monitoramento
	02-Z-013	Posição fechada válvula 02-SSV-01	Monitoramento
	02-Z-014	Posição fechada válvula 02-SSV-02	Monitoramento
	02-Z-015	Posição fechada válvula 02-XV-01	Monitoramento
Sistema do Forno	02-X-001	Esteira de Carga 02-TC-01, alimentação do forno	Controle
	02-X-002	Talha 02-MLC-01 de movimentação da lança	Controle
	02-X-003	Talha 02-MFO-01 de inclinação do forno	Controle
	02-X-004	Talha 02-MCD-01 de inclinação do cadinho	Controle
	02-X-005	Talha 02-MCD-02 de movimentação do cadinho	Controle
	02-X-006	Ventilador do secador 02-VE-01	Controle
	02-Z-002	Posição Vertical – forno 02-FO-01	Monitoramento
	02-Z-003	Posição intermediária – forno 02-FO-01	Monitoramento
	02-Z-004	Posição basculada – forno 02-FO-01	Monitoramento
	02-Z-005	Posição superior do cadinho 02-CD-01	Monitoramento
	02-Z-006	Posição inferior do cadinho 02-CD-01	Monitoramento
	02-Z-007	Posição rotação esquerda do cadinho 02-CD-01	Monitoramento
	02-Z-008	Posição central do cadinho 02-CD-01	Monitoramento
	02-Z-009	Posição rotação direita do cadinho 02-CD-01	Monitoramento
	02-Z-010	Posição de operação da moldeira	Monitoramento
	02-X004	Talha inclinação do cadinho 02-MCD-01	Monitoramento

Sistema do Painel de Comando	02-T-001	Temperaturas de saída do forno 02-FO-01	Monitoramento
	02-Y-001	Botoeira de emergência do forno 02-FO-01	Monitoramento
	02-X-007	Dosador 02-TH-01	Monitoramento
	02-X-008	Dosador 02-TH-02	Monitoramento
	02-S-001	Controle de Velocidade do dosador 02-TH-01	Controle
	02-S-002	Controle de Velocidade do dosador 02-TH-02	Controle
	02-W-001	Peso – Célula de carga dosadora 02-TH-01	Monitoramento
	02-W-002	Peso – Célula de carga dosadora 02-TH-02	Monitoramento
Sistema de Tratamento de Gases	03-A-001	Medição de pH – lavadora de gases 03-TA-02	Monitoramento
	03-X-001	Motor – Bomba de solução ácida 03-BC-01	Monitoramento
	03-X-002	Motor – Bomba de solução alcalina 03-BC-02	Monitoramento
	03-X-003	Motor – Resfriador A AR 03-RF-02	Monitoramento
	03-X-004	Motor – Exaustor 03-VE-01	Controle
	03-X-005	Motor – Exaustor 03-VE-02	Controle
	03-X-006	Motor – Compressor 01-GB-01	Controle
	03-X-007	Motor 02 – Resfriador a AR 03-RF-02	Controle
	03-P-001	Pressão diferencial do filtro de mangas 03-FI-01	Monitoramento
	03-P-002	Pressão diferencial do resfriador secundário 03-TA-01	Monitoramento
	03-P-003	Pressão diferencial do resfriador secundário 03-TA-02	Monitoramento
	03-S-001	Controle de velocidade Exaustor 03-VE-01	Controle
	03-S-001	Controle de velocidade Exaustor 03-VE-02	Controle
	03-X-008	Acionamento do AR Comprimido do filtro de mangas	Controle
	03-X-009	Acionamento (H2O) – Resfriador secundário 03-TA-01	Controle
	03-T-001	Temperatura do Resfriador a AR 03-RF-01	Controle
	03-T-002	Temperatura do Resfriador a AR 03-RF-02	Monitoramento
	03-T-003	Temperatura resfriador secundário 03-TA-01	Monitoramento

APÊNDICE B – Relação de Itens Commissionáveis da Planta Piloto - Instrumentação

MALHA	TAG	DESCRIÇÃO
	01-PI-01	Pressão de suprimento de água
	01-PIT-01	Pressão da água da lança
	01-TI-01	Temperatura do tanque de água 01-TQ-01
	01-TIT-01	Temperatura da água da lança
	02-BS-01	Sensor de chama do QA 02-QU-01
	02-FCV-01	Controle de vazão de O ₂
	02-FCV-02	Controle de vazão de AC de combustão
	02-FCV-03	Controle de vazão de AC de shrould
	02-FCV-04	Controle de vazão de AC do QA 02-QU-01
	02-FCV-05	Controle de vazão de GN da lança
	02-FCV-06	Controle de vazão do QA 02-QU-01
	02-FI-01	Borbulhador de alívio de O ₂
	02-FI-02	Borbulhador de alívio de GN
	02-FIT-01	Transmissor/indicador de vazão de O ₂
	02-FIT-02	Transmissor/indicador de vazão de AC de combustão
	02-FIT-03	Transmissor/indicador de vazão de AC de shrould
	02-FIT-04	Transmissor/indicador de vazão de AC do QA 02-QU-01
	02-FIT-05	Transmissor/indicador de vazão de GN da lança
	02-FIT-06	Transmissor/indicador de vazão de GN do QA 02-QU-01
	02-HS-01	Partida da Esteira de carga 02-TC-01
	02-PCV-01	Controle de pressão de O ₂
	02-PCV-02	Controle de pressão de AC
	02-PCV-03	Controle de pressão de GN
	02-PI-01	Pressão de suprimento de O ₂

	02-PI-02	Pressão de suprimento de O2
	02-PI-03	Pressão de entrada de O2 do difusor 02-DF-01
	02-PI-04	Pressão de suprimento de AC
	02-PI-05	Pressão de suprimento de AC
	02-PI-06	Pressão de AC de combustão para a lança
	02-PI-07	Pressão de AC de shroud para a lança
	02-PI-08	Pressão de AC do QA 02-QU-01
	02-PI-09	Pressão de suprimento de GN
	02-PI-10	Pressão de suprimento de GN
	02-PI-11	Pressão de GN da lança
	02-PI-12	Pressão de GN do QA 02-QU-01
	02-PIT-01	Pressão dos gases de saída do forno 02-FO-01
	02-PIT-02	Pressão dos gases de saída do forno 02-FO-01
	02-PRV-02	Válvula de alívio de GN
	02-PSH-01	Pressostato de alta pressão do O2
	02-PSH-02	Pressostato de alta pressão de AC de combustão
	02-PSH-03	Pressostato de alta pressão de GN da lança
	02-PSH-04	Pressostato de alta pressão do QA 02-QU-01
	02-PSL-01	Pressostato de baixa pressão do O2
	02-PSL-02	Pressostato de baixa pressão de AC de combustão
	02-PSL-03	Pressostato de baixa pressão de AC de shroud
	02-PSL-04	Pressostato de baixa pressão de AC do QA 02-QU-01
	02-PSL-05	Pressostato de baixa pressão de GN da lança
	02-PSL-06	Pressostato de baixa pressão de GN do QA 02-QU-01
	02-SIC-01	Inversor de frequência do 02-TC-02
	02-SIC-02	Inversor de frequência do 02-TH-02
	02-SSV-01	Solenóide de bloqueio de O2

	02-SSV-02	Solenoide de bloqueio de O2
	02-SSV-03	Solenoide de bloqueio de GN da lança
	02-SSV-04	Solenoide de bloqueio de GN da lança
	02-SSV-05	Solenoide de bloqueio de GN do QA 02-QU-01
	02-SSV-06	Solenoide de bloqueio de GN do QA 02-QU-01
	02-SSV-07	Solenoide de bloqueio geral de AC da lança
	02-SVV-02	Solenoide de alívio de O2
	02-TI-01	Pirômetro - temperatura do banho
	02-TIT-01	Temperatura dos gases de saída do forno 02-FO-01
	02-TIT-02	Temperatura dos gases de saída do forno 02-FO-01
	02-TT-03	Temperatura de casco do forno 02-FO-01
	02-WT-01	Célula de carga matéria-prima do Dosador 02-TH-01
	02-WT-02	Célula de carga de coque do Dosador 02-TH-01
	02-XV-01	Controle ar de purga da lança
	02-ZS-01	Chave de posição vertical do forno 02-FO-01
	02-ZS-01	Transdutor de posição da lança
	02-ZS-02	Chave de posição intermediária do forno 02-FO-01
	02-ZS-03	Chave de posição basculada do forno 02-FO-01
	02-ZS-04	Chave de posição bascula esquerda cadinho 02-CD-01 (descarga para a lingoteira)
	02-ZS-05	Chave de posição central cadinho 02-CD-01
	02-ZS-06	Chave de posição bascula direita cadinho 02-CD-01 (retorno de carga ao forno)
	02-ZS-07	Chave de posição alta cadinho 02-CD-01 (retorno de carga ao forno)
	02-ZS-08	Chave de posição baixa cadinho 02-CD-01
	02-ZS-09	Sensor de posição da moldeira
	03-FI-01	Vazão de água do resfriador adiabático 03-RF-01
	03-FI-02	Vazão de água do resfriador adiabático 03-RF-01

	03-PDIT-01	Pressão diferencial no Filtro de mangas 03-FI-01
	03-PDIT-02	Pressão diferencial do Resfriador Secundário 03-TA-01
	03-PDIT-03	Pressão diferencial da Lavadora de gases 03-TA-02
	03-PSE-01	Abertura de emergência resfriador adiabático 03-RF-01
	03-SIC-01	Inversor de frequência do 03-VE-01
	03-SSV-01	Fluxo de ar comprimido do Filtro de mangas 03-FI-01
	03-SSV-02	Fluxo de água de emergência do Resfriador Secundário 03-TA-01
	03-TIT-01	Temperatura do gás na saída do resfriador adiabático 03-RF-01
	03-TIT-01	Temperatura da solução ácida na saída do Resfriador a Ar 03-RF-02
	03-TIT-02	Temperatura dos gases na saída do Resfriador Secundário 03-TA-01

APÊNDICE C – Relação de Itens Comissionáveis da Planta Piloto – Equipamentos

MALHA	TAG	DESCRIÇÃO
	01-BC-01 A/B	bomba de água
	01-BD-01	balde
	01-BT-01 A/B	misturador
	01-FI-01 A/B/C	filtros de ar
	01-FI-02	classificador
	01-FI-03	filtro cesta
	01-GB-01	compressor de ar para o cavalete de gases
	01-GB-02	compressor de ar para o filtro de mangas
	01-GE-01	gerador de emergência
	01-MTL-01	talha elétrica do turco de materiais
	01-RF-01	resfriador a ar da água de retorno da lança
	01-RF-02	resfriador a ar da água de retorno da lança
	01-SL-01	silo de coque
	01-SL-02	silo de matéria prima
	01-SL-03	silo de matéria prima
	01-SL-04	bacia de secagem
	01-TL-01	turco de materiais
	01-TQ-01	tanque de água de processo
	01-WT-01	balança
	02-CD-01	cadinho
	02-FO-01	forno TSL
	02-LC-01	lança
	02-MCD-01	moto-redutor de inclinação do cadinho
	02-MCD-02	talha elétrica de elevação do cadinho
	02-MFO-01	talha elétrica de inclinação do forno

	02-MLC-01	talha elétrica de movimentação da lança
	02-MTH-01	moto-redutor da esteira do mix de matéria prima
	02-MTH-02	moto-redutor do dosador de coque
	02-MTL-01	talha elétrica do turco de carga
	02-QU-01	queimador auxiliar
	02-TC-01	esteira de carga
	02-TC-02	esteira de mix
	02-TH-01	dosador de mix
	02-TH-02	dosador de coque
	02-TL-01	turco de carga
	02-TL-02	turco da lança
	02-VE-01	ventilador do secador
	03-BC-01 A/B	bomba para circulação de solução ácida
	03-BC-02	bomba para circulação de solução alcalina
	03-BC-03	bomba dosadora de soda a 50%
	03-CH-01	chaminé
	03-FI-01	filtro de mangas
	03-MTL-01	talha do turco do resfriador a ar
	03-RF-01	resfriador adiabático
	03-TA-01	resfriador secundário
	03-TA-02	lavadora de gases
	03-TL-01	turco do resfriador a ar
	03-TQ-01	tanque de solução ácida
	03-TQ-02	bacia de contenção de solução ácida
	03-TQ-03	bacia de contenção de solução alcalina
	03-VE-01	exaustor
	NA	sistema de suprimento de gn
	NA	sistema de suprimento de o2
	NA	sistema de suprimento de ar comprimido

	NA	coifa do forno
	NA	coifa do ar para o secador
	NA	forma para metal
	NA	forma para escória
	NA	sistema de movimentação de formas
	NA	cavalete de alimentação de gn
	NA	cavalete de alimentação de o2
	NA	cavalete de alimentação de ar

APÊNDICE D – Atividade de Condicionamento Aplicada as Malhas de Tubulação

As atividades de condicionamento aplicadas às malhas de tubulação da planta piloto de RMV, seguiram o passo a passo descrito a seguir:

- a) A pressão de teste usada foi 1,5 vezes a requerida e indicada no projeto. Na falta desta informação, foi calculada a pressão de acordo com a norma de projeto aplicável. Em alguns casos, devido à coluna hidrostática, a pressão atuante durante o teste ultrapassou a pressão máxima admissível para algum componente. Este não foi incluído no sistema ou a pressão de teste foi reduzida convenientemente. Em algumas malhas houve a necessidade de manter a pressão por um período de tempo relativamente longo, durante o qual o fluido empregado sofreu expansão térmica devido à insolação. Foram tomadas precauções para alívio de pressão com abertura de respiros;
- b) A pressão teve elevações gradativas até 50% da pressão de teste. Ao atingir essa pressão, a linha passou por uma inspeção visual. A pressão gradativamente elevada até atingir a do teste hidrostático e após a estabilização, permaneceu-se nesta por no mínimo 30 minutos. Após o tempo de permanência pressurizado. A pressão foi reduzida até a pressão de projeto. Ao atingir essa pressão, a linha passou por uma nova inspeção visual. Por motivo de segurança nenhuma inspeção foi executada durante a aplicação da pressão máxima de teste;
- c) A pressão teve redução gradativa até a pressão atmosférica, medida no ponto mais alto do sistema. Foram abertos os respiros para evitar vácuo no esvaziamento;
- d) Durante o teste de pressão, a tubulação não sofreu martelamento; quando do enchimento das tubulações com o líquido de teste, todas as válvulas de respiros estavam completamente abertas para garantir a completa remoção do ar;
- e) Um dos subsistemas de tubulação apresentou defeito durante o teste hidrostático. Antes do início do reparo o sistema teve de ser despressurizado, drenado e o local, secado. O trecho para reparo era vertical e foi aceitável e seguro reduzir o nível do líquido de teste abaixo do local de reparo. Após reparo a tubulação reparada foi retesada.

- f) Após a execução do teste foram checados todos manômetros existentes (indicador de pressão), para verificação da ausência de pressão na linha. Todos os respiros para evitar formação de vácuo no interior da tubulação. Os drenos foram abertos para descarte do fluido de teste e todos os acessórios retirados para o teste de pressão foram remontados.

Após a conclusão dos testes de pressão as tubulações foram identificadas como "Testadas"; e foi emitido o certificado de aprovação do teste hidrostático. A lavagem e limpeza das linhas das malhas de tubulação, equipamentos de processos e utilidades na planta piloto de recuperação de metais valiosos foram lavadas com água, para remoção de materiais estranhos, detritos remanescentes da montagem, depósitos presentes no interior de todas as tubulações. A área para instalação das bombas que foram utilizadas para limpeza, levou em consideração pontos de injeção e suprimento de água e energia elétrica. Estes pontos estavam representados nos Sistemas de Testes Hidrostáticos (STH). Alguns equipamentos e acessórios tiveram de ser removidos e limpos fora do circuito e substituídos por carretéis ("spools"), conforme definição das malhas de tubulação: Válvulas de segurança e alívio de pressão; Válvulas de controle; Válvulas globo; Válvulas de retenção; Elementos de filtros; Placas de orifício; Disco de ruptura; Instrumentos; Medidores de vazão e outros sensores que penetravam no interior da tubulação. O bocal do equipamento removido foi protegido por raquete ou flange cego, confeccionados de chapa fina ou de madeirite. Todos os componentes retirados do circuito, para limpeza, tiveram seus posicionamentos originais devidamente indicados e armazenados temporariamente em local seguro até a conclusão de toda limpeza das linhas. Os equipamentos elétricos, caixas de junção, painéis e motores próximos às áreas de injeção e descarte de água, foram desenergizados e protegidos com lonas, evitando riscos de respingos de água. Antes do início da limpeza, todas as válvulas do circuito tiveram que ser fechadas, inclusive as tomadas dos instrumentos, vents e drenos.

Todas as válvulas foram abertas (fossem elas remanescentes entre o ponto de injeção de água e o ponto de saída de água, ou válvulas dos ramais de drenos, vents e instrumentos) em seqüência, garantindo que todo o circuito estivesse cheio de água e os ramais estivessem limpos.

A lavagem das tubulações foi feita no sentido descendente, para facilitar a remoção de sujeiras pesadas, com fluxo de água a uma velocidade de aproximadamente 2m/s, iniciando com as tubulações de maior diâmetro. A duração

da limpeza com a água fluindo pelo ponto de descarte foi definida pela qualidade da água descartada. Foi verificado se a mesma estava limpa, isenta de qualquer sujeira; os circuitos foram drenados, observando-se todos os pontos baixos do mesmo, pelos drenos ou através de aberturas inferiores provisórias. Para as válvulas de controle removidas, onde havia válvulas de bloqueio a montante e a jusante e seu “by-pass” do tipo esfera, foram lavados cada um dos seus ramais. Quando as lavagens das linhas foram concluídas por sistema, as válvulas de vents estavam abertas durante toda a drenagem para evitar formação de vácuo. Todos os carretéis, filtros e acessórios que tenham sido instalados para auxiliar a execução da lavagem foram retirados; todos os equipamentos, instrumentos e acessórios que tenham sido retirados do circuito para limpeza foram remontados após o término da mesma. Para os instrumentos do sistema durante a remontagem, foram mantidas fechadas as suas válvulas de bloqueio (tomadas e linhas de impulso). Todos os flanges abertos foram remontados com junta de vedação definitiva (nova) conforme especificação de projeto. Todo tanque ou vaso, utilizado para auxiliar a lavagem teve limpeza interna manual com fechamento das bocas de visita, com junta nova e definitiva conforme especificação de projeto. A água utilizada para a lavagem foi descartada nos pisos da planta piloto, para escoamento em direção ao sistema de drenagem.

APÊNDICE E - Atividades de Condicionamento Aplicada ao Banco de Baterias

As atividades e equipamentos que foram utilizadas no condicionamento do banco de baterias estão descritas a seguir.

O termômetro a álcool utilizado tinha escala 0 - 50°C; o mesmo foi inserido no recipiente de cada elemento, fazendo com que o bulbo ficasse em contato com o Eletrólito, durante 2 minutos e após esse tempo, a leitura de 25,7°C foi catalogada e analisada. Quando discrepantes entre elementos, podem significar curto-circuito interno; temperaturas superiores a 45°C podem significar sobrecorrente ou sobrecarga excessivas. Também foi verificada a densidade do eletrólito utilizando pipeta e aerômetro. Foi coletado um volume suficiente do eletrólito de cada elemento, fazendo o aerômetro flutuar livremente. Analisando os resultados a densidade de cada elemento foi referida à 25°C. Para fins de comparação foi utilizada a fórmula:

$D_{25} = D_t + 0,0007 (t - 25)$, onde:

D_{25} = Densidade corrigida;

D_t = Densidade medida;

t = temperatura do Eletrólito;

A densidade nominal do Eletrólito é de 1,21 + / - 00,1 g/cm³ à temperatura de 25°C; à medida que a Bateria se descarrega, a densidade específica do Eletrólito diminui.

A carga inicial do banco de baterias foi feita ajustando-se o retificador (conforme orientação do fabricante) para o regime de tensão constante até 2,40 V / elemento (Entre 2,35 e 2,40 V / elemento). A carga continuou neste valor até que a tensão individual dos elementos e sua densidade permanecessem constantes. Quando esse ponto foi atingido a carga continuou por mais 3 horas; a temperatura foi controlada, não se permitindo que a temperatura da bateria atingisse valores acima de 45°C. As baterias só foram colocadas em flutuação quando a carga total foi atingida. A carga de tensão limitada foi 2,40V por elemento.

Como procedimentos para a carga inicial foram realizados os seguintes passos: Verificação da polaridade de cada elemento e do conjunto, do nível em cada elemento; medições de temperatura, tensão, corrente e densidade em cada elemento. A temperatura e tensão foram medidas de hora em hora; (caso a temperatura de algum elemento ultrapassasse 45°C, era reduzido a corrente de carga através do carregador). Após três leituras estabilizadas de tensão e densidade no elemento de

tensão mais baixa as baterias estavam carregadas - isto aconteceu após doze horas de carga. Após certificada a carga plena, as baterias ficaram em repouso por tempo mínimo de uma hora, para que se iniciasse o trabalho de descarga para avaliação.

O procedimento de descarga das baterias foi realizado com o objetivo de comprovar a real capacidade das baterias. O mesmo foi feito colocando-se uma carga constante e conhecida durante um tempo previamente programado em função da carga, conforme descrição no manual do fabricante. O processo de descarga não foi iniciado antes de uma hora após o término da carga. Após cinco minutos de descarga foram realizadas leituras de tensão e temperatura em cada elemento. Essas leituras foram repetidas de hora em hora até que um dos elementos da bateria atingisse 1.75V, quando a mesma é considerada descarregada. Nestas condições foi anotada também a densidade de cada elemento; para avaliação da bateria fez-se o levantamento da sua capacidade real, ou seja: capacidade x tempo de descarga. Tempo de descarga é o tempo gasto do início da descarga até o primeiro atingir 1,75V.

Foi considerada aprovada a bateria que atendeu as requisições, ou se apresentou dentro da capacidade nominal de placa. A nova recarga só pode ser iniciada duas horas após a descarga total.

APÊNDICE F – Atividades de Condicionamento Aplicada aos Cabos e Multicabos

As atividades de condicionamento aplicadas aos cabos e multicabos da planta piloto de RMV, foram executadas conforme descritivo abaixo:

- a) Para testar a continuidade elétrica dos cabos foi utilizado multímetro na escala de continuidade.
- b) Para testar o isolamento foi utilizado megôhmetro eletrônico capaz de gerar tensões contínuas de 500V a 5000V;
- c) Os testes de tensão aplicada foram realizados com Hipot.

Importante ressaltar que para utilização desses instrumentos de medida foram verificados seus respectivos certificados de calibração e validade dos mesmos, pois, uma vez constatado que o instrumento de medida está com a calibração vencida esse deve ser substituído.

A resistência de isolamento medida foi possível aplicando com o megôhmetro uma tensão de teste em função da tensão de operação do cabo, dada pelo Quadro 14.

Quadro 14 - Controle de Tensão em Volts para Teste dos Cabos.

TENSÃO DE OPERAÇÃO DO CABO	TENSÃO DE TESTE
De 0 a 250 V	500 V
250 a 500 V	1000 V

Fonte: ABNT (1997)

A tensão de teste foi aplicada durante um tempo suficiente para que obtivesse uma leitura estável e segura; este tempo varia de 1 a 5 minutos. Não é recomendável passar esse tempo nem para mais nem para menos. O condutor submetido ao ensaio estava conectado ao terminal de tensão do megôhmetro de acordo com a tensão de operação do cabo, conforme Quadro 14. Os condutores de um mesmo circuito foram testados entre si e para terra; os cabos singelos e multipolares com blindagem metálica tiveram sua resistência de isolamento medida aplicando tensão entre o condutor e a blindagem metálica. Os cabos multipolares sem blindagem metálica tiveram a resistência de isolamento medida aplicando tensão entre os condutores dois a dois e entre cada condutor e a terra. Os cabos multipolares com uma blindagem

metálica sobre o conjunto de veias tiveram a resistência de isolamento medida aplicando tensão entre cada condutor dois a dois e entre cada condutor e a blindagem metálica.

Os valores mínimos das resistências de isolamento permitida para os cabos obedecem às recomendações da Norma NBR-5410, novembro 1997 - instalações elétricas de baixa tensão, valores mínimos de resistência de isolamento (ver Quadro 15).

Quadro 15 - Valores mínimos de resistência de isolamento

TENSÃO NOMINAL DE CIRCUITO (V)	TENSÃO DE ENSAIO (V EM CORRENTE CONTÍNUA)	RESISTÊNCIA DE ISOLAMENTO (MΩ)
Extra baixa tensão de segurança, quando o circuito é alimentado por um transformador de segurança.	250	≥ 025
Até 500 V, inclusive, com exceção do exposto acima.	500	≥ 0,5
Acima de 500 V.	1000	≥ 1,0

Fonte: ABNT (1997)

Nas medições de resistência de isolamento da planta piloto de extração de metais valiosos, não foi constatado valores da resistência de isolamento inferiores ao indicado no Quadro 15. Os valores das resistências de isolamento encontrados foram maiores ou iguais aos de referência, desta forma os cabos foram aprovados. Nos testes de Hipot, os cabos blindados com faixa de isolação superior ou igual a 2,4 KV só poderiam ser submetidos ao Hipot após o término das muflas e terminações e foi efetuado o teste descrito a seguir.

A medição da resistência de isolamento com o megôhmetro, seguiu a referência das escalas registradas no Quadro 12. O valor lido deve ser maior ou igual ao valor de referência, para proceder com o teste utilizando gerador de alto potencial, assim como o ocorrido na planta piloto. Tensão Máxima de Teste com Hipot, Corrente Contínua (DC); teste de aceitação do cabo após seu lançamento em seus leitos foi feito submetendo o cabo à tensão:

$$V_t = (2V_n + 1000) \cdot 1,6 \cdot 0,8$$

V_t = Tensão máxima do teste (V) DC;

V_n = Tensão nominal de linha do sistema (V);

1,6 = Fator de compensação AC/ DC;

0,8 = Fator de ponderação para cabos já testados em fábrica;

A aplicação de tensão se iniciou com 3 kV e a cada minuto; foi efetuada a leitura da corrente de fuga, (que deve estar estabilizada) aumentando-se a tensão em degraus de 3 kV, até atingir a tensão máxima de teste calculada (V_t) (O tempo de observação em cada patamar de tensão não foi inferior a um minuto).

Quando atingido o valor calculado para o teste (V_t), esta tensão foi mantida constante durante 15 minutos, fazendo-se leitura da corrente de fuga a cada minuto. Os cabos aprovados tiveram corrente de fuga constante ou decrescente com o tempo estabilizando em um determinado valor; foi reprovado o cabo cuja corrente de fuga aumentou com o tempo (indicando falha de isolamento). Não foram consideradas oscilações provenientes do efeito “corona”, resultante do teste.

Após teste com Hipot foi realizado outra verificação com megôhmetro para verificar-se a resistência de isolamento, com o mesmo valor de potencial aplicado antes do teste com o HiPot. O HiPot, teve o recurso de limite de corrente ativado, sendo de 20 mA, e quando atingido, provocara a interrupção do teste.

APÊNDICE G – Atividades de Condicionamento Aplicadas aos Motores Elétricos

Para realização dos ensaios nos motores elétricos, foi utilizado ohmímetro digital para baixa resistência. A medição da resistência de isolamento foi medida entre os terminais de entrada do motor curto-circuitados entre si e a massa. Todos os ensaios de isolação foram feitos aplicando-se a tensão de teste do megôhmetro de acordo com a classe de tensão do equipamento sob o teste durante um minuto e fazendo a leitura posteriormente. Foi determinado o índice de polarização, que se trata do quociente da divisão da leitura do megôhmetro após 10 minutos pela leitura após 1 minuto da aplicação de tensão de teste (ver Quadro 16).

Quadro 16 - Tensões de Testes

CLASSE DE TENSÃO (KV)	TENSÃO DE TESTE (KV)
25	1
15	1
7,2	1
0,6	0,5

Fonte: Elaborado pelo autor (2020)

As medições da resistência de isolamento são classificadas seguindo o critério informado no Quadro 17.

Quadro 17 - Interpretação de Testes

CLASSIFICAÇÃO	FAIXA DE RESISTÊNCIA (Ω)
Excelente	Acima de 4,0
Bom	3,1 a 4,0
Razoável	2,1 a 3,0
Duvidoso	1,5 a 2,0
Ruim	Menor de que 1,5
Perigoso	Menor de que 1,0

Fonte: Elaborado pelo autor (2020)

Os motores de potência acima de 2 CV, apresentaram resistência de isolamento classificado como razoáveis ficando na faixa de 2,1 a 3,0 Ω . Os motores abaixo de 2CV apresentaram resistência de isolamento boa, ficando na faixa entre 3,1 e 4,0 Ω .

Para realização do ensaio de resistência ôhmica foi utilizado ponte Kelvin. As pontas de corrente (C1 e C2), foram conectadas firmemente nos terminais do enrolamento antes de ligar o instrumento. A medição se iniciou na escala maior (0 a 2 Ω); quando o instrumento foi ligado, a resistência ôhmica do bobinado do transformador se apresentou inicialmente alta (em alguns casos indicou sobre alcance, over range). Gradualmente a escala foi decrescida até o valor correto (leitura estável). Quando necessário uma mudança no alcance (RANGE) durante o período de estabilização, foram considerados tempos adicionais no período de estabilização, devido à variação de corrente de teste. Por precaução, os terminais do transformador deverão ser curto-circuitados antes de desconectar o instrumento. Antes de desconectar as pontas de corrente (C1 e C2) do transformador o instrumento foi desligado. Os valores obtidos foram superiores a zero ohm e comparados com os dados do fabricante.

Foi verificado se todas as ligações estavam de acordo com o diagrama de ligações e com a tensão da rede de alimentação. A continuidade dos detectores de temperatura internos ao motor (RTD) foi feita a partir da utilização de instrumento medidor de continuidade elétrica. Antes de ligar o motor, foi realizado teste de sentido de giro, o nível de ruído e a temperatura dos mancais e carcaça. Foi realizada a medição da corrente a vazio e posteriormente com carga.

APÊNDICE H – Atividades de Condicionamento Aplicadas aos Painéis Elétricos

Os testes e ensaios nos painéis elétricos seguiram uma metodologia de execução.

Foram realizados ensaios de tensão aplicada para barramentos de classe superior a 5kV. O ensaio de resistência de isolamento foi repetido após o ensaio de tensão aplicada. Também foram executados teste funcional e teste do sistema de detecção de arco Voltaico.

Foi feita verificação das partes móveis, dos dispositivos de separação e do funcionamento das portas quanto ao fechamento e abertura. Foi verificada a operacionalidade para certificar-se do perfeito funcionamento do sistema, não devendo ocorrer trancamentos ao longo do percurso. Quanto aos dispositivos de separação entre compartimentos de barramentos e disjuntores ou contadores, estes foram verificados se sua integridade física estava preservada e fixada corretamente; funcionamento do sistema de bloqueio das portas, em condições de circuito energizado. Foi verificado através da operação do sistema, não devendo o mesmo possibilitar a abertura da porta com o sistema energizado. Foi realizada medição da resistência de isolamento de barramentos, isoladores e demais componentes removendo os cartões eletrônicos. Todos os ensaios de isolação foram feitos aplicando-se a tensão de teste do megôhmetro durante um minuto e fazendo a leitura posteriormente. Os cuidados necessários foram tomados para não usar tensão superior ao nível de isolamento do equipamento. Para realizar as medições foram desconectadas a entrada e saída do barramento e todos os equipamentos a ele conectados. Nesta fase os cartões eletrônicos foram extraídos. Os isoladores e demais componentes foram ensaiados de acordo com seu tipo. Os resultados obtidos tiveram de ser comparados com os dados do fabricante quando fornecidos, sendo que o valor mínimo aceitável foi de 2 Megohm/kV à 40°C. Após os ensaios, todos os equipamentos desconectados anteriormente foram conectados novamente e os cartões eletrônicos inseridos. A continuidade elétrica do barramento foi medida a partir da utilização de multímetro digital na escala de continuidade elétrica. Foi feita verificação da polaridade e da continuidade elétrica dos circuitos auxiliares e das garras dos fusíveis de força, as garras foram gabaritadas e deixadas na pressão recomendada pelo fabricante. Foram realizadas verificações na relação de transformação e polaridade dos TC's e TP's, na curva de saturação dos TC's de

proteção executando os TC's de relés térmico se "ground sensor"; no alinhamento dos contatos de força dos contatores com corrente nominal superior a 100A e disjuntores, exceto os de caixa moldada; na resistência ôhmica e da simultaneidade dos contatos dos contatores e disjuntores com tensões nominais superiores a 480 V, exceto os de caixa moldada e verificação das réguas de bornes; identificação dos circuitos de controle, medição e proteção. Todas as medições, conferências e componentes foram comparadas com o projeto original.

Os relés térmicos e de proteção foram ajustados para o valor de corrente de projeto e foi realizado teste de atuação. Para a realização do teste de atuação foi injetado uma corrente e monitorado o tempo de atuação, comparando com o tempo teórico definido pelo fabricante. Todos os relés térmicos testados foram identificados com um selo de calibrado. No selo de certificação foram colocados nome da empresa responsável, o TAG do relé, a data de execução e o nome do executante.

Os resistores de aquecimento e a iluminação interna foram medidos a partir da utilização de um multímetro digital na escala de continuidade elétrica. O equipamento foi considerado aprovado quando o valor encontrado estiver de acordo com potência da mesma, para tal foi utilizado a fórmula $P=V^2/R$. Foram realizados teste de inserção e extração dos contadores, disjuntores, etc. Verificando a operacionalidade através da inserção e extração para certificar-se do perfeito funcionamento do sistema, sendo que o objetivo era verificar se haveria algum tipo de trancamento ao longo do percurso. Foram realizados testes de funcionamento dos ventiladores e exaustores, injetando uma tensão compatível com a placa de características dos mesmos e foi observado seu funcionamento. Para as chaves comutadoras e sinaleiros foi verificado o funcionamento através da operação e visualização quando ocorreram os testes operacionais.

A sequência de fase ou faseamento foi devidamente identificada obedecendo a seguinte seqüência: fase A, B e C da esquerda para direita e de cima para baixo, para quem olha de frente para o painel. Foi injetada ao circuito do TC uma corrente igual ou levemente superior à definida pelo projeto e observada a operação do relé de proteção. Foi realizado um aperto completo das conexões e uma verificação do aterramento. Também foi realizado ensaio de tensão aplicada para barramentos de classe superior a 5kV. O ensaio de resistência de isolamento foi repetido após o ensaio de tensão aplicada. Antes do início do teste de tensão aplicada se certificou que o barramento se encontrava totalmente desconectado de qualquer outro

instrumento ou equipamento. O ensaio durou um minuto e os valores da tensão de teste estão de acordo com o Quadro 18. Após o teste de tensão aplicado, nova leitura de resistência de isolamento foi realizada e catalogada.

Quadro 18 - Tensões de testes das Resistências de Isolamento

TENSÃO NOMINAL (KV)	TENSÃO DE TESTE (KV)
4,16	19
7,2	36
13,8	36
34,5	80

Fonte: Elaborado pelo autor (2020)

Os testes de funcionamento foram realizados através de operação simulada dos circuitos externos na régua de bornes do painel. O teste funcional do sistema de proteção contra arco voltaico foi simulado com lâmpada de 100W.

APÊNDICE I - Atividades de Condicionamento Aplicada ao Transformador

As atividades de condicionamento aplicadas ao transformador de potência da planta piloto de RMV, consistiram em verificações quanto à irregularidade e as condições dos componentes, tais como:

- a) **Buchas de porcelana:** trincas e saias quebradas;
- b) **Pintura:** pontos de corrosão;
- c) **Conexões elétricas de alta tensão, baixa tensão e neutro:** sem condições de aperto satisfatório (mau contato);
- d) **Geral:** vazamento de óleo.

Foram realizados testes do comutador de derivação por barra visando verificar seu correto funcionamento mecânico, além de “limpar” os pontos internos de contato elétrico nas derivações. Foi necessária a remoção das barras para efetuar uma limpeza mais eficaz nas áreas de contato. O comutador de derivações foi operado, passando por diversas vezes por todas as posições. Foi concluído que o comutador de derivações estava bem condicionado, pois o mesmo girou sem muito esforço apresentando estar totalmente livre. Caso existisse qualquer tipo de irregularidade, a mesma poderia ser evidenciada através de ensaios de resistência ôhmica dos enrolamentos e de relação de transformação.

Foram realizados testes na resistência de isolamento. O objetivo desse ensaio era acompanhar o comportamento do isolamento dos enrolamentos, partes ativas e sua vida útil. Para esse ensaio foram usados como equipamentos: megôhmetro eletrônico; cordoalhas de cobre; cronômetro e termômetro para ambiente. Foi certificado que, durante o ensaio o terminal de potencial do megôhmetro estava afastado de outras partes do transformador e da terra, assim como dos outros cabos de saída do megôhmetro.

1º Ensaio: Alta Tensão x Baixa Tensão + Massa (AT x BT + M): Foram interligados com uma cordoalha todos os terminais de BT e neutro e estes ao terminal de aterramento do tanque do transformador; conectado o cabo de saída do terminal de potencial do megôhmetro ao terminal do transformador; conectado o cabo de saída do terminal retorno (-R) do megôhmetro ao terminal do transformador; foi ligado o megôhmetro, disparando simultaneamente o cronômetro; foram realizadas leituras de resistência de isolamento após 1 minuto. Os valores obtidos foram registrados na folha de teste. Quando o megôhmetro foi desligado, foi anotada na folha de teste a

temperatura indicada no termômetro para o ambiente. Foram mantidos aterrados os terminais de AT.

2º Ensaio: Alta Tensão + Baixa Tensão x Massa (AT + BT x M): Foram interligados todos os terminais de potencial e BT do transformador e foi conectado o cabo de saída do terminal de potencial do megôhmetro ou terminal AT (1kV) – (para secundário 480v) ao terminal do transformador; também foi conectado o cabo de saída do terminal retorno (-R) do megôhmetro ao terminal de aterramento do transformado; procedida a leitura conforme o **1º Ensaio**.

3º Ensaio: Baixa Tensão x Massa (BT x M): Interligados os terminais do transformador como no 1º Ensaio; conectado o cabo de saída do terminal de potencial do megôhmetro ou terminal AT (1kV) – (para secundário 480v) ao terminal do transformador; conectado o cabo de saída do terminal Ground (G) do megôhmetro ao terminal do transformador e por fim, conectado o cabo de saída do terminal retorno (-R) do megôhmetro ao tanque do transformador; procedida a leitura conforme o **1º Ensaio**.

4º Ensaio: Alta Tensão x Massa (AT x M): Interligados com uma cordoalha todos os terminais do AT do transformador; conectado o cabo de saída do terminal de potencial do megôhmetro ao terminal H1 do transformador; conectado o cabo de saída do terminal Ground (G) do megôhmetro ao terminal X0 do transformador; conectado o cabo de saída do terminal retorno (-R) do megôhmetro ao tanque do transformador; procedida a leitura conforme o **1º Ensaio**.

5º Ensaio: Baixa Tensão x Alta Tensão + Massa (BT x AT + M): Interligados com uma cordoalha todos os terminais do AT do transformador ao terminal de aterramento do mesmo; interligados com outra cordoalha todos os terminais do BT e neutro do transformador; conectado o cabo de saída do terminal de potencial do megôhmetro ou terminal AT (1kV) – (para secundário 480v) ao terminal do transformador; conectado o cabo de saída do terminal retorno (-R) do megôhmetro ao terminal H1 do transformador; procedida a leitura conforme o **1º Ensaio**.

Análise dos Resultados

Foram avaliadas as condições do isolamento do transformador, sendo necessário converter os valores encontrados para a temperatura de referência de 75°C, a fim de compará-las com os valores obtidos anteriormente. Para isto, foi utilizada a seguinte fórmula:

$$R_{75} = \frac{R_t}{2} \text{ sendo } a = \frac{75 - T'}{10} \text{ onde:}$$

R75= Resistência de isolamento referido a 75°C, em Mega ohms;

Rt = Resistência de isolamento na temperatura de ensaio, em Mega ohms;

T' = Temperatura de ensaio em °C.

As comparações dos valores obtidos foram feitas entre ensaios, de procedimentos idênticos. Na comparação dos valores poderão ser encontradas as seguintes situações em relação aos ensaios anteriores:

- a) Resistência de isolamento crescente: resultado satisfatório;
- b) Resistência de isolamento estável: resultado satisfatório;
- c) Resistência e isolamento decrescente: resultado insatisfatório;

Embora o ensaio de resistência de isolamento seja um instrumento útil nos testes de campo, os resultados obtidos não ofereceram segurança máxima para uma avaliação; os resultados considerados insatisfatórios neste ensaio requereram uma atenção especial na análise conjunta.

Foram realizados testes na resistência ôhmica, o objetivo desse ensaio era determinar os valores de resistência ôhmica dos enrolamentos assim como avaliar as condições das conexões dos enrolamentos. Os equipamentos e acessórios utilizados foram: termômetro para ambiente e ohmímetro digital para baixas resistências. Durante os testes, foi certificado que ninguém tivesse acesso aos terminais de AT e BT do transformador (ver Figura 18).

Figura 18 - Megger DLRO100HB Micro-Ohmmeter / DLRO / Bond Testing.



Fonte: Google Imagens (2019)

1º Ensaio: Enrolamento H1 H2: Conectados os bornes de potencial e corrente P1 e C1 do megôhmetro ao terminal H1 do transformador; conectado os bornes de potencial e corrente P2 e C2 do megôhmetro ao terminal do H2 do transformador; o megôhmetro foi ligado e realizada a leitura quando houve uma indicação estabilizada, catalogado o valor de resistência obtido na folha de teste; em seguida o megôhmetro foi desligado. Registrado na folha de teste a temperatura indicada no termômetro para ambiente.

2º Ensaio: Enrolamento H1 H3: Conectados os bornes de potencial e corrente P1 e C1 do megôhmetro ao terminal H1 do transformador; conectados os bornes de potencial e corrente P2 C2 do megôhmetro ao terminal do H3 do transformador; procedida a leitura conforme o **1º Ensaio**.

3º Ensaio: Enrolamento H2 H3: Conectados os bornes de potencial e corrente P1 e C1 do megôhmetro ao terminal H3 do transformador; conectados os bornes de potencial e corrente P2 e C2 do megôhmetro ao terminal do H2 do transformador; procedida a leitura conforme o **1º Ensaio**.

Obs.: Estes três primeiros ensaios foram executados em cada uma das cinco posições do comutador de derivações sem carga. Lembrar que considerando que os TAPs são por barras e são de aproximadamente 2 x 2,5%, ou seja cinco relações possíveis.

4º Ensaio: Enrolamento X1 e X0: Conectados os bornes de potencial e corrente (P1, C1) e (P2, C2) do megôhmetro aos terminais X1 e X0 do transformador; procedida a leitura conforme o **1º Ensaio**.

5º Ensaio: Enrolamento X2 e X0: Conectados os bornes de potencial e corrente (P1, C1) e (P2, C2) do megôhmetro aos terminais X2 e X0 do transformador; procedida a leitura conforme o **1º Ensaio**.

6º Ensaio: Enrolamento X3 e X0: Conectados os bornes de potencial e corrente (P1, C1) e (P2, C2) do megôhmetro aos terminais X3 e X0 do transformador; procedida a leitura conforme o **1º Ensaio**.

Análise dos Resultados

Para se avaliar as condições dos enrolamentos e suas conexões foi necessário referir os valores de resistência ôhmica encontrados nos ensaios para temperatura de 75°C, utilizando a seguinte fórmula:

$$R_{75} = \frac{R_t \times 309,5}{234,5 + t}, \text{ onde:}$$

R75 = Resistência ôhmica do enrolamento, referida a 75°C, em mili ohms;

Rt = Resistência ôhmica medida a temperatura do ensaio, em mili ohms;

t = Temperatura de ensaio, em °C.

Os valores encontrados, em cada ensaio foram comparados com os valores obtidos nos ensaios equivalentes de fábrica, sendo que os erros foram calculados pela fórmula:

$$\text{ERRO\%} = \frac{R_{75} (\text{campo}) - R_{75} (\text{fábrica})}{R_{75} (\text{fábrica})} \times 100$$

O erro encontrado foi menor que (+/-) 5%, não sendo necessária a busca de causas de mau contato nas conexões internas do transformador, das buchas ou até mesmo, falhas nos enrolamentos que implicam na desmontagem do transformador, em oficina especializada, para reparos.

Foram realizados testes na relação de transformação. O objetivo desse ensaio era verificar a relação de transformação entre primário e secundário do transformador. Equipamento utilizado para esse trabalho foi Medidor Digital de Relação de Transformação (ver Figura 19).

Figura 19 - Medidor Digital de Relação de Transformação TTR 2000I



Fonte: Google imagens (2019)

Foi certificado que a tensão de alimentação do medidor estava correta; durante os ensaios ninguém teve acesso aos terminais de AT e BT do transformador.

1º Ensaio: Relação H1 H3 – X1 X0: Conectado o cabo de saída do terminal HVM do medidor ao terminal H1 do transformador; conectado o cabo de saída do terminal HPR do medidor ao terminal H3 do transformador; conectados os cabos de saída dos terminais XVM – XAM do medidor ao terminal X1 do transformador; conectados os cabos de saída dos terminais XPR – XAM do medidor ao terminal X0 do transformador. Após as conexões realizadas o medidor foi ligado e elevada à sua tensão de excitação, até 8v; foi feita a leitura quando houve uma indicação estabilizada no galvanômetro, após a leitura e registro a tensão de excitação foi rebaixada e desligado o medidor; os valores obtidos foram registrados na folha de teste. **Obs.:** Este ensaio foi realizado em cada uma das cinco posições do comutador de derivações sem carga.

2º Ensaio: Relação H2 H1 – X2 X0: Conectado o cabo de saída do terminal HVM do medidor ao terminal H2 do transformador; conectado o cabo de saída do terminal HPR do medidor ao terminal H1 do transformador; conectados os cabos de saída dos terminais XVM – XAM do medidor ao terminal X2 do transformador; conectados os cabos de saída dos terminais XPR – XAM do medidor ao terminal X0 do transformador; procedida a leitura como no **1º Ensaio**. **Obs.:** Este ensaio foi realizado em cada uma das cinco posições do comutador de derivações sem carga.

3º Ensaio: Relação H3 H2 – X3 X0: Conectado o cabo de saída do terminal HVM do medidor ao terminal H3 do transformador; conectado o cabo de saída do terminal HPR do medidor ao terminal H2 do transformador; conectados os cabos de saída dos terminais XVM – XAM do medidor ao terminal X3 do transformador; conectados os cabos de saída dos terminais XPR – XAM do medidor ao terminal X0 do transformador; procedida a leitura como no **1º Ensaio**. **Obs.:** Este ensaio foi realizado em cada uma das cinco posições do comutador de derivações sem carga.

Análise dos Resultados

Para cada leitura, calculou-se o seu erro percentual relativo à relação nominal de acordo com a seguinte fórmula:

$$\text{ERRO\%} = \frac{\text{Rte} - \text{RTn}}{\text{RTn}} \times 100, \text{ onde:}$$

Rte = Relação de transformação obtida no ensaio;

RTn = Relação de transformação nominal (calculada).

Os erros apresentados nos testes da relação de transformação foram inferiores a (+/-) 0,5, do contrário seria necessário investigar as causas que podem representar curto circuito entre espiras, espiras abertas, etc.

APÊNDICE J – Atividades de Condicionamento Aplicada a Instrumentação

INSTRUMENTO	INSPEÇÃO MECÂNICA	TESTE DE CERTIFICAÇÃO	TESTES FUNCIONAIS
	Realização de Pintura?	Instrumento Calibrado em laboratório creditado?	Testado de linha de impulso/manifold?
	Instalação conforme detalhe típico de montagem?	Certificado de calibração emitido e disponível?	Testado fiação?
Transmissor de Nível por pressão diferencial.	Acesso fácil para manutenção ou operação?	Calibração dentro da vigência discriminada no certificado?	
Transmissores de Pressão manométrica.	Identificação (Placas, plaquetas, legendas etc.)?		
Transmissores de Pressão diferencial	Suprimento (Pneumático, hidráulico, elétrico), instalação e conexões?		
Transmissor de Vazão por pressão diferencial	Verificação do aterramento/isolamento?		
	Verificação do prensa cabos modelos conexões?		
	Verificação dos Cabos: Identificação, anilhamento, terminação?		
	Verificação dos acessórios (blocos de válvulas, drenos, respiros e tomadas)?		
	Ausência de danos mecânicos?		

	Linhas de impulso e/ou capilar suportado e fixado?				
	Correta fixação das conexões de alta pressão e baixa pressão?				
	Juntas conexões definitivas montadas?				
	Pote de selagem preenchida?				
	Montagem de bandejamento e suportação para acomodações do cabeamento?				
Manômetros	Limpeza e preservação.	Instrumento Calibrado em laboratório creditado?	Banda (0%): Entrada		
	Fixação	Certificado de calibração emitido e disponível?	Banda (0%): Saída inicial		
	Identificação (Placas, plaquetas, legenda, etc.).	Calibração dentro da vigência discriminada no certificado?	Banda (0%): Saída final.		
	Escala (ranger), conforme projeto.		Banda (25%): Entrada		
	Diafragma de selagem.		Banda (25%): Saída inicial		
	Proteção de sobre pressão.		Banda (25%): Saída final		
	Material de fabricação		Banda (50%): Entrada		
			Banda (50%): Saída inicial		

				Banda (50%): Saída final	
				Banda (75%): Entrada	
				Banda (75%): Saída inicial	
				Banda (75%): Saída final	
				Banda (100%): Entrada	
				Banda (100%): Saída inicial	
				Banda (100%): Saída final	
Placa de Orifício Orifício Integral	Item conforme Requisição de Materiais e Folha de Dados?	Elemento fabricado conforme relatório dimensional?		Funcionamento/ Estaqueamento da porta-placa e acessórios?	
	Instalação e montagem conforme detalhe típico de montagem (projeto)?			Testado de linha de impulso/manifold?	
	Inscrição (dados) voltada para montante?				
	Locação conforme indicação do projeto?				
	Ausência de danos mecânicos?				
	Identificação (TAG) correta?				
	Linhas de impulso e/ou capilar suportado e fixado?				
	Correta fixação das conexões de alta				

	pressão e baixa pressão?				
	Sentido de fluxo correto, montante para jusante?				
Transmissor de Temperatura	Realização de Pintura?	Instrumento Calibrado em laboratório creditado?			
	Instalação conforme detalhe típico de montagem?	Certificado de calibração emitido e disponível?			
	Acesso fácil para manutenção ou operação?	Calibração dentro da vigência discriminada no certificado?			
	Instrumentação com fácil visualização da indicação local?				
	Identificação (Placas, plaquetas, legendas etc.)?				
	Suprimento (Pneumático, hidráulico, elétrico), instalação e conexões?				
	Verificação do aterramento/ isolamento?				
	Verificação do prensa cabos modelos conexões?				
	Verificação dos Cabos: Identificação, anilhamento, terminação?				
	Montagem de bandejamento e suportaço para				

	acomodações do cabeamento?				
	Ausência de danos mecânicos?				
Termoelemento (Termopar, PT-100)	Item conforme Requisição de Materiais e Folha de Dados?	Verificação do comprimento (L)			
	Instalação e montagem conforme detalhe típico de montagem (projeto)?	Verificação do comprimento de inserção (U)			
	Acesso fácil para manutenção e operação?	Verificação do comprimento de extensão (T)			
	Locação conforme indicação do projeto?	Verificação da conexão conforme especificação do projeto			
	Ausência de danos mecânicos?				
	Identificação (TAG) correta?				
	Instrumentação com fácil visualização da indicação local?				
	Identificação (Placas, plaquetas, legendas etc.)?				
	Montagem de bandejamento e suportação para acomodações do cabeamento?				
	Verificação do aterramento/ isolamento?				
	Verificação do prensa cabos modelos conexões?				

	Verificação dos Cabos: Identificação, anilhamento, terminação?				
Válvula ON/OFF (Esfera)	Realização de Pintura?	Realização teste de estanqueidade.	Verificação da conformidade da resposta (STATUS) da válvula ao sinal de entrada, conforme projeto.		
	Identificação de válvulas e acessórios?	Realizado teste de pressão do corpo.	Acionamento/ operação em todas as posições		
	Instalação de válvulas e acessórios?	Funcionamento dos acessórios (válvula de exaustão rápida, filtro regulador de pressão, pilotos, etc.).	Realização do teste de malha		
	Possui chaves fim de curso?	Realização de teste de continuidade elétrica.			
	Instalação conforme projeto e detalhe típico?	Realização do teste de isolamento elétrico.			
	Identificação (Placas, plaquetas, legendas etc.)?				
	Suprimento (Pneumático, hidráulico, elétrico), instalação e conexões?				
	Verificação do aterramento/ isolamento?				
	Verificação do prensa cabos modelos conexões?				

	Verificação dos Cabos: Identificação, anilhamento, terminação?				

APÊNDICE K – Atividades de Condicionamento Aplicada as Malhas

Os detalhes dos testes e equipamentos utilizados para a realização no condicionamento das malhas de instrumentação na planta piloto de RMV.

Malhas de Instrumentação

Foram feitas simulações do processo aplicando o sinal correspondente no elemento de transmissão, energizando o painel de instrumentação e o CLP. No painel de instrumentação cada Instrumento estava desconectado dos bornes de ligação. De acordo com a liberação dos testes dos cabos a fiação do respectivo instrumento era conectada no borne, assim dando início aos testes.

Todos os instrumentos de indicação e/ou controle foram testados através de da programadora HART 375, simulando sinal de corrente.

Para as malhas cuja transmissão era feita através de abertura ou fechamento de contato (Chave de nível, chave fim de curso e outros), foram simulados os sinais de processo correspondente ao "Set. Point" do alarme a atuação do alarme também era verificada. As malhas em cascata foram testadas individualmente e posteriormente em conjunto.

Durante a execução dos testes de malhas foram observadas possíveis falhas de:

- a) Calibração;
- b) Ligações invertidas;
- c) Má isolamento elétrica;
- d) Vazamento em lâminas de sinal pneumático.

Os processos dos testes foram repetidos no mínimo 3 (três) vezes, de forma a verificar a repetibilidade; quando ocorria algum tipo de falha, a mesma era sanada. Todos os resultados dos testes de malhas foram registrados em folha de teste. O sinal de processo foi simulado através do elemento de transmissão de maneira a obter na saída o sinal máximo, mantendo-se nessa condição até que pudesse observar possíveis vazamentos nas linhas (malhas pneumáticas); quando identificado o mesmo era sanado. O sinal de processo era simulado nos pontos 0, 25, 50, 75, 100 % do range observando a leitura indicativa no elemento de medição (quando havia), e a situação correspondente ao sinal aplicado ao elemento final de controle.

Quando constatado que algum instrumento ou componente da malha estava descalibrado ou necessitando de pequenos ajustes finos, os mesmos eram recalibrados ou reajustados no campo ou retirados para laboratório. Todos os instrumentos que estavam ligados à mesma malha foram verificados em conjunto, como, por exemplo, sinal de intertravamento, para desligar um equipamento ou sinal de transmissor que faça soar um alarme etc.

Sequência de Execução

As malhas com funções de alarmes foram acionadas através de micro-switch (chave fim de curso) do elemento de transmissão, simulando o sinal do processo e verificando a resposta do sistema de alarme no painel ou PLC. Todos os instrumentos de alarme e de transmissão foram alimentados com 24Vcc. Foi simulado o sinal do processo correspondente ao set-point de alarme verificando a atuação do mesmo. Quando era constatado que algum instrumento ou componente da malha estava descalibrado ou necessitando de ajuste fino, o mesmo era recalibrado ou reajustado, conforme procedimento de calibração no campo ou laboratório. Os resultados dos testes eram registrados em formulários de testes.

As malhas parciais eram testadas a partir do elemento de transmissão até o ponto mais distante deste no limite do subsistema.

Foram testadas todas as malhas parciais e todos os instrumentos, pertencentes a um único conjunto, mesmo os que foram testados durante a calibração. Ex: Válvulas de Controle com chave de fim de curso ou transmissor de posição.

Todos os instrumentos padrão utilizados nos testes de malha estavam aferidos por órgão competente e com certificado.

Instrumentos de Temperatura

Os instrumentos 4 a 20 mA (hart), tiveram seus sinais simulados através do programador 375 com o envio de (0%; 25%; 50%; 75% e 100%), sendo a validação dada com a verificação de um engenheiro de automação na estação de operação/engenharia, localizada na sala de controle.

Somente nos instrumentos em que não foi possível teste com o comunicador 375, foram feitos testes com a aplicação das variáveis de processo com envio de (0%; 25%; 50%; 75% e 100%).

Instrumentos de Pressão

Os instrumentos 4 a 20 mA (hart), tiveram seus sinais simulados através do programador 375 com o envio de (0%; 25%; 50%; 75% e 100%), sendo a validação dada com a verificação de um engenheiro de automação na estação de operação/engenharia, localizada na sala de controle.

Somente nos instrumentos em que não foi possível com o comunicador 375, foram feitos testes com a aplicação das variáveis de processo com envio de (0%; 25%; 50%; 75% e 100%).

Instrumentos de Vazão

Os instrumentos 4 a 20 mA (hart), tiveram seus sinais simulados através do programador 375 com o envio de (0%; 25%; 50%; 75% e 100%), sendo a validação dada com a verificação de um engenheiro de automação na estação de operação/engenharia, localizada na sala de controle.

Somente nos instrumentos em que não foi possível testar com o comunicador 375, foram feitos testes com a aplicação das variáveis de processo com envio de (0%; 25%; 50%; 75% e 100%).

Instrumentos de Nível

Os instrumentos 4 a 20 mA (hart), tiveram seus sinais simulados através do programador 375 com o envio de (0%; 25%; 50%; 75% e 100%), sendo a validação dada com a verificação de um engenheiro de automação na estação de operação/engenharia, localizada na sala de controle.

Somente nos instrumentos em que não foi possível testar com o comunicador 375, foram feitos testes com a aplicação das variáveis de processo com envio de (0%; 25%; 50%; 75% e 100%).

Válvulas de Controle

Os instrumentos 4 a 20 mA (hart), tiveram seus sinais simulados através do programador 375 com o envio de (0%; 25%; 50%; 75% e 100%), sendo a validação dada com a verificação de um engenheiro de automação na estação de operação/engenharia, localizada na sala de controle.

A alimentação pneumática de ar de instrumento era fornecida por um compressor de ar, assessorado, por filtros e secado, para manter um ar seco, sem

umidade por fim uma válvula reguladora de pressão a qual estava regulada em 30 PSI para os loops-test.

Os valores obtidos na saída eram comparados aos valores especificados na folha de dados.

São inúmeros os documentos necessários para Execução dos Testes de Malhas, dentre eles estão:

- a) Punch List;
- b) Descrição dos Testes;
- c) Diagrama de Malhas;
- d) Planta de Instrumentação;
- e) Folha de Dados;
- f) Certificado de Calibração;
- g) Checklist de Atividades;
- h) Folha de Registro de Teste;
- i) Fluxograma.

Identificação dos Testes de Campo

No intuito de visualização do (status) de teste dos instrumentos em campo foram coladas nos instrumentos etiquetas redondas com o significado:

-  Etiqueta na Cor verde – Instrumento com Teste de Malha realizado.
-  Etiqueta na Cor Azul – Instrumento liberado para Teste de Malha.
-  Etiqueta na Cor Vermelha - Instrumento com pendências.