

Projeto do comissionamento de bancos de baterias em sistema de emergência de usina termelétrica

Marcelo Bicca Thiele

Marcelo Bicca Thiele

**PROJETO DO COMISSIONAMENTO DE BANCOS DE
BATERIAS EM SISTEMA DE EMERGÊNCIA DE USINA
TERMELÉTRICA**

Florianópolis
2017

Marcelo Bicca Thiele

**PROJETO DO COMISSONAMENTO DE BANCOS DE
BATERIAS EM SISTEMA DE EMERGÊNCIA DE USINA
TERMELÉTRICA**

Trabalho de Conclusão de Curso
submetido ao Curso de Graduação da
Universidade Federal de Santa Catarina
para a obtenção do Grau de Bacharel em
Engenharia Elétrica.

Orientador: Professor Renato Lucas
Pacheco, Dr.

Florianópolis
2017

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Thiele, Marcelo Bicca
Projeto do comissionamento de bancos de baterias
em sistema de emergência de usina termelétrica /
Marcelo Bicca Thiele ; orientador, Renato Lucas
Pacheco, 2017.
119 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) -
Universidade Federal de Santa Catarina, Centro
Tecnológico, Graduação em Engenharia Elétrica,
Florianópolis, 2017.

Inclui referências.

1. Engenharia Elétrica. 2. Bancos de baterias.
3. Células acumuladoras. 4. Sistema de emergência.
5. Usina termelétrica. I. Pacheco, Renato Lucas.
II. Universidade Federal de Santa Catarina.
Graduação em Engenharia Elétrica. III. Título.

Marcelo Bicca Thiele

**PROJETO DO COMISSIONAMENTO DE BANCOS DE
BATERIAS EM SISTEMA DE EMERGÊNCIA DE USINA
TERMELETRICA**

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Elétrica, e aprovado, em sua forma final, pelo Curso de Graduação em Engenharia Elétrica.

Florianópolis, 05 de dezembro de 2017.



Professor Renato Lucas Pacheco, Dr.
Coordenador do Curso

Banca examinadora:



Professor Renato Lucas Pacheco, Dr.
Orientador
Universidade Federal de Santa Catarina



Professor André Luís Kirsten, Dr.
Universidade Federal de Santa Catarina



Professor Mauro Augusto da Rosa, PhD.
Universidade Federal de Santa Catarina

Dedico esse trabalho aos meus pais, que me proporcionaram as melhores condições para concluir o curso, ao meu sogro e minha sogra, que me acolheram de forma tão receptiva, e à minha mulher, eterna colega e companheira.

AGRADECIMENTOS

Agradeço às pessoas que contribuíram e torceram pela conclusão dessa etapa, em especial:

Aos bons professores do curso, que decidiram fazer da sua profissão a transmissão de conhecimento, em especial ao nosso coordenador e meu orientador Renato Lucas Pacheco.

Aos colegas de trabalho no Complexo Termelétrico Jorge Lacerda, que me incluíram nos projetos e me possibilitaram um período de muito aprendizado.

Aos meus pais, responsáveis por tornar possível a realização desse sonho.

Ao meu sogro e minha sogra, que sempre me apoiaram nos momentos difíceis dessa jornada.

À minha Letícia, companheira de estudos e professora e que me fez ter forças para seguir até aqui, e à Vênus, que trouxe alegria às nossas vidas.

RESUMO

O grande risco associado a uma usina geradora termelétrica confere a importância de um sistema que garanta a integridade dos equipamentos e operadores envolvidos nas atividades das plantas. Com esse pensamento, algumas diferentes configurações podem ser utilizadas para compor um sistema de emergência em uma usina geradora ou fábrica de grande potência, tendo em vista sempre a efetividade do sistema de emergência na segurança e, principalmente, na praticidade de operação e manutenção do conjunto, garantindo que as manobras sejam realizadas corretamente em momentos de falha e que os equipamentos estejam sempre funcionando dentro dos padrões de qualidade. As cargas do sistema emergencial são conectadas, normalmente, em fontes de tensão contínua ou alternada estabilizada em razão da maior segurança no fornecimento de energia sem variações de pico na tensão. O sistema é normalmente constituído, basicamente, de sistemas retificadores, inversores e bancos de baterias que, em conjunto, garantem a alimentação ininterrupta das cargas em corrente contínua ou alternada estabilizada consideradas essenciais para evitar a ocorrência de perdas de equipamentos ou de vidas. Tendo em vista esta configuração, os bancos de baterias são elementos indispensáveis para garantir o suprimento contínuo de energia às cargas essenciais de desligamento e segurança de uma planta, em caso de falha dos sistemas de alimentação convencionais. Levando em consideração a grande importância do funcionamento pleno dos bancos de baterias, todo o processo que envolve a escolha da melhor célula, o comissionamento, operação e manutenção devem ser bem compreendidos e realizados cuidadosamente para que, caso haja necessidade, o sistema esteja adequadamente protegido.

Palavras-chave: Bancos de baterias; Sistema de emergência; Células acumuladoras; Usina termelétrica.

ABSTRACT

The great risk associated with a thermoelectric generating plant confers the importance of a system that guarantees the integrity of the equipment and operators involved in the activities of the plants. With that thought, different configurations can be used to compose an emergency system in a power plant or a big factory, with the objective of ensure effectiveness and especially the practicality of operation and maintenance of the assembly, ensuring that the maneuvers are correctly performed at times of failure and the equipment will always operate within the quality standards. The loads of an emergency system are usually connected to sources of continuous or stabilized alternating voltage, due to the safety in the supply of power without peak variations in the voltage, and the system is constituted basically of rectifier systems, inverters and battery banks, that together ensure the uninterrupted supply of the loads in direct or alternate current considered essential to avoid the occurrence of loss of equipment or lives. With this configuration, battery banks are indispensable elements to ensure the continuous supply of energy to the essential loads of shutdown and safety of a plant, in the event of failure of conventional power supply systems. With the great importance of the full operation of battery banks in mind, the whole process involving the choice of the best cell, commissioning, operation and maintenance must be well understood and carefully performed so that, in case of need, the system is properly protected.

Keywords: Battery banks; Emergency system; Accumulating cells; Thermoelectric plant.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Pátios de Carvão do CTJL.	31
Figura 2. Detector de metais (esquerda) e extrator magnético (direita). 32	
Figura 3. Rolos realizando o processo de trituração do carvão.	32
Figura 4. Estrutura de controle de alimentação do carvão, desde o bunker até a entrada no pulverizador.	33
Figura 5. Estrutura interna de um pulverizador de recirculação.....	33
Figura 6. Injeção dos elementos da combustão através do queimador..	34
Figura 7. Princípio de funcionamento de caldeiras flamotubulares.	35
Figura 8. Caldeira aquatubular da UTLB.	36
Figura 9. Corte lateral de turbina a vapor.....	37
Figura 10. Rotor de polos lisos.....	39
Figura 11. Rotor de polos salientes.	40
Figura 12. Princípio de funcionamento de precipitador eletrostático.	41
Figura 13. Princípio de funcionamento de usina termelétrica a carvão. 43	
Figura 14: Vista aérea do parque ambiental.	46
Figura 15. Esquema simplificado do sistema de emergência.....	50
Figura 16. Coluna retificadora DSR.....	58
Figura 17. Tensão na carga (grifada) em relação à tensão de entrada trifásica do retificador.	59
Figura 18. Diagrama de Blocos MCA do Retificador DSR.	60
Figura 19. Painel sinóptico do retificador industrial DSR.....	64
Figura 20. Painel sinóptico de sinalização remota do sistema de emergência da UTLB.	65
Figura 21. Ponte inversora do inversor NIFE.....	69
Figura 22. Forma de onda após chaveamento.	69
Figura 23. No-Break NIFE.....	71
Figura 24. Esquema de pilha eletroquímica.	74
Figura 25. Detalhe no processo de transporte de elétrons entre as placas de um banco de baterias de 12V formado por 6 elementos.....	75
Figura 26. Esquemático de uma bateria chumbo-ácida.	78
Figura 27. Detalhe nas placas positivas, negativas e dos separadores de uma célula chumbo-ácida da empresa Hoppeche Batterien.	79
Figura 28. Curva Tensão/Corrente x Tempo na carga de uma bateria chumbo-ácida selada.	80

Figura 29. Perda de capacidade de baterias seladas chumbo-ácidas ao longo do tempo de armazenamento.....	82
Figura 30. Detalhe da estrutura interna de uma bateria níquel-cádmio.	83
Figura 31. Carga lenta de baterias NiCd.	84
Figura 32. Carga rápida de baterias NiCd.	85
Figura 33. Descarga rápida de bateria Níquel-Cádmio.	86
Figura 34. Thomas Edison e sua bateria Níquel-Ferro à esquerda. À direita, um carro ainda em funcionamento que utiliza baterias Níquel-Ferro.	87
Figura 35. Placas acumuladoras de baterias NiFe.	88
Figura 36. Construção de baterias de Lítio.	91
Figura 37. Banco de baterias 48V de lítio.	91
Figura 38. Posicionamento dos racks e instalação das células acumuladoras.	98
Figura 39. Densímetro utilizado para medir densidade e temperatura das células.	101
Figura 40. Banco de resistências e teste de capacidade para banco de +24Vcc.	103
Figura 41. Detalhe no depósito de chumbo no fundo de uma bateria antiga.	111
Figura 42. Danos no rack de sustentação devido ao vazamento de eletrólito em uma célula com trinca.	112

LISTA DE QUADROS

Quadro 1. Capacidade instalada do CTJL.....	30
Quadro 2. Cargas do quadro de distribuição de $\pm 24V_{cc}$	54
Quadro 3. Cargas do quadro de distribuição de $+125V_{cc}$	55
Quadro 4. Cargas do quadro de distribuição de $220V_{ca}$ estabilizado. ..	56
Quadro 5. Corrente de descarga em Ámperes dos diferentes tipos de baterias da empresa Hoppecke Batterien.....	76
Quadro 6. Número de ciclos de carga/descarga a $25^{\circ}C$ de acordo com a profundidade de descarga.....	81
Quadro 7. Os principais tipos de baterias de lítio.....	90
Quadro 8. Comparativo de baterias segundo aspectos operacionais.	96
Quadro 9. Comparação de baterias segundo seus tipos de aplicação.	96
Quadro 10. Acompanhamento de tensão, densidade e temperatura de um banco de baterias de $+24V_{cc}$	99
Quadro 11. Tempo e corrente de descarga para tensão mínima final de $1,83V$ /elemento.	102
Quadro 12. Os diferentes casos para análise do teste de capacidade... ..	102
Quadro 13. Dados do teste de capacidade em descarga de um banco de $+24V_{cc}$	104

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

- BEM** – Barramento de Emergência
BGE – Barramento de Serviços Gerais de 480V
BSG – Barramento de Serviços Gerais de 6,3kV
BU – Barramento de Unidade
C.A – Corrente Alternada
CAEEB – Companhia Auxiliar de Empresas Elétricas Brasileiras
C.C – Corrente Contínua
CCM – Centro de Controle de Motores
CLP – Controlador Lógico Programável
CR – Coluna Retificadora
CTJL – Complexo Termelétrico Jorge Lacerda
EDA – Estação de Desmineralização de Água
ETA – Estação de Tratamento da Água
LED – *Light Emitting Diode*
MCA – Módulo de Controle e Alarmes
MDQ – Módulo de Diodos de Queda
MDS – Módulo de Disparo e Snubbers
MFA – Módulo de Fontes Auxiliares
MPS – Módulo do Painel Sinóptico
MSA – Módulo de Sobrecarga C.A
MSR – Módulo de Sinalização Remota
MTT – Módulo de Sinalização dos Termostatos
PWM – *Pulse-Width Modulation*
TU – Transformador de Unidade
UDQ – Unidade de Diodos de Queda
UPS – *Uninterruptible Power Supply*
UTLA – Usina Termelétrica Jorge Lacerda A
UTLB – Usina Termelétrica Jorge Lacerda B
UTLC – Usina Termelétrica Jorge Lacerda C

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	25
1.1 OBJETIVOS.....	26
1.1.1 Objetivo geral	26
1.1.2 Objetivos específicos	27
2. FUNCIONAMENTO GERAL DE USINA TERMELÉTRICA A CARVÃO.....	29
2.1 VISÃO GERAL	29
2.2 PRINCIPAIS EQUIPAMENTOS DO PROCESSO DE GERAÇÃO TERMELÉTRICA A CARVÃO.....	30
2.2.1 Armazenamento e transporte do carvão mineral.....	30
2.2.1.1. Pátios de carvão	30
2.2.1.2. Correias transportadoras.....	31
2.2.1.3. Alimentadores e moinhos de carvão	32
2.2.1.4. Ventilador de ar primário	34
2.2.2. Processo de queima	34
2.2.2.1. Queimadores	34
2.2.2.2. Ventilador de ar secundário	35
2.2.2.3. Caldeiras	35
2.2.3. Conversão de energia mecânica em energia elétrica.....	37
2.2.3.1. Turbinas	37
2.2.3.2. Excitatriz e regulador de tensão	38
2.2.3.3. Turboalternador.....	38
2.2.4. Tratamento dos gases da combustão.....	40
2.2.4.1. Ventiladores induzidos.....	40
2.2.4.2. Precipitadores eletrostáticos	41
2.2.4.3. Chaminé	41
2.2.5. Tratamento de água	42
2.3. PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO DA UTLB	43

2.3.1. Abastecimento de carvão.....	43
2.3.2. Processo de queima	44
2.3.3. Processo de geração de energia elétrica.....	44
2.3.4. Processo de tiragem.....	45
2.3.5. Ciclo da água.....	45
2.3.6. Processo de reaproveitamento de cinzas.....	45
2.4. DIAGRAMA UNIFILIAR DA UTLB.....	46
3. SISTEMA DE EMERGÊNCIA DA UTLB.....	49
3.1. VISÃO GERAL.....	49
3.2. PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO DO SISTEMA DE EMERGÊNCIA	49
3.2.1. Modos de operação do sistema de emergência.....	50
3.2.2. Modos de operação dos cubículos retificadores	52
3.3. QUADROS DE DISTRIBUIÇÃO.....	53
3.3.1. Quadro de distribuição de $\pm 24V_{cc}$	54
3.3.2. Quadro de distribuição de $+125V_{cc}$	55
3.3.3. Quadro de distribuição de $220V_{ca}$	56
3.4. ELEMENTOS DO SISTEMA DE EMERGÊNCIA.....	57
3.4.1. Cubículos retificadores.....	57
3.4.1.1. Coluna retificadora (CR1).....	58
3.4.1.2.1. Sensores CA	60
3.4.1.2.2. Sensores CC	61
3.4.1.2.3. Comando de flutuação e recarga (manual e automática).....	61
3.4.1.2.4. Sensor de fuga a terra	62
3.4.1.2.5. Sensores de fusível (disjuntor) interrompido.....	62
3.4.1.2.6. Circuito de disparo	62
3.4.1.2.7. Partida gradativa.....	63
3.4.1.2.8. Ampliadores de shunt.....	63
3.4.1.2.9. Realimentação de tensão	63
3.4.1.2.10. Sumário de alarmes	63

3.4.1.2.11. Sinalização de sobreaquecimento	63
3.4.1.2.12. RESET de alarmes.....	64
3.4.1.3. Módulo do painel sinóptico (MPS).....	64
3.4.1.4. Módulo de sinalização remota (MSR).....	65
3.4.1.5. Módulo de disparos e snubbers (MDS).....	66
3.4.1.6. Módulo de fontes auxiliares (MFA).....	66
3.4.1.7. Módulo de diodos de queda (MDQ).....	66
3.4.1.8. Módulo de sobrecarga CA (MSA)	66
3.4.1.9. Módulo de sinalização dos termostatos (MTT).....	67
3.4.2. Inversor.....	67
3.4.2.1. Fonte do sistema.....	68
3.4.2.2. Ponte inversora.....	68
3.4.2.2.1. Chaveamento em alta frequência	68
3.4.2.3. Chave estática	69
3.4.3. No-Break	70
3.4.3.1. Retificador.....	70
3.4.3.2. Inversor	70
3.4.3.3. Chave estática	70
3.4.3.4. Modo By-Pass manual	70
3.4.3. Gerador diesel.....	71
3.4.4. Bancos de baterias	71
3.4.5. Equipamentos periféricos	72
3.4.5.1. Exaustor	72
3.4.5.2. Condicionadores de ar.....	72
4.1. ELEMENTOS PRINCIPAIS QUE COMPÕEM UMA BATERIA	73
4.2. PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO DE BATERIAS.....	73
4.3. CAPACIDADE DE UMA BATERIA	75
4.4. CLASSIFICAÇÃO QUANTO AO MATERIAL DAS PLACAS	
ACUMULADORAS	77
4.4.1. Baterias de Ligas de Chumbo	77

4.4.1.1. Carregamento de baterias chumbo-ácidas.....	79
4.4.1.2. Descarga de baterias chumbo-ácidas	80
4.4.1.3. Armazenamento de baterias chumbo-ácidas	81
4.4.2. Baterias Níquel-Cádmio	82
4.4.2.1. Carga de baterias Níquel-Cádmio	84
4.4.2.2. Descarga de baterias Níquel-cádmio.....	85
4.4.3. Baterias Níquel-Metal Híbrido	86
4.4.4. Baterias Níquel-Ferro	87
4.4.5. Baterias Níquel-Zinco	89
4.4.6. Baterias de Lítio	89
4.5. DESCARTE DE BATERIAS	92
4.5.1. Descarte de baterias chumbo-ácidas.....	92
4.5.2. Descarte de baterias de ligas de Níquel	93
4.5.2.1. Cádmio.....	93
4.5.2.2. Ferro.....	94
4.5.2.3. Zinco	94
4.5.2.4. Lítio	95
4.6. CONCLUSÕES	95
5. COMISSONAMENTO, OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO DE	
BANCOS DE BATERIAS.....	97
5.1. COMISSONAMENTO DE BANCOS DE BATERIAS.....	97
5.1.1. Instalação dos bancos de baterias	98
5.1.2. Processo de primeira carga dos bancos de baterias	99
5.1.3. Teste de capacidade dos bancos de baterias	101
5.1.4. Processo de recarga dos bancos de baterias.....	104
5.1.5. Processo de integração dos novos bancos de bateria ao sistema de emergência da planta	105
5.1.6. Atualização dos esquemáticos do sistema de emergência	105
5.2. OPERAÇÃO	106
5.3. MANUTENÇÃO	106

5.3.1. Manutenção preventiva.....	106
5.3.1.1. Trabalho a ser realizado semestralmente.....	107
5.3.1.2. Trabalho a ser realizado anualmente	107
5.3.1.3. Limpeza das baterias	108
5.3.2. Manutenção corretiva	108
5.3.2.1. Tensão do banco de baterias ou de uma célula individual fora dos limites de operação	109
5.3.2.2. Operação prolongada abaixo do limite mínimo de tensão de operação	109
5.3.2.3. Excesso de gás proveniente das reações químicas nas baterias	109
5.3.2.4. Teste de capacidade abaixo de 95%	110
5.3.2.5. Dejetos de chumbo no fundo do elemento muito próximo às placas acumuladoras	111
5.3.2.6. Trincas nas baterias	112
6. CONCLUSÕES.....	113
7. BIBLIOGRAFIA.....	115

1. INTRODUÇÃO

Uma usina termelétrica convencional trabalha com classes de tensão e potência muito elevadas e para isso utiliza equipamentos que operam com altos valores de temperatura e pressão que alimentam grandes máquinas girantes. Uma planta comum pode trabalhar com temperatura e pressão que giram em torno de 500°C e 179 kgf/cm^2 respectivamente. Apenas como forma comparativa, uma panela de pressão atinge cerca de 120°C e 2kgf/cm^2 e já apresenta certo risco no seu manuseio. Com esse risco associado, torna-se necessário um sistema que evite possíveis falhas que possam ocasionar danos reparáveis ou permanentes de equipamentos ou, em casos mais sérios, com acidentes envolvendo operadores.

O sistema de emergência de uma usina geradora termelétrica é composto de equipamentos que realizam as manobras consideradas essenciais na operação da planta e que não podem em nenhum momento perder sua alimentação, alguns exemplos são as bombas d'água responsáveis pelo resfriamento de outros elementos da usina, relés e contadores de desligamento, controle de turbina e alternadores, entre outros, que serão mais bem detalhados ao longo deste documento. O circuito de emergência opera em corrente contínua e em corrente alternada estabilizada nas cargas consideradas essenciais na proteção da unidade em geral, pois, dessa forma, garante maior confiabilidade do sistema. Com esta ideia em mente, os bancos de baterias são os responsáveis por prover o *backup* de energia ao sistema de emergência, caso ocorra alguma falha de alimentação, possibilitando que a planta possa ser desligada com segurança, evitando acidentes. Por se tratar do último recurso de alimentação caso ocorram falhas na planta, os bancos de baterias devem ser cuidadosamente projetados e operados, para que estejam em perfeitas condições, caso seu uso seja necessário. Este trabalho traz uma visão geral de funcionamento de uma usina termelétrica e de seu sistema de emergência e, ao seu final, são discutidas as principais questões que dizem respeito aos procedimentos corretos de projeto, comissionamento, operação e manutenção de bancos de baterias.

O capítulo dois traz uma visão geral de funcionamento de uma usina termelétrica e tem como objetivo situar o leitor ao ambiente de estudo do sistema de emergência, destacando os principais equipamentos no processo de produção de energia elétrica através do carvão e os riscos a eles associados.

O terceiro capítulo detalha o sistema de emergência da Usina Termelétrica Jorge Lacerda B (UTLB) e traz os principais modos de operação, destacando a importância dos bancos de baterias como segurança de alimentação do circuito.

O quarto capítulo é voltado ao estudo específico de baterias. Traz os principais elementos que constituem uma célula acumuladora, o princípio de funcionamento e, por fim, faz um comparativo interessante entre os principais tipos de baterias industriais atualmente encontradas no mercado, e os que ainda estão em fase de desenvolvimento. Este capítulo tem a importante característica de avaliar o melhor tipo de bateria a ser utilizada em razão das características da planta e do sistema em que serão instaladas as baterias.

O quinto e último capítulo traz todo o processo de comissionamento de um novo banco de baterias em uma usina termelétrica e tem como base o projeto realizado na UTLB pelo autor deste documento. Ao longo deste capítulo também são detalhados os princípios de operação e de manutenção para que os bancos de baterias tenham funcionamento pleno, caso seja necessária a sua utilização.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo geral

O objetivo geral desse Trabalho de Conclusão de Curso é trazer uma visão ampla do funcionamento do sistema de emergência de uma usina termelétrica e, ao longo do documento, explicar a importância de se instalar bancos de baterias como *backup* de energia, caso alguma falha de alimentação ocorra. A escolha deste projeto se dá, principalmente, por poder aliar os aspectos técnicos de operação de um circuito real aos conteúdos estudados ao longo do curso de graduação em Engenharia Elétrica.

1.1.2 Objetivos específicos

Este trabalho tem como principal objetivo trazer os principais aspectos no desenvolvimento de projetos de comissionamento de bancos de baterias industriais, a partir do estudo de caso realizado na UTLB. Ao final deste documento deve ser entendido todo o processo de escolha do melhor tipo de células acumuladoras e todo seu processo de comissionamento, operação e manutenção, para que seu funcionamento seja sempre adequado.

2. FUNCIONAMENTO GERAL DE USINA TERMELÉTRICA A CARVÃO

2.1 VISÃO GERAL

O princípio fundamental de funcionamento de uma usina termelétrica a carvão será explicado ao longo deste capítulo e terá como base a Usina Termelétrica Jorge Lacerda B (UTLB), pertencente ao Complexo Termelétrico Jorge Lacerda (CTJL), situado em Capivari de Baixo/SC.

O complexo é formado por sete unidades geradoras divididas em três usinas inauguradas em diferentes épocas. A primeira usina a entrar em operação foi a Usina Termelétrica Jorge Lacerda (UTLA), com quatro unidades geradoras e capacidade instalada total de 232 MW. A segunda usina a operar foi a UTLB, com duas unidades (5 e 6) de capacidade instalada de 262 MW no total. A usina mais nova é a UTLC, com apenas a unidade 7 em operação, com capacidade instalada de aproximadamente 363 MW. O presente documento é voltado ao estudo da UTLB, usina em que foi desenvolvido o projeto e comissionamento dos novos bancos de baterias do sistema de emergência.

O CTJL é responsável pela maior produção termelétrica a partir do carvão mineral na América Latina e é abastecido pela bacia Sul-Catarinense, situada na região carbonífera de Criciúma, cerca de 68km distante da cidade de Capivari de Baixo. O complexo é o principal responsável pelo impulso econômico da região, segundo dados da própria empresa. Em 2013 a Jorge Lacerda gerava em torno de 6.600 empregos diretos ou indiretos. Além disso, corresponde a cerca de 35% da energia consumida em Santa Catarina e responde por 75% da economia de Capivari de Baixo. Em termos quantitativos, no ano de 2013 injetou cerca de R\$660 milhões de recursos destinados a combustíveis e cerca de R\$150 milhões de recursos destinados aos funcionários e investimentos nas usinas (ENGIE, 2017).

Quadro 1. Capacidade instalada do CTJL.

CTJL	ENTRADA EM OPERAÇÃO	CAPACIDADE INSTALADA(MW)
UTLA #1	1965	50
UTLA #2	1967	50
UTLA #3	1974	66
UTLA #4	1973	66
UTLB #5	1979	131
UTLB #6	1980	131
UTLC #7	1997	363
TOTAL		857

Fonte: Arquivo interno Engie Brasil Energia.

2.2 PRINCIPAIS EQUIPAMENTOS DO PROCESSO DE GERAÇÃO TERMELÉTRICA A CARVÃO

O sistema de geração de usina a vapor é relativamente complexo e utiliza um conjunto grande de equipamentos para operação e que serão detalhados nesse tópico individualmente.

2.2.1 Armazenamento e transporte do carvão mineral

2.2.1.1. Pátios de carvão

Os pátios de carvão de uma unidade geradora termelétrica têm como principal objetivo garantir o suprimento contínuo de combustível, evitando interrupções da planta por falta de carvão. Para análise quantitativa, uma usina de 100MW de capacidade queima aproximadamente 950 toneladas/dia de carvão. Para a maior parte das usinas, o ideal é armazenar combustível o suficiente para 30 a 90 dias de operação e o tamanho do pátio dependerá de análises econômicas e do

espaço disponível no terreno (BABCOCK & WILCOX COMPANY, 2015). O pátio de carvão da UTLA possui 1,5 hectare de área (em vermelho na figura 1) e o pátio das usinas UTLB e UTLC possui quatro(4) hectares (em azul na figura 1).

Figura 1. Pátios de Carvão do CTJL.



Adaptado de: <http://www.expressao.com.br/noticias/materias/02-09-15-Tractebel_transforma_area_degradada_em_parque_ambiental.php>. Acesso em 08/05/2017.

2.2.1.2. Correias transportadoras

As correias fazem o transporte interno do carvão mineral nas usinas, levando o combustível desde os pátios até os *bunkers* das respectivas unidades. Ao todo são 20 correias no complexo Jorge Lacerda, equipadas com detector de metais e extratores magnéticos (ver figura 2) que realizam o último processo de remoção de impurezas do combustível antes da queima.

Figura 2. Detector de metais (esquerda) e extrator magnético (direita).

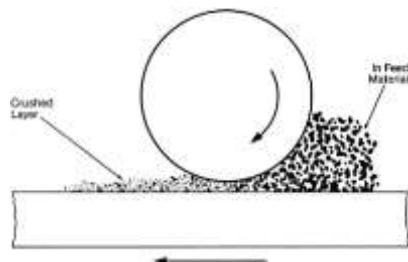


Fonte: Arquivo interno Engie Brasil Energia.

2.2.1.3. Alimentadores e moinhos de carvão

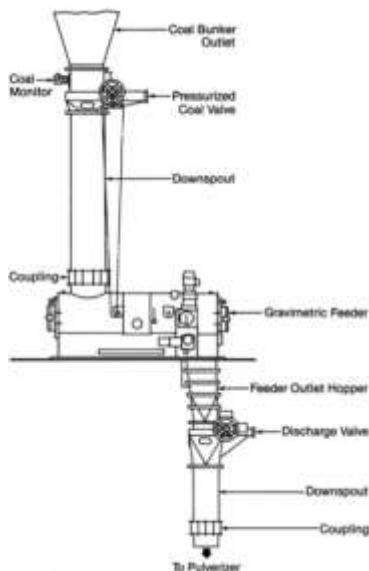
Os alimentadores são utilizados para o controle de fluxo de carvão desde o *bunker* até o moinho de carvão, de acordo com a quantidade necessária de combustível nas caldeiras (ver figura 4). Nos moinhos, o carvão é triturado para que se obtenha carvão pulverizado, de acordo com a granulometria requerida pela planta. Estudos mostram que o carvão pulverizado exige menor quantidade de ar na combustão, o que diminui energia para esquentar o ar primário e, conseqüentemente, proporciona menor desperdício na geração. Normalmente são utilizados moedores de rolos, como mostra a figura 3, que exigem menor carga para a trituração de combustível (BABCOCK & WILCOX COMPANY, 2015; ENGIE, 2017). A figura 5 ilustra a estrutura interna de um pulverizador de rolos.

Figura 3. Rolos realizando o processo de trituração do carvão.



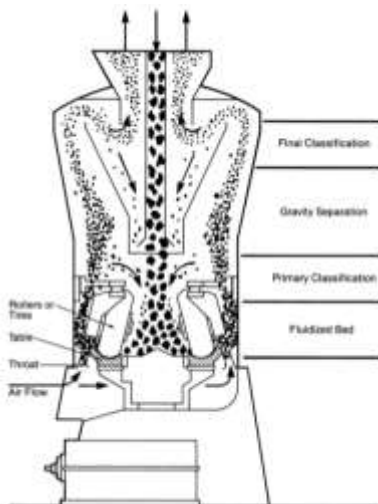
Fonte: The Babcock & Wilcox Company, 2015.

Figura 4. Estrutura de controle de alimentação do carvão, desde o *bunker* até a entrada no pulverizador.



Fonte: The Babcock & Wilcox Company, 2015.

Figura 5. Estrutura interna de um pulverizador de recirculação.



Fonte: The Babcock & Wilcox Company, 2015.

2.2.1.4. Ventilador de ar primário

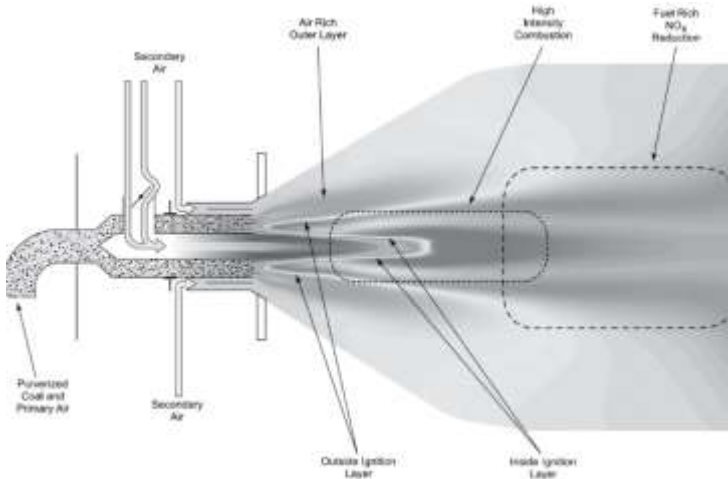
Os ventiladores de ar primário (*Primary Air Fan*) injetam fluxo de ar nos moinhos para que o combustível, já pulverizado, seja injetado nas caldeiras para o processo de queima. Na figura 5 é possível ver o fluxo de ar (*Air Flow*) injetado no pulverizador e a saída de carvão pulverizado, que terá os queimadores como destino final (ENGIE, 2017).

2.2.2. Processo de queima

2.2.2.1. Queimadores

Os queimadores de uma usina termelétrica a carvão são utilizados para injetar carvão pulverizado e ar primário vindos do moinho até a chama primária, através do ignitor do queimador. Também injeta ar secundário, oriundo do ventilador de ar secundário, que age como comburente no processo de combustão diretamente no interior da caldeira, como mostra a figura 6.

Figura 6. Injeção dos elementos da combustão através do queimador.



Fonte: The Babcock & Wilcox Company, 2015.

2.2.2.2. Ventilador de ar secundário

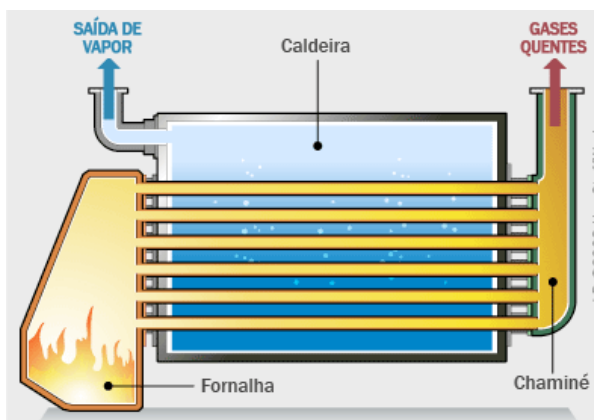
O ventilador de ar secundário injeta ar atmosférico nos queimadores, que funcionará como comburente no processo da combustão. Como será mais bem explicado na seção 2.3, este ar passa por um aquecedor de ar (*Air Heater*) antes de entrar no queimador, facilitando a combustão.

2.2.2.3. Caldeiras

“Caldeiras a vapor são equipamentos destinados a produzir e acumular vapor sob pressão superior à atmosférica” (NR-13, 2017). Este procedimento será mais bem descrito na seção 2.3 deste documento.

Há dois tipos principais de construção de caldeiras. A primeira é a caldeira flamatubular, onde os componentes da combustão circulam por dentro de tubos, que ficam imersos dentro da água a ser evaporada, como mostra a figura 7. Apesar de sua construção simples, as caldeiras flamatubulares apresentam baixo rendimento térmico e ocupam grande espaço, sendo mais utilizadas em pequenas instalações (STROBEL, 2017).

Figura 7. Princípio de funcionamento de caldeiras flamatubulares.



Disponível em: <<http://www.solucoesindustriais.com.br>>. Acesso em 15/11/2017.

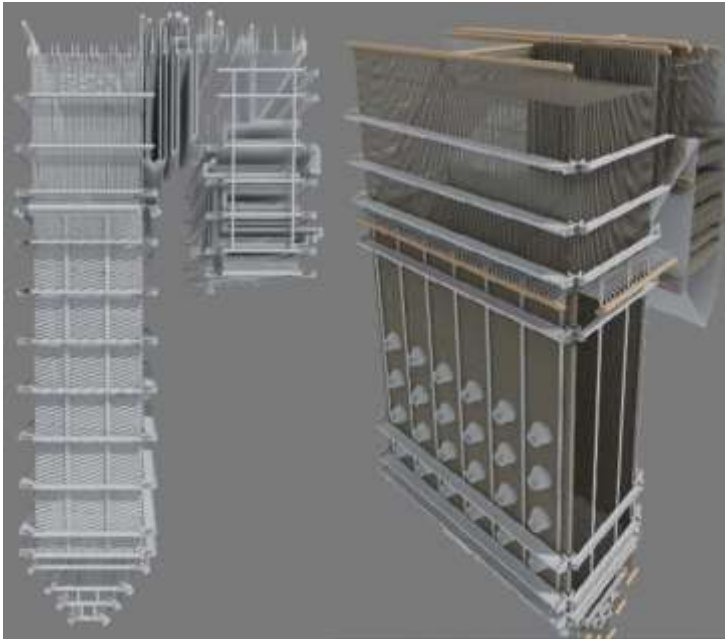
O outro tipo de instalação é a aquatubular, em que a água circula dentro de tubos e os produtos da combustão estão externos a eles. Estas caldeiras apresentam maior rendimento, além de maior produção de vapor, devido à maior superfície de aquecimento, sendo mais indicadas para usinas geradoras termelétricas (STROBEL, 2017).

Na Usina Termelétrica Jorge Lacerda B (UTLB), utiliza-se caldeira aquatubular, com as seguintes especificações:

Caldeiras das unidades 5 e 6 UTLB:

- Fabricante: SKODA/SES TLmace;
- Tipo: Duplo passe, aquotubular, circulação natural;
- Capacidade de produção de vapor: 395.000 kg/h;
- Pressão do vapor superaquecido: 124 kgf/cm²;
- Temperatura do vapor superaquecido: 515°C.

Figura 8. Caldeira aquatubular da UTLB.



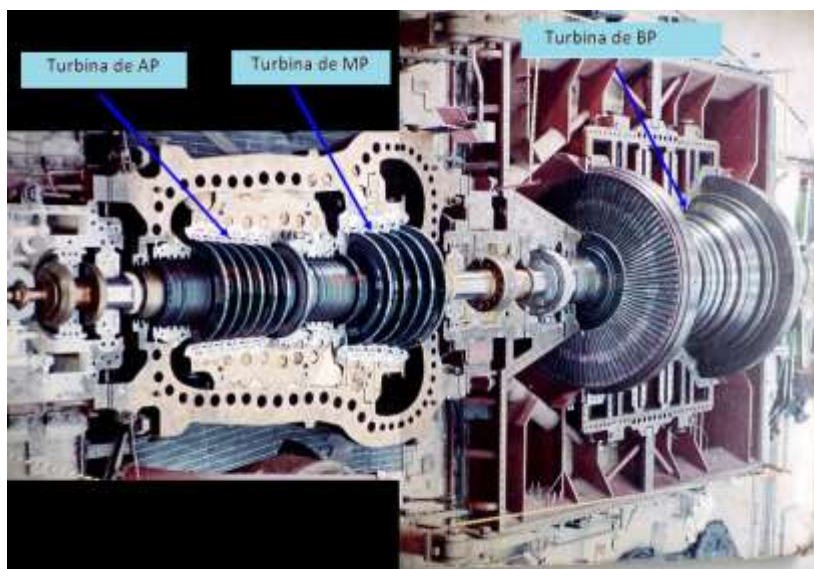
Fonte: Arquivo interno Engie Brasil Energia.

2.2.3. Conversão de energia mecânica em energia elétrica

2.2.3.1. Turbinas

As turbinas são as responsáveis pelo movimento mecânico do sistema de geração. A partir do vapor de alta pressão gerado na caldeira, as pás das turbinas são acionadas. O acoplamento mecânico junto ao alternador possibilita a conversão eletromecânica da energia. As turbinas em usinas geradoras possuem um sistema de recuperação de vapor de menor pressão, os vapores oriundos da caldeira possuem alta pressão e passam pela turbina de alta pressão (AP). As sobras de vapor na turbina são conduzidas a reaquecedores, que utilizam o calor da própria caldeira e aumentam a pressão do vapor perdido anteriormente no processo. Este vapor recuperado volta à turbina, agora nas pás de baixa (BP) e média pressão (MP). Este sistema de reaquecimento dos vapores aumenta o rendimento no ciclo térmico de geração (ENGIE, 2017).

Figura 9. Corte lateral de turbina a vapor.



Fonte: Arquivo interno ENGIE Energia Brasil.

2.2.3.2. Excitatriz e regulador de tensão

Esse sistema tem como principal função fornecer a excitação inicial do campo do gerador de forma controlada, através da excitatriz, levando a tensão terminal do gerador a um valor pré-estabelecido. Quando já alimentado, o processo de excitação do sistema pode ser concluído sem energia externa. Além disso, o regulador de tensão controla a quantidade de potência reativa fornecida ou consumida pelo sistema e assegura que o gerador opere dentro da sua curva de capacidade, que mostra os limites de operação de um gerador ligado ao sistema elétrico (PASQUAL, 2012). Esse estudo é importante para identificar os pontos de operação do sistema na potência desejada, sem que danifique o alternador. Os limites verificados na operação dos geradores síncronos são:

- Aquecimento da armadura (corrente máxima de armadura);
- Aquecimento do enrolamento de campo (corrente máxima de campo);
- Potência da turbina;
- Estabilidade;
- Excitação mínima e máxima.

As excitatrizes podem ser do tipo estática ou rotativa. Em razão do menor custo de manutenção, devido ao menor desgaste por atrito, normalmente é utilizada excitatriz estática (PASQUAL, 2012).

2.2.3.3. Turboalternador

Os geradores mais utilizados em usinas termelétricas são síncronos, ou seja, sua velocidade é controlada de acordo com a frequência de operação.

Nos geradores síncronos, a corrente CC gerada pela excitatriz flui através do enrolamento de campo (rotor) e gera o campo magnético (indutor). Ao mesmo tempo, o movimento do rotor, impulsionado pela turbina, induz tensão alternada nos enrolamentos da armadura (estator).

Esta tensão, aplicada à carga, produz corrente elétrica, caracterizando a geração de potência da usina termelétrica, enviada à subestação da usina, onde a tensão é elevada e a potência transportada através de linhas de transmissão (ENGIE, 2017; STONE et al., 2014).

O rotor mais utilizado em usinas termelétricas é do tipo polos lisos, como ilustra a figura 10. Por ser uma construção mais robusta, o rotor de polos lisos opera a altas velocidades, em torno de 1800 e 3600 rpm, com capacidade de geração acima de 1000MW. Outro tipo de rotor existente no mercado é o de polos salientes, utilizado em geradores de velocidades mais baixas, geralmente hidráulicos, como ilustra a figura 11 (STONE et al., 2014).

Figura 10. Rotor de polos lisos.



Fonte: PASQUAL, André, **Turbogeradores**. Capivari de Baixo, 2011.

Figura 11. Rotor de polos salientes.



Fonte: PASQUAL, André, **Turbogeradores**. Capivari de Baixo, 2011.

2.2.4. Tratamento dos gases da combustão

A combustão de carvão no interior das caldeiras é responsável pela emissão de gases tóxicos ao meio-ambiente, principalmente dióxido de carbono (CO_2), dióxido sulfúrico (SO_2) e óxido nítrico (NO_2) (MITTAL, 2011). Por conta disso, o sistema de tratamento dos gases deve ser bem estruturado para garantir a emissão de gases poluentes dentro dos limites garantidos por lei. Os equipamentos para redução da emissão de gases poluentes trabalham juntos com iniciativas de reutilização dos resíduos de cinzas, o que será explicado posteriormente nesse documento.

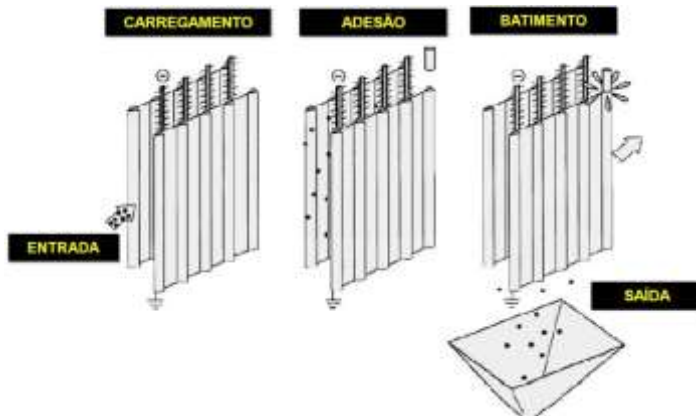
2.2.4.1. Ventiladores induzidos

São responsáveis por puxar os gases de combustão de dentro da caldeira e levar até o interior dos precipitadores eletrostáticos.

2.2.4.2. Precipitadores eletrostáticos

Os precipitadores são responsáveis por evitar que as cinzas secas de carvão a alta temperatura sejam enviadas à chaminé. Na sua parte interna possuem placas de eletrodos carregados negativamente, que atraem as partículas de carvão carregadas positivamente. Quando uma certa quantidade de cinza, definida pelo controle do precipitador, for atingida, são acionados os batedores, que são basicamente martelos que soltam as partículas das placas coletoras para baixo dos precipitadores, onde são conduzidas até os silos de armazenamento de cinza seca (ALSTOM, 2008). Esse equipamento é responsável por retirar cerca de 80% das cinzas geradas no processo de combustão, segundo dados da empresa ENGIE Brasil Energia. Ainda segundo a empresa, os precipitadores instalados no complexo Jorge Lacerda no ano de 2012 possuem eficiência de 98% na retirada da cinza seca.

Figura 12. Princípio de funcionamento de precipitador eletrostático.



Fonte: Arquivo interno ENGIE Brasil Energia.

2.2.4.3. Chaminé

É a responsável pela última etapa no processo de tiragem dos gases da combustão. Há normas para o dimensionamento e a construção de chaminés. A altura mínima de uma chaminé deve ser calculada levando

em consideração o nível de emissão de poluentes da planta, obstáculos próximos, parâmetros climatológicos e as condições de descarga dos efluentes gasosos, reduzindo os danos causados ao meio ambiente. Os métodos de cálculo da altura de chaminés não fazem parte do escopo deste documento, e portanto serão omitidos neste momento.

2.2.5. Tratamento de água

A água é de extrema importância no processo de geração termelétrica. Obviamente, é necessária no processo de produção de vapor no interior da caldeira, mas também tem aspecto fundamental no processo de refrigeração de equipamentos da usina. O tratamento de água torna-se importante em razão do risco de corrosão (principalmente nos tubos e paredes da caldeira), associado ao grau de alcalinidade ou acidez e a elementos dissolvidos na água.

As principais causas de corrosão em tubos e equipamentos devido a água são:

- Presença de oxigênio dissolvido na água de alimentação da caldeira;
- Descontrole do pH da água na caldeira;
- Contaminantes da água de reposição ou do condensador;

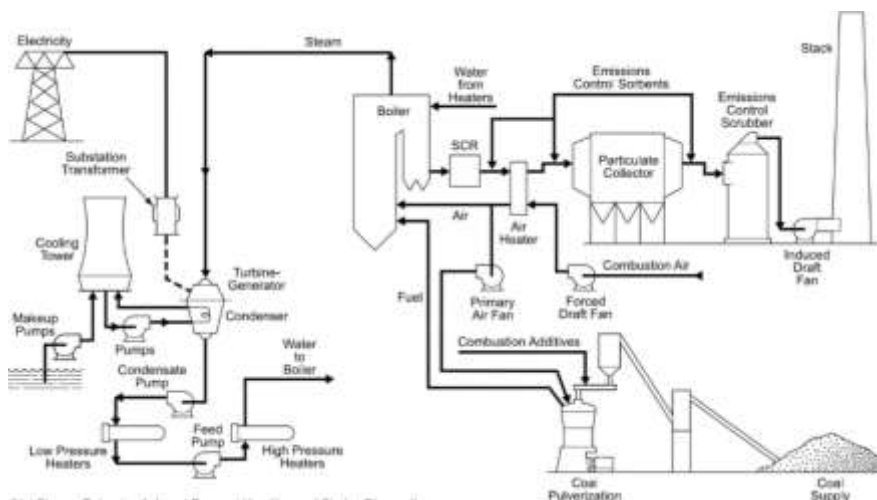
Para evitar o processo de corrosão, e conseqüentemente, uma parada não programada de unidade, o tratamento e controle da água é rigoroso dentro do complexo e é realizado em estações de tratamento de água dentro de cada unidade geradora. Nas estações são feitos os seguintes procedimentos para evitar os efeitos negativos de corrosão.

- Utilização de sequestrantes de oxigênio e controle da desaeração mecânica;
- Controle rigoroso do pH da água de alimentação;
- Controle do ciclo de concentração e da descarga contínua;
- Manutenção da condutividade elétrica da água no interior da caldeira em níveis seguros (ENGIE, 2017).

2.3. PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO DA UTLB

O princípio geral de funcionamento de uma usina termelétrica a vapor é ilustrado na figura 13. Ao longo desta seção, o funcionamento da UTLB será explicado em blocos, afim de facilitar a compreensão do leitor.

Figura 13. Princípio de funcionamento de usina termelétrica a carvão.



Fonte: The Babcock & Wilcox Company, 2015.

2.3.1. Abastecimento de carvão

Já dentro da usina, o minério é transportado através de correias transportadoras até o topo dos prédios das unidades geradoras. Dentro do prédio, o carvão é depositado nos alimentadores, que controlarão a entrada de combustível para queima. Dos alimentadores o combustível alimenta os moinhos que pulverizam o carvão. Este pó é injetado pela parte de fora dos queimadores e é empurrado até eles através dos ventiladores de ar primário, como explicado anteriormente na seção 2.2.

2.3.2. Processo de queima

Como explicado anteriormente, o carvão é injetado na caldeira através dos queimadores. Isto facilita o processo de queima, pois o combustível já entra na caldeira com o processo de combustão iniciado. Para finalizar a queima, ar atmosférico é injetado na caldeira através de ventiladores forçados e funciona como o comburente no processo.

A caldeira, formada por um conjunto de tubos (ver figura 8), atinge um nível de temperatura muito alto, dependendo da pressão necessária na turbina da unidade. Dentro dos tubos percorre água desmineralizada que, ao mesmo tempo que é transformada em vapor de alta temperatura e pressão, é também utilizada para refrigeração dos tubos. Para isso ser possível, existe um sistema de controle de alta precisão que faz com que os alimentadores de água constantemente forneçam líquido nos tubos, fazendo com que estes sempre sejam percorridos por água líquida e vapor de alta pressão ao mesmo tempo (ENGIE, 2017).

2.3.3. Processo de geração de energia elétrica

Os vapores de alta pressão retirados diretamente da caldeira alimentam a turbina de alta pressão. As sobras de vapor são reenviadas à caldeira, onde passam por um sistema de reaquecimento e retornam às turbinas de baixa e média pressão. Este sistema é responsável pelo movimento mecânico do sistema de geração que, acoplado ao sistema gerador e excitatriz, produz energia elétrica, que é enviada à subestação e, posteriormente, às linhas de transmissão, como explicado na seção 2.2.

Como será visto posteriormente, parte da energia gerada pelo alternador retorna à subestação de alimentação da própria unidade para fornecer a energia necessária aos processos da unidade.

2.3.4. Processo de tiragem

Os gases da combustão gerados no interior da caldeira são forçados para o precipitador eletrostático através do ventilador induzido. Nos precipitadores, as cinzas secas e de alta temperatura são eletricamente atraídas pelas placas eletrizadas e sofrem um processo de batimento para serem removidas das placas e levadas aos silos de armazenamento ou para as bacias de depósito de cinzas. Após o processo de recuperação de partículas sólidas, o restante dos gases de combustão é ejetado através da chaminé.

2.3.5. Ciclo da água

A água primária de alimentação é retirada de tanques de água tratada dentro da própria usina e bombeada para dentro da caldeira. Para o reaproveitamento da água, o vapor excedente após a passagem pelas turbinas passa por um condensador, é resfriado e retorna à caldeira através de outra bomba de alimentação de água.

2.3.6. Processo de reaproveitamento de cinzas

O reaproveitamento das cinzas torna-se importante numa usina movida a carvão em razão da quantidade de resíduos oriundos da geração. No complexo Jorge Lacerda os resíduos secos são vendidos a usinas de produção de cimento e concreto. Alguns projetos sociais já foram implementados em Capivari de Baixo/SC, utilizando os resíduos provenientes dos restos de cinzas secas. A cinza úmida é depositada em bacias de sedimentação, que possuem tratamento rigoroso para evitar a contaminação do solo. Um projeto interessante viabilizado no complexo foi a realização da recuperação de toda a área de depósito de carvão da extinta CAEEB, estatal que era responsável pela comercialização de carvão no estado. A área de cerca de 47 hectares foi reabilitada e no local foram construídas duas bacias de sedimentação para depósito de cinzas úmidas e um parque ecológico para a região do complexo, com grande área de caminhada, museu ao ar livre com antigos equipamentos do

complexo, área de shows e festas. O parque, inaugurado em outubro de 2013 e mostrado na figura 14, cumpriu o objetivo de recuperar parte da imagem da empresa com a população local, que reclama da poluição proveniente da usina (ENGIE, 2017).

Figura 14: Vista aérea do parque ambiental.



Fonte: Disponível em:

<http://diariodosul.com.br/SITE2015/noticia/23540/Premio:-Tractebel-Energia-e-destaque-em-3-categorias.html>. Acesso em 09/05/2017.

2.4. DIAGRAMA UNIFILIAR DA UTLB

O diagrama unifilar completo da UTLB pode ser visto no ANEXO A deste documento e mostra as alimentações dos painéis de distribuição dos diferentes barramentos das unidades.

Como pode-se ver no diagrama, a unidade 5 é representada no lado direito, enquanto que a unidade 6 está representada no lado esquerdo do diagrama. A energia gerada é levada aos transformadores levantadores T5 e T6, que interligam a usina com o sistema integrado nacional.

Parte dessa energia gerada nas unidades é utilizada para alimentar os barramentos de operação do complexo. Como o aspecto da

unidade 5 é redundante ao da unidade 6, o detalhamento será feito apenas à unidade 5. O funcionamento para o lado esquerdo do desenho é semelhante. Na saída do gerador, parte da energia retorna à usina através do transformador rebaixador de unidade TU5, que rebaixa a tensão de saída do gerador de 13,8 kV para 6,3 kV e alimenta o barramento da unidade (BU5) e de serviços gerais (BSG5) de 6,3 kV.

O barramento de 6,3 kV BU5 alimenta os motores maiores da operação, o barramento de cinzas (motor e compressor de transporte, os centros de controle dos precipitadores eletrostáticos, cinzas leves, silo e tratamento da água das cinzas) e da torre de resfriamento. Já o BSG5 alimenta as bombas de recirculação da caldeira, anti-incêndio e de recuperação de drenos. No final do BU5 ocorre mais um rebaixamento de tensão no transformador rebaixador TU5/LV, que baixa a tensão para 480V e alimenta o barramento de unidade (BB5) e de serviços gerais (BGE5) de 480V.

O barramento BB5 alimenta os motores de 480V acima de determinada potência e os centros de controle de motores de caldeira, moinhos, condensador, turboalternador e de emergência (BEM51). O BGE5 alimenta cargas com potência menor e são listadas a seguir:

- Motores dos compressores de ar de comando;
- Ponte rolante;
- Painel de controle do sistema de ar-condicionado;
- CCM de manuseio de carvão;
- CCM de combustível e anti-incêndio;
- CCM de serviços gerais;
- CCM de serviços essenciais (BEM52);
- Cubículo de iluminação;
- CCM de pré-tratamento de água;
- CCM de desmineralização e tratamento de condensado.

O BEM51 alimenta o CCM de cargas essenciais, que serão mais bem detalhadas no capítulo 3.

O BEM52 alimenta os retificadores de +125Vcc, +24Vcc e -24Vcc e o quadro de transferência automática de 220V estabilizado e frequência 60 Hz. Além da alimentação dos retificadores o barramento BEM52 alimenta os bancos de baterias das unidades (ENGIE, 2017).

3. SISTEMA DE EMERGÊNCIA DA UTLB

3.1. VISÃO GERAL

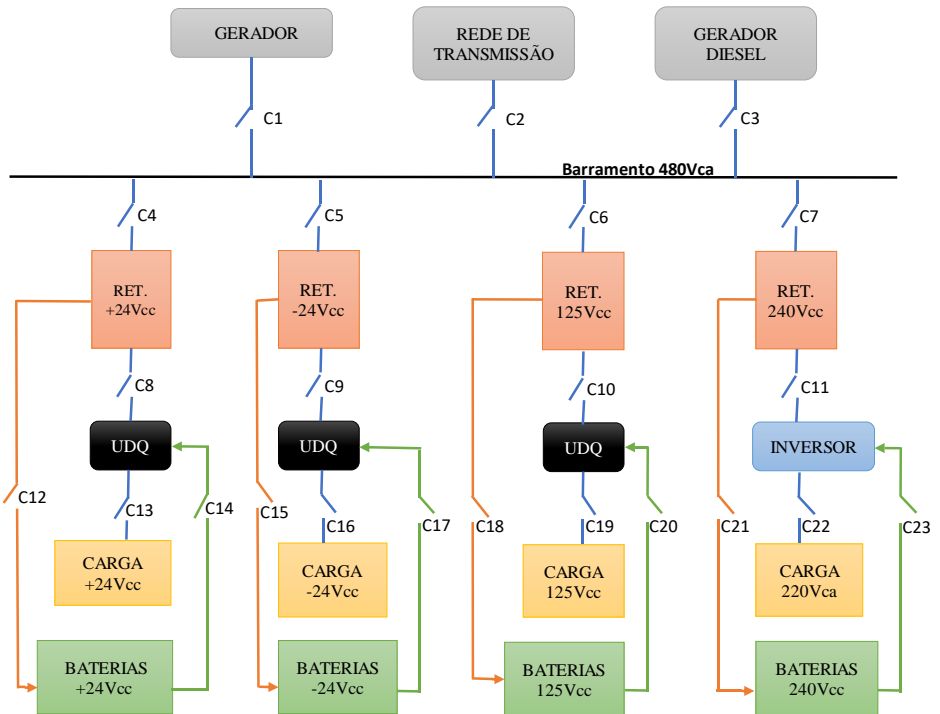
Como visto no capítulo anterior, os equipamentos de uma usina termelétrica operam a altas temperaturas e pressão, além de possuírem grandes elementos girantes de alta velocidade de rotação. Por essa razão, os equipamentos não podem ser desligados sem manobras específicas de refrigeração e despressurização do sistema. A falta desses procedimentos de desligamento de uma unidade pode acarretar em danos irreparáveis de equipamentos ou acidentes catastróficos. Tendo esse conhecimento, o sistema de emergência é responsável por garantir o suprimento de energia aos principais elementos responsáveis pelas manobras de desligamento da usina.

O barramento de emergência da unidade alimenta os retificadores (125 Vcc, +24 Vcc e -24Vcc) e o quadro de transferência automática de 220 Vca. Esses elementos alimentam os motores de refrigeração de equipamentos, painéis de comando de relés e contatores, sensores de pressão e temperatura, centro de comando de iluminação de emergência e de painéis de comando, carregadores e exaustores das baterias, dentre outros que estão detalhados nos quadros 2, 3 e 4.

3.2. PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO DO SISTEMA DE EMERGÊNCIA

Como explicado anteriormente, dada a devida importância do funcionamento pleno do sistema de emergência, existem cinco modos de operação do mesmo para garantir a máxima segurança do sistema sem que ocorra falta de alimentação. O esquema simplificado do sistema do barramento de emergência (BEM) é dado na figura 15.

Figura 15. Esquema simplificado do sistema de emergência.



3.2.1. Modos de operação do sistema de emergência

1) Gerador alimentando o BEM de 480Vca:

Esse é o modo de operação ideal e tem a alimentação do barramento de 480Vca do sistema de emergência feita diretamente da realimentação da unidade geradora. Neste caso, os elementos do sistema normalmente são alimentados através dos retificadores e *no-breaks* e as baterias são continuamente carregadas em flutuação (ver seção 3.2.2).

Nesse caso as “chaves” 2, 3, 14, 17, 20 e 23 da figura 15 estão abertas e as demais, fechadas.

2) Rede de Transmissão alimentando o BEM de 480Vca:

O segundo modo também é considerado normal e ocorre quando a unidade geradora não está em operação, mas a rede interligada está funcionando corretamente. Nessa maneira, a alimentação dos barramentos da usina é feita através de energia consumida da rede de distribuição. Nesse caso, os elementos do sistema são alimentados normalmente através dos retificadores e *no-breaks* e as baterias são continuamente carregadas em flutuação.

Nesse modo, as “chaves” 1, 3, 14, 17, 20, 23 da figura 15 estão abertas e as demais, fechadas.

3) Gerador Diesel alimentando o BEM de 480Vca:

O terceiro modo de operação é acionado dentro de um sistema em falha. Nesse caso, a unidade geradora está parada e a rede encontra-se impossibilitada de alimentar os barramentos da usina. Nisso, são acionados os geradores a diesel do sistema de emergência da usina, que são responsáveis por fornecer alimentação alternada ao barramento de emergência da usina. Nesse contexto, toda a unidade está sem alimentação, exceto o sistema de emergência, que continuará fornecendo alimentação aos elementos do sistema através dos retificadores e *no-breaks* e as baterias são continuamente carregadas por flutuação.

Nesse modo, as “chaves” 1, 2, 14, 17, 20 e 23 da figura 15 estão abertas e as demais, fechadas.

4) Falha nos Retificadores:

A quarta maneira de operação ocorre na falha de um ou mais retificadores. Nesse caso, o banco de baterias correspondente ao equipamento em falha entra em operação, fornecendo a alimentação em corrente contínua necessária aos elementos do sistema de emergência. Quando os elementos retificadores recuperam seu modo normal de operação, as baterias entram em recarga, ou recarga profunda (ver seção 3.2.2) até recuperar sua capacidade. Após, voltam a ser alimentadas em flutuação.

Nesse modo, as “chaves” 13, 14, 16, 17, 19, 20, 22 e 23 da figura 15 estão fechadas (dependendo do retificador ou inversor em falha) e as demais, abertas.

5) Falha na alimentação no BEM de 480Vca

O último e mais crítico modo de operação acontece quando os itens 1, 2 e 3 encontram-se em falha. Dessa maneira, não há alimentação em corrente alternada nos barramentos da usina e, conseqüentemente, no barramento de emergência. Nesse contexto, todos os bancos de baterias operam fornecendo alimentação aos elementos do sistema de emergência para que a unidade possa ser desligada em segurança. Quando os sistemas de alimentação alternada voltarem a funcionar, as baterias são recarregadas até recuperar sua capacidade e, após, voltam a ser alimentadas em flutuação.

Nesse caso, as “chaves” 13, 14, 16, 17, 19, 20, 22 e 23 da figura 15 estão fechadas e as demais, abertas.

3.2.2. Modos de operação dos cubículos retificadores

Os modos de operação dos cubículos retificadores definem os níveis de tensão utilizados no carregamento dos bancos de baterias associados a estes. A operação detalhada dos cubículos retificadores será dada na seção 3.4 desse documento.

1) Flutuação

Esse é considerado o modo normal de operação dos retificadores e a maior parte do tempo sua operação ocorre nessa configuração.

A tensão ideal de flutuação (V_{float}) depende do tipo de acumulador utilizado, além de poder variar de acordo com o fabricante (ver capítulo 4). O retificador deve fornecer tensão contínua às baterias segundo (1):

$$V_{RET} = N^{\circ}elementos \times V_{float} [Vcc] \quad (1)$$

2) Recarga

O modo de recarga deve ser acionado quando a tensão nas baterias está em nível abaixo do ideal, normalmente após ser efetuada uma descarga do banco e é necessária recarga mais rápida. Assim como no modo de flutuação, a tensão ideal de recarga (V_{charge}) depende do tipo de acumulador, além de poder variar de acordo com o fabricante. O retificador deve fornecer tensão contínua às baterias segundo (2):

$$V_{RET} = N^{\circ}elementos \times V_{charge} [Vcc] \quad (2)$$

Observação: O modo de recarga, normalmente, não deve atuar por mais de 10 horas seguidas, evitando assim danos às células.

3) Recarga profunda

Em alguns casos, quando a descarga da bateria ocorre a níveis muito altos ou quando os bancos sofrem contínuas descargas em um pequeno período de tempo, é necessária uma recarga mais rápida que a convencional e deve-se utilizar o modo de recarga profunda. Como nos casos anteriores, a tensão de recarga profunda ($V_{deepcharge}$) depende do tipo de acumulador, podendo também variar de acordo com o fabricante. O retificador deve fornecer tensão contínua às baterias segundo (3):

$$V_{RET} = N^{\circ}elementos \times V_{deepcharge} [Vcc] \quad (3)$$

3.3. QUADROS DE DISTRIBUIÇÃO

Nesse tópico são listados os equipamentos alimentados pelos quadros de distribuição de $\pm 24V_{cc}$, $125V_{cc}$ e $220V_{ca}$, com o objetivo de identificar onde age e a importância do sistema para a segurança da usina e de seus funcionários.

3.3.1. Quadro de distribuição de $\pm 24V_{cc}$

Alimenta principalmente cargas de controle, automação e iluminação dos painéis da usina. As cargas alimentadas são listadas no quadro 2. O sistema maior é alimentado pelos circuitos de $+24V_{cc}$. Os circuitos de $-24V_{cc}$ são utilizados em conjunto com os positivos para as cargas com tensão de $+48V_{cc}$.

Quadro 2. Cargas do quadro de distribuição de $\pm 24V_{cc}$.

Sistema de controle de acionamento #5 e #6	Sistema de bloqueamento interno #5 e #6	Comutação automática #5 e #6
Sistema de proteção #5 e #6	Relés #5 e #6	Medição HB #5 e #6
Sistema de comando dos queimadores #5 e #6	Sistema de controle automático HB #5 e #6	Sistema de alarme #5 e #6
Contatos de interface #5 e #6	Relés auxiliares para sincronização (sinalização)	Sistema de hidrogênio (sinalização) #5 e #6
Conversor U-1 #5	Mesa de comando de cinza pesada #5 e #6	Painel Setic #5
Painel auxiliar dos ventiladores induzidos	Painel de regulação da turbina #5 e #6	Painel do supervisor da turbina #5 e #6
Conversor U-2 #6	Boia do ciclo térmico	CCM estação de desmineralização da água
3 reservas		

Fonte: Arquivo interno ENGIE Brasil Energia.

3.3.2. Quadro de distribuição de +125Vcc.

Alimenta as cargas de 125Vcc das unidades. É o nível de tensão mais importante do sistema de emergência por possuir a maior quantidade de cargas essenciais, principalmente dos centros de comando de motores (CCM). O quadro 3 apresenta essas cargas.

Quadro 3. Cargas do quadro de distribuição de +125Vcc.

CCM moinhos #5 e #6	CCM caldeira #5 e #6	CCM precipitador eletrostático #5 e #6
CCM manipulação de cinzas #5 e #6	QD distribuição de cinzas #5 e #6	CCM turbina e alternador #5 e #6
CCM condensador #5 e #6	CCM emergência #5 e #6	Painel do gerador diesel #5 e #6
QD 480V de serviço auxiliar #5 e #6	QD 6,3kV serviço auxiliar #5 e #6	Painel de acionamentos especiais #5 e #6
Painel de regulação e proteção da turbina por sobrevelocidade #5 e #6	Painel de medição de faturamento #5 e #6	Painel de relés de acoplamento #5 e #6
Painel de relés de proteção #5 e #6	Painel sistema de proteção #5 e #6	Painel de transferência automática #5 e #6
QD 480V serviços gerais	QD 6,3kV serviços gerais	CCM auxiliar
Painel de comando anti incêndio e gerador diesel de emergência	Painel de contatores da água de extração de cinzas	Painel de contatores do silo de cinzas leves
CCM EDA	Painel CLP da EDA	CCM serviço auxiliar da subestação
Painel oscilógrafo	Painel alarme elétrico	Unidades terminais remotas

Medição de combustível	Bancada TMSE	QD 480V distribuição de emergência
QD iluminação de emergência	4 reservas #5	4 reservas #6

Fonte: Arquivo interno ENGIE Brasil Energia.

3.3.3. Quadro de distribuição de 220Vca.

Alimenta cargas de corrente alternada trifásicas, conforme mostra o quadro 4.

Quadro 4. Cargas do quadro de distribuição de 220Vca estabilizado.

Controle automático #5 e #6	Medição HB #5 e #6	Queimadores #5 e #6
Alimentação do transformador do painel de hidrogênio #5 e #6	Válvula de descarga de hidrogênio #5 e #6	Painel 5MS20 #5
Painel dos transdutores de medição de potência e relés de sincronismo #5 e #6	Válvula de admissão de hidrogênio #5 e #6	Alimentação do transdutor de medição #5 e #6
Cubículo de serviços gerais 480V	Painel UTR	CPM #5 e #6
Analisador de oxigênio #5 e #6	Painel 5ML05 #5	Painel 5SK22 #5 e #6
Controle do giro lento da turbina #5 e #6	Rack central de telefonia e comunicação	Painel 6MS20 #6
Sala de informática	Painel supervisorio da sala de relés #5 e #6	Painel 6ML05 #6

Salas TMSE-TMSP-TMSI-SEPRE-ADMS e bancada de relés	Repetidora	Mesa de comando
Painel supervisorío #5 e #6	Fluxostato ETA	Indicadores do induzido
Supervisorío da TV #5 e #6	Painel de sopradores de fuligem #5 e #6	Pirometria #5 e #6
Painel inversores da alimentação de carvão #5 e #6	Painel GB 07	Painel TRASER #5 e #6
Painel analisador de oxigênio #5 e #6	Painel CLP's das bombas e transporte de cinzas	Monitoramento de câmeras #5 e #6
Indicadores do induzido	Painel válvula solenoide	Fluxostato ETA
Medição do fluxo de carvão	7 reservas #5	8 reservas #6

Fonte: Arquivo interno ENGIE Brasil Energia.

3.4. ELEMENTOS DO SISTEMA DE EMERGÊNCIA

Dentre todos os elementos que compõem o sistema de emergência, os principais, e que serão mais bem discutidos neste tópico, são os retificadores, inversores, *no-breaks*, bancos de baterias, além de outros equipamentos periféricos. Outros elementos menores serão abordados, quando necessário.

3.4.1. Cubículos retificadores

Os cubículos retificadores são os responsáveis por converter a alimentação alternada do barramento de emergência (BEM) em corrente contínua para alimentar os bancos de baterias e cargas de corrente contínua (CC) da usina. Em circuitos industriais, como é o caso,

normalmente a coluna retificadora é formada por Ponte de *Graetz* a tiristores, projetada para um circuito com carga altamente indutiva.

Os cubículos retificadores são projetados para conter, basicamente, um transformador, que rebaixa a tensão alternada ao nível de tensão contínua requerido na saída do retificador, uma coluna retificadora, que realiza a conversão CA/CC, um filtro LC, para ajustar o *ripple* da onda de saída, e circuitos de proteção do sistema (DSR, 2016).

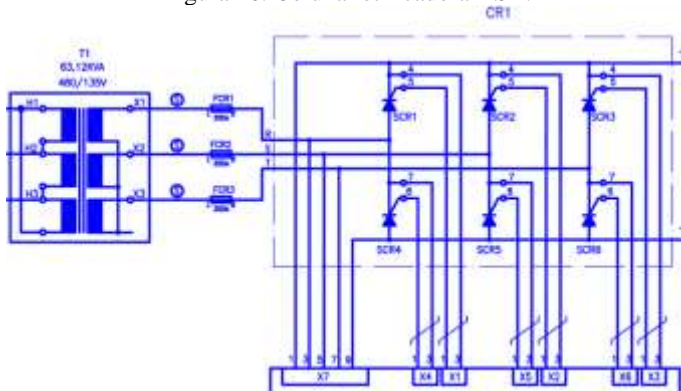
3.4.1.1. Coluna retificadora (CR1)

A coluna retificadora é o “coração” do cubículo e é responsável pela transformação da tensão alternada de entrada do barramento de 480Vca em tensão contínua de alimentação para os bancos de baterias e consumidores do sistema de corrente contínua.

A coluna retificadora recebe em sua entrada tensão trifásica alternada vinda, normalmente, de um transformador rebaixador de tensão, que transforma a tensão alternada do barramento de emergência em níveis de tensão requeridos na saída do retificador.

Um modelo comum de coluna retificadora em sistemas com cargas altamente indutivas, e de potência elevada, como é o caso da UTLB, é o sistema retificador a Ponte de *Graetz* a tiristor, em razão da robustez do circuito (DSR, 2016), como pode ser visto na figura 16.

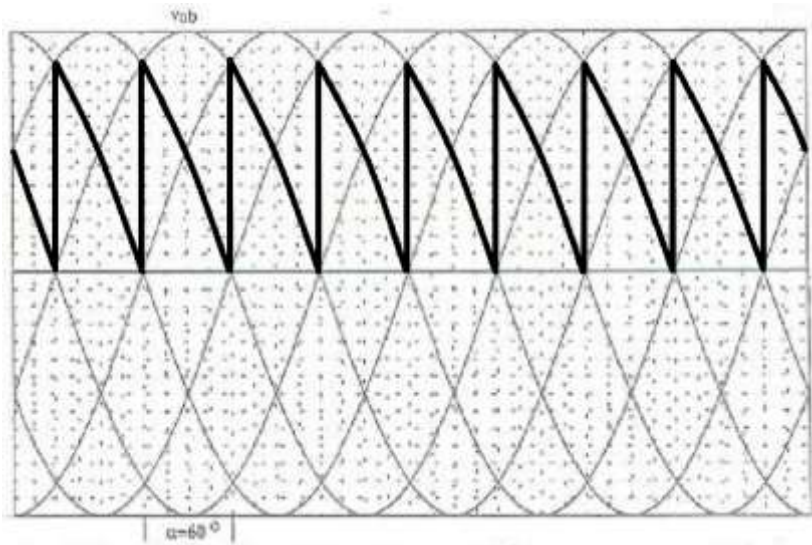
Figura 16. Coluna retificadora DSR.



Fonte: DSR, **Manual técnico do retificador DSR**. São Paulo, 2016.

A tensão na carga pode ser variada de acordo com o ângulo de disparo dos tiristores. Na figura 16, os ângulos de disparo são colocados nos tiristores através das entradas X1 até X6, produzidas pelo módulo de disparos do retificador, omitido na figura 16 (DSR, 2016). A figura 17 mostra uma curva típica da tensão na carga para um retificador Ponte de *Graetz* a tiristor, operando com carga indutiva, com ângulo de disparo $\alpha = 60^\circ$.

Figura 17. Tensão na carga (grifada) em relação à tensão de entrada trifásica do retificador.



Fonte: BARBI, Ivo. **Eletrônica de Potência**. Florianópolis, 2006.

Em (4) é mostrado o valor da tensão média na carga, onde V_0 é a tensão de pico na entrada do retificador e α é o ângulo de disparo dos tiristores (BARBI, 2006).

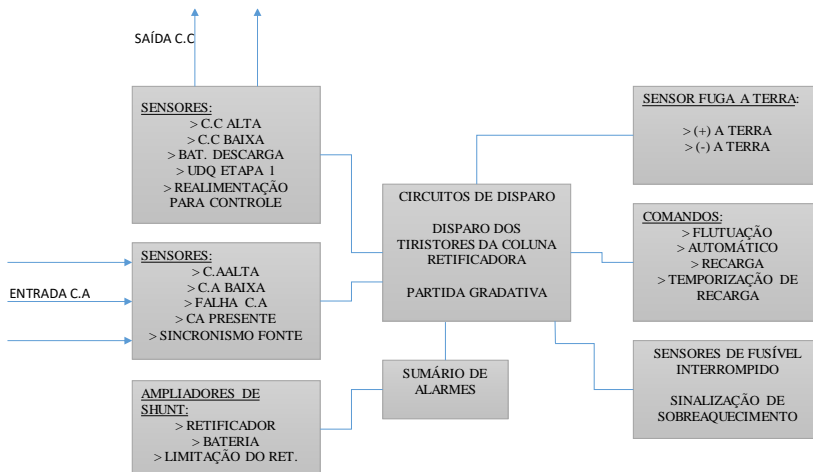
$$V_{Lmed} = 2,34V_0 \cos\alpha \quad (4)$$

Na saída do retificador, antes de chegar à carga, a tensão média mostrada na figura 17 passa por um filtro LC, diminuindo o *ripple* na tensão de saída, fornecendo à carga tensão contínua (DSR, 2016).

3.4.1.2. Circuitos de proteção e sinalização do cubículo retificador

O módulo de controle e alarmes do retificador DSR, muito similar aos outros retificadores existentes no mercado, é composto por diversos circuitos que têm a função de realizar todas as rotinas de controle e acionamento dos alarmes do cubículo e possui uma eletrônica de alta complexidade devido à importância para o pleno funcionamento do equipamento. O diagrama de blocos desse módulo é mostrado na figura 18, e será detalhado ao longo deste tópico.

Figura 18. Diagrama de Blocos MCA do Retificador DSR.



3.4.1.2.1. Sensores CA

Esses são os sensores responsáveis por alertar sobre uma possível falha na alimentação em corrente alternada (CA) do retificador. A operação normal do retificador aceita uma faixa de $\pm 15\%$ em relação a

tensão CA nominal. Os sensores identificam localmente e também enviam a sinalização remota ao painel do centro de operação das unidades sobre tensão alternada alta, baixa, assim como verifica ausência ou inversão de fase da tensão CA de entrada.

O sensor de CA presente apenas tem a função de sinalizar que o equipamento está energizado, alertando a evitar toques nas barras de alimentação C.A do cubículo e possíveis acidentes.

3.4.1.2.2. Sensores CC

São os sensores responsáveis por alertar sobre possíveis falhas nas tensões de saída CC do circuito. Os limites estabelecidos são ajustados dependendo da aplicação do equipamento retificador e devem ser realizados conforme os operadores considerem ser mais adequado.

Quando o sensor de CC alta acusa um valor acima daquele limite pré-estabelecido pelo operador, a sinalização de CC alta é enviada ao painel do retificador e à sinalização remota. Esse alarme aciona o relé responsável pelo desligamento do cubículo, afim de evitar danos ao consumidor e às baterias e o funcionamento normal só será recuperado após o botão RESET ser pressionado, desde que a condição de CC alta não persista.

O sensor de CC baixa acusa um valor abaixo do limite mínimo pré-estabelecido pelo operador e envia um sinal de sinalização ao painel do retificador e alarme para sinalização remota.

O sensor de baterias em descarga sinaliza quando a tensão do banco de baterias associado esteja inferior à tensão de flutuação. Isso caracteriza que as baterias estão descarregando e envia um sinal ao painel do retificador e remotamente ao centro de operação da unidade.

3.4.1.2.3. Comando de flutuação e recarga (manual e automática)

Para este comando, utiliza-se uma chave instalada no painel sinóptico do cubículo que seleciona o modo de operação desejado do retificador. O modo automático faz a leitura da corrente de bateria e decide se o sistema funcionará em flutuação ou recarga. É interessante

notar que, quando a bateria está carregada, a corrente demandada é baixa e deve permanecer em flutuação. Quando a bateria sofre um processo de descarga, o banco solicita uma corrente alta para recarga e o sistema deverá estar em modo de recarga.

Observação: Se o modo recarga manual estiver acionado, após 10 horas operando em recarga, ele voltará automaticamente para flutuação, evitando um tempo de recarga muito elevado e que pode danificar as baterias.

3.4.1.2.4. Sensor de fuga a terra

Esse circuito de comando tem a função de detectar e sinalizar remotamente e no painel do equipamento quando ocorrer algum tipo de fuga entre o pólo positivo e negativo do retificador e o potencial de terra (baixa impedância).

3.4.1.2.5. Sensores de fusível (disjuntor) interrompido

Esse sistema tem a função de detectar uma interrupção de fusível ou disjuntor (dependendo da construção do cubículo retificador) das três principais proteções do retificador: fusível (ou disjuntor) do retificador, do consumidor e das baterias. É enviado sinal de alarme localmente e remotamente quando da ocorrência da interrupção.

3.4.1.2.6. Circuito de disparo

É o circuito responsável pelo disparo dos tiristores da coluna retificadora, com o objetivo de atingir os valores de tensão definidos pelo operador. É composto por três blocos de disparo, um mestre e dois escravos.

O bloco mestre recebe informação de uma fase e serve como referência de sincronismo. Este bloco gera sinais “dente-de-serra”, que são enviados ao Módulo de Snubbers e Disparos (MDS), amplificados e enviados aos *gates* dos tiristores.

A partir do valor de referência de sincronismo gerado pelo bloco mestre, os escravos realizam as mesmas funções para as outras duas fases do sistema. Esta configuração garante uma forma de corrente entre as fases o mais semelhantes possíveis, garantindo equilíbrio entre fases no retificador.

3.4.1.2.7. Partida gradativa

O circuito garante a entrada gradativa de alimentação (“*soft start*”) do retificador, evitando picos de corrente na entrada e protegendo o equipamento.

3.4.1.2.8. Ampliadores de shunt

Esse circuito é responsável pela limitação de corrente fornecida às baterias ou ao consumidor. O valor limite é configurado pelo usuário através de reostatos (potenciômetros). Quando o consumidor ou bateria solicitar corrente maior que o máximo ajustado, a tensão é reduzida para garantir que a corrente não ultrapasse o valor pré-estabelecido.

3.4.1.2.9. Realimentação de tensão

Esse sistema possui a função de adequar a tensão de saída do retificador a níveis mais baixos que possam ser utilizados pela malha de controle e enviar esse sinal ao circuito de disparos, promovendo assim a regulação em malha fechada.

3.4.1.2.10. Sumário de alarmes

Esse circuito recebe o sinal de alarme de todos os circuitos do MCA, acionando o sinal luminoso e sonoro localmente e remotamente, indicando alguma falha de operação do retificador.

3.4.1.2.11. Sinalização de sobreaquecimento

Através de um termostato instalado na coluna retificadora, o circuito sinaliza a ocorrência de sobreaquecimento nos tiristores do retificador, enviando sinal ao painel sinóptico indicando a anormalidade da operação e desligando o equipamento, evitando danos aos componentes internos.

3.4.1.2.12. RESET de alarmes

Este circuito elimina todos os alarmes memorizados no módulo MCA e o equipamento retorna ao funcionamento normal, desde que as causas dos alarmes tenham sido extintas.

3.4.1.3. Módulo do painel sinóptico (MPS)

O painel sinóptico é composto por circuitos que promovem a sinalização local visual e sonora do retificador, exibindo os alarmes detectados através do controle no MCA, como mostra a figura 19.

Figura 19. Painel sinóptico do retificador industrial DSR.



3.4.1.4. Módulo de sinalização remota (MSR)

Este módulo é composto por circuitos que enviam os sinais detectados pelo MCA ao painel sinóptico situado na sala de operação da usina (figura 20) através de relés de contato seco (livres de potencial elétrico).

Figura 20. Painel sinóptico de sinalização remota do sistema de emergência da UTLB.



3.4.1.5. Módulo de disparos e *snubbers* (MDS)

Este é o módulo responsável por adequar os pulsos de disparos gerados pelo MCA, explicados anteriormente. Além dos circuitos de disparos, o módulo conta com *snubbers* (circuito RC), que são responsáveis pela proteção dos tiristores contra as variações bruscas de tensão que ocorrem durante a comutação entre tiristores.

3.4.1.6. Módulo de fontes auxiliares (MFA)

O módulo é composto por três fontes de corrente contínua que fornecem alimentação de +24Vcc, +12Vcc e -12Vcc para os circuitos auxiliares do retificador. A alimentação da placa pode ser feita através de fonte CA (80 a 264Vca) e/ou fonte CC (90 a 300Vcc).

3.4.1.7. Módulo de diodos de queda (MDQ)

O retificador industrial tem a função de fornecer a alimentação simultaneamente para o consumidor e às baterias do sistema de emergência. Como as baterias são carregadas em tensões mais altas, dependendo do modo de operação, como explicado anteriormente, são necessários os diodos de queda de tensão posicionados antes da saída ao consumidor, com o objetivo de reduzir a tensão na carga, para que sua alimentação ocorra dentro do limite de tensão desejado.

Cada diodo é responsável pela queda de 0,7 a 1,0V e a unidade de diodos de queda é dividida em duas etapas, cada qual com 7 (sete) diodos conectados em série.

As etapas dos blocos de diodos de quedas são acionadas através de contadores, dependendo do nível de tensão na saída do retificador e o MDQ sinaliza localmente quais etapas estão operando.

3.4.1.8. Módulo de sobrecarga CA (MSA)

Este circuito tem como função verificar possíveis sobrecargas nas fases de alimentação C.A do retificador e sinalizar remotamente a

falha. Além disso, o módulo avalia a tensão no barramento do consumidor afim de verificar uma possível tensão abaixo do limite nesse barramento.

3.4.1.9. Módulo de sinalização dos termostatos (MTT)

Este módulo detecta sobretemperatura nos tiristores da coluna retificadora e indica através de LEDS qual termostato promoveu a detecção, facilitando a identificação do tiristor em falha. O sinal de sobretemperatura também é identificado localmente e remotamente nos painéis sinópticos.

Observação: É interessante notar que esse tópico teve como base de estudo o novo retificador de 125Vcc da empresa DSR Soluções LTDA, instalado na UTLB para iluminação de emergência, e as informações já descritas foram retiradas do Manual Técnico da empresa. Entretanto, o funcionamento de retificadores de outros níveis de tensão ou diferentes fabricantes seguem o mesmo princípio de funcionamento. As variações dependem dos fabricantes responsáveis, ou das necessidades da planta.

3.4.2. Inversor

O inversor é o responsável em realizar a conversão CC/CA dentro do cubículo de *no-break* do sistema de emergência. Na UTLB, é sua função fornecer tensão trifásica estabilizada de 220Vca às cargas listadas na seção 3.3.3. É importante que as cargas alternadas do sistema de emergência não tenham oscilações muito grandes, garantindo assim probabilidade pequena de falha e, portanto, essas cargas são alimentadas com tensão trifásica estabilizada através dos *no-breaks*.

3.4.2.1. Fonte do sistema

A alimentação do inversor é proveniente de duas fontes. A primeira é oriunda do sistema retificador do *no-break* e a segunda, dos bancos de baterias associados ao sistema de 220Vca.

O modo normal de operação alimenta o inversor através da fonte de corrente contínua fornecida pelo retificador e, se algum problema for detectado no conversor CA/CC, a energia passa a ser proveniente dos bancos de baterias.

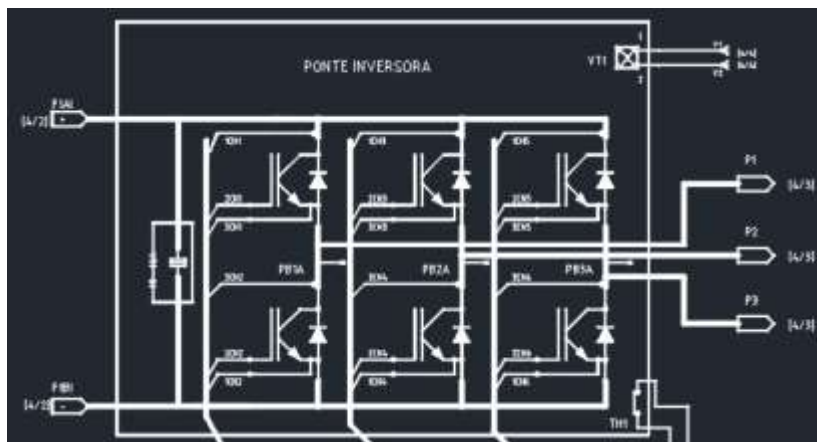
3.4.2.2. Ponte inversora

A ponte inversora é o “coração” do sistema inversor e realiza a conversão CC/CA através de chaveamento em alta frequência e modulação PWM.

3.4.2.2.1. Chaveamento em alta frequência

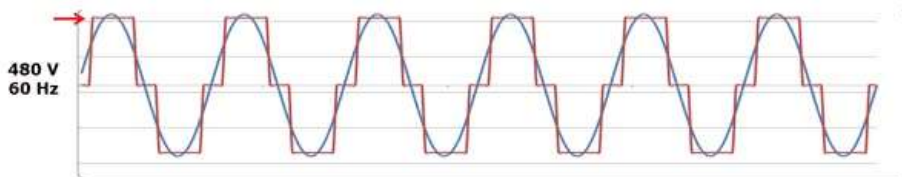
Quando os interruptores são ligados ao barramento positivo (chaves superiores na figura 21) é gerado um pulso quadrado positivo. Por outro lado, quando são fechados os interruptores do barramento negativo, a onda na fase torna-se negativa, e com isso, é gerada uma forma de onda similar à onda em vermelho da figura 22.

Figura 21. Ponte inversora do inversor NIFE.



Fonte: Caderno NIFE.

Figura 22. Forma de onda após chaveamento.



Fonte: <https://www.citisystems.com.br/inversor-de-frequencia/> Acesso em 05/07/2017.

3.4.2.3. Chave estática

Especificamente, a chave estática não faz parte do sistema inversor, mas será detalhada nesta seção devido à maioria dos fabricantes instalarem esse equipamento juntamente no cubículo inversor.

A função da chave estática é simplesmente selecionar qual a forma de onda mais adequada para a alimentação do consumidor. Como mencionado anteriormente, o modo normal é a chave estática ligada ao

inversor, mas se houver alguma falha, ela pode ser conectada automaticamente à rede convencional (não estabilizada).

3.4.3. No-Break

O *no-break*, conhecido também por UPS (*Uninterruptible Power System*) ou sistema ininterrupto de potência, é o módulo responsável por fornecer sem risco de parada a alimentação de 220Vca estabilizada às cargas críticas da usina. O equipamento é formado por três blocos: retificador, inversor e chave estática, além de possuir uma alternativa de utilizar alimentação em *By-Pass* em caso de manobra no cubículo.

3.4.3.1. Retificador

É o responsável pela conversão CA/CC e é alimentado pelo BEM. Seu funcionamento é o mesmo do explicado anteriormente na seção 3.4.1 deste documento.

3.4.3.2. Inversor

É o responsável pela conversão CC/CA e é alimentado pela saída do retificador. Seu funcionamento é o mesmo do explicado anteriormente na seção 3.4.2 deste documento.

3.4.3.3. Chave estática

Como explicado anteriormente, é responsável pela seleção da melhor alimentação de corrente alternada ao consumidor e seleciona entre a rede convencional e a saída do inversor.

3.4.3.4. Modo *By-Pass* manual

É uma alternativa em manter a alimentação do consumidor através da rede convencional quando é necessária alguma manobra de

manutenção ou operação no cubículo de *no-break*. Esse procedimento desvia a alimentação para que o cubículo possa ser operado em segurança.

A figura 23 mostra o painel sinóptico do *no-break* fabricado pela NIFE e que identifica os modos de operação selecionados no momento.

Figura 23. No-Break NIFE.



3.4.3. Gerador diesel

O gerador diesel é o responsável por fornecer tensão ao barramento de 480Vca da usina em caso de falha nas alimentações principais (gerador ou rede convencional), como explica o item 1 da seção 3.2.1 deste documento.

3.4.4. Bancos de baterias

Como explicado na seção 3.2.1, os bancos de baterias entram em operação quando ocorre falha nos retificadores ou quando não há alimentação no barramento BEM de 480Vca da usina. No segundo caso, a alimentação via bancos de baterias é a única possível para garantir o desligamento seguro da usina e por isso a importância de que não ocorram falhas nesses componentes.

As baterias possuem diferentes tipos de construção. Podem ser seladas, ventiladas estacionárias ou reguladas através de válvulas e o elemento ativo metálico pode ser chumbo, níquel, cádmio, lítio, dentre outros tipos de componentes.

Como este documento é direcionado ao estudo do projeto e comissionamento de bancos de baterias em sistemas de emergência em usinas termelétricas, o próximo capítulo trará em detalhes o funcionamento de um sistema de acumuladores, mostrando as principais diferenças entre os diferentes tipos de construção de baterias. O capítulo seguinte traz a discussão do comissionamento de bancos de baterias chumbo-ácidas ventiladas estacionárias. Por esta razão, o detalhamento de bancos de baterias será omitido nesse capítulo.

3.4.5. Equipamentos periféricos

São alguns equipamentos que são utilizados no sistema de emergência, mas sua função não é vital para o funcionamento da planta.

3.4.5.1. Exaustor

Deve ser instalado nas salas de baterias para expulsar o gás tóxico (partículas de chumbo) e altamente explosivo (oxi-hidrogênio) proveniente da reação química das baterias.

3.4.5.2. Condicionadores de ar

Também devem ser instalados nas salas de baterias para garantir temperatura em torno de 20°C, considerada a ideal para o funcionamento dos elementos.

4. CÉLULAS ACUMULADORAS (BATERIAS)

Este capítulo terá foco na classificação dos elementos acumuladores, objetivo principal desse estudo, quanto aos seus aspectos construtivos e operacionais. No início, o texto traz uma explicação do processo eletroquímico, princípio básico do acúmulo de energia em baterias e, após, apresenta os diferentes tipos de baterias existentes no mercado.

4.1. ELEMENTOS PRINCIPAIS QUE COMPÕEM UMA BATERIA

Uma bateria é constituída, basicamente, de placas positivas (cátodo), que constituem o polo positivo, e de placas negativas (ânodo), que constituem o polo negativo. Estas placas são dispostas alternadamente, e são isoladas entre si, normalmente por plástico ou material poroso. As placas positivas e negativas são mergulhadas em solução de eletrólito (alcalino ou ácido), dentro de um recipiente resistente à corrosão do eletrólito.

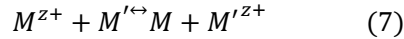
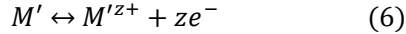
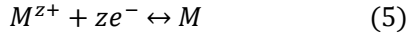
Todas as placas negativas são conectadas entre si por um ou mais pontos, que são conectados aos bornes negativos no lado externo da célula. O mesmo ocorre com as placas positivas.

4.2. PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO DE BATERIAS

Os acumuladores são dispositivos que, durante a descarga, transformam a energia química contida no seu material ativo diretamente em energia elétrica, por meio de uma reação eletroquímica de óxi-redução. Durante a carga, o processo inverso ocorre e a energia elétrica é transformada em energia química, que fica armazenada até a próxima descarga. Esse esquema caracteriza a condição de bateria recarregável.

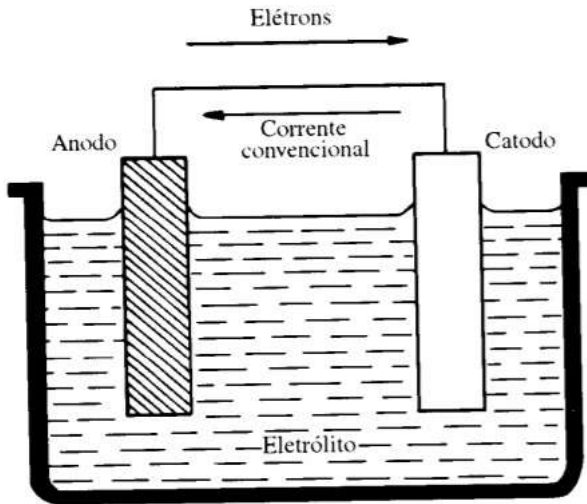
Em uma célula eletroquímica, o processo de óxi-redução ocorre em duas etapas (semi-reações). Na primeira, ocorre o processo de semi-reação de redução (5), no qual o cátodo é o eletrodo onde o metal recebe elétrons. Na segunda etapa ocorre o processo de semi-reação de oxidação (6), onde o ânodo é o eletrodo onde o metal perde elétrons. O processo

global de óxi-redução é descrito pela reação (7) (PALMER, 2008; GENTIL, 2007).



O circuito metálico, conectado entre o ânodo e o cátodo da bateria, provoca o surgimento de escoamento de elétrons no sentido ânodo e cátodo, conforme a figura 24.

Figura 24. Esquema de pilha eletroquímica.

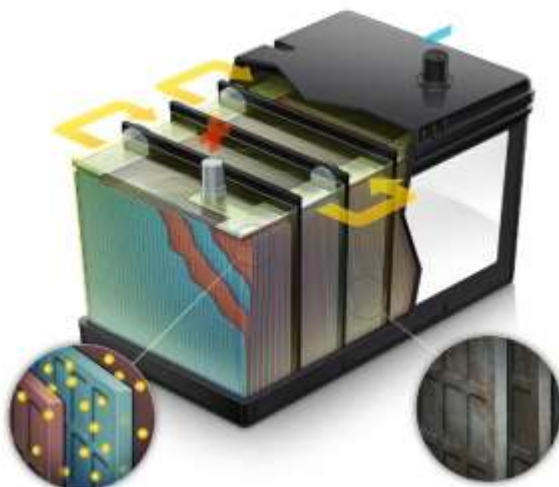


Fonte: GENTIL, Vicente. Corrosão, Rio de Janeiro, 2007.

Na construção de uma bateria, as placas positivas são conectadas em um único ponto, assim como as negativas, e o escoamento de corrente ocorre entre os terminais positivo e negativo do elemento. Em um banco de baterias, cada elemento é conectado ao seu adjacente através de polaridades invertidas, ou seja, o polo positivo de um elemento conecta-se ao polo negativo do elemento ao lado (KARASINSKI E DIAS, 2003), o que é ilustrado na figura 25.

Conforme explicado no início desse capítulo, as placas acumuladoras, assim como o eletrólito, podem ser fabricados de diversas formas, dependendo do tipo de aplicação da bateria. Essas classificações serão dadas a seguir nesse capítulo.

Figura 25. Detalhe no processo de transporte de elétrons entre as placas de um banco de baterias de 12V formado por 6 elementos.



Fonte: <https://jamesprovost.com/portfolio/car-battery-cutaway> Acesso em 06/07/2017.

4.3. CAPACIDADE DE UMA BATERIA

A capacidade de uma bateria é a medida de quanta energia se pode tirar de um elemento em um dado período de tempo e é medida em Àmpere-hora (Ah). Por exemplo, uma bateria com capacidade de 1600Ah pode alimentar uma carga de 160A durante dez (10) horas. Neste caso, o conceito de medida de uma bateria pode ser expandido para Àmpere-hora C_{10} , ou seja, o elemento do exemplo anterior (1600Ah C_{10}) pode descarregar 1600Ah em corrente de dez (10) horas nesse período de tempo.

Quando uma célula está sendo carregada ou descarregada na sua corrente nominal, pode-se dizer que está operando à corrente 1C.

Analogamente, se for carregada ou descarregada com metade da sua corrente nominal, diz-se que a operação ocorre em 0,5C (STA ELETRONICA, 2017; HOPPECKE BATTERIEN GMBH & CO, 2013).

O quadro 5 mostra a capacidade de descarga de corrente de diferentes baterias da empresa *Hoppecke Batterien* em diferentes períodos de descarga.

Observação: Para entender as baterias listadas no quadro 5, toma-se como exemplo a primeira listada (3 OSP.HC 105; 1,6V/Z):

- OSP: Indica o tipo de construção das placas acumuladoras da bateria, nesse caso, em forma de “árvore de natal” e que será mais bem detalhada em tópicos posteriores;
- HC: Do inglês *High Current*, indica uma bateria com capacidade de descarga rápida de corrente;
- 105: Capacidade nominal de descarga da bateria em Ah C10;
- 1,6V/Z: Tensão nominal por célula.

Quadro 5. Corrente de descarga em Ámpères dos diferentes tipos de baterias da empresa Hoppecke Batterien.

Battery / Série / Désignation / La batterie	5'	10'	15'	20'	30'	30'	1h	2h	3h	4h	5h	6h	7h	8h	9h	10h
3 OSP.HC 105; 1,6V/Z	304,0	317,0	172,0	144,0	109,0	77,0	71,0	42,1	30,5	24,3	20,3	17,8	15,8	14,1	13,0	12,5
4 OSP.HC 140; 1,6V/Z	405,0	290,0	230,0	182,0	145,0	103,0	94,7	56,1	40,8	32,4	27,0	23,4	20,8	18,8	17,0	16,7
5 OSP.HC 175; 1,6V/Z	505,0	362,0	287,0	240,0	182,0	129,0	118,0	70,1	50,8	40,0	33,8	29,3	26,0	23,0	21,0	20,8
6 OSP.HC 210; 1,6V/Z	609,0	435,0	344,0	288,0	218,0	155,0	142,0	84,1	61,0	48,7	40,0	35,1	31,2	28,2	25,0	25,0
7 OSP.HC 245; 1,6V/Z	709,0	507,0	402,0	330,0	254,0	181,0	168,0	98,2	71,1	56,8	47,3	41,0	36,4	32,9	30,3	29,2
8 OSP.HC 280; 1,6V/Z	810,0	580,0	459,0	383,0	290,0	206,0	189,0	112,0	81,3	64,8	54,1	46,8	41,8	37,8	34,8	33,4
9 OSP.HC 315; 1,6V/Z	911,0	652,0	516,0	431,0	327,0	232,0	204,0	121,0	87,8	70,1	58,4	50,0	44,8	40,8	37,4	36,1
10 OSP.HC 350; 1,6V/Z	1012,0	725,0	574,0	478,0	363,0	258,0	227,0	134,0	97,4	77,9	64,8	56,7	49,8	45,1	41,5	40,1
11 OSP.HC 385; 1,6V/Z	1114,0	797,0	621,0	527,0	398,0	284,0	249,0	148,0	107,0	85,7	71,4	61,8	54,8	49,8	45,7	44,1
12 OSP.HC 420; 1,6V/Z	1215,0	884,0	693,0	584,0	439,0	315,0	278,0	162,0	117,0	95,7	79,0	67,8	60,7	54,8	50,0	48,8
13 OSP.HC 455; 1,6V/Z	1316,0	955,0	744,0	625,0	465,0	337,0	307,0	176,0	126,0	103,8	86,0	74,4	66,3	60,3	56,0	54,8
14 OSP.HC 490; 1,6V/Z	1417,0	1026,0	793,0	664,0	494,0	359,0	326,0	190,0	135,0	112,8	94,0	81,8	73,8	67,8	63,0	61,8
15 OSP.HC 525; 1,6V/Z	1518,0	1097,0	842,0	703,0	523,0	381,0	349,0	204,0	144,0	121,8	103,0	90,8	82,8	76,8	72,0	70,8
16 OSP.HC 560; 1,6V/Z	1619,0	1168,0	891,0	742,0	552,0	403,0	370,0	218,0	153,0	130,8	112,0	99,8	91,8	85,8	81,0	79,8
17 OSP.HC 595; 1,6V/Z	1720,0	1239,0	940,0	783,0	581,0	425,0	390,0	232,0	162,0	139,8	120,0	106,8	98,8	92,8	88,0	86,8
18 OSP.HC 630; 1,6V/Z	1821,0	1310,0	989,0	824,0	610,0	447,0	409,0	246,0	171,0	148,8	130,0	116,8	108,8	102,8	98,0	96,8
19 OSP.HC 665; 1,6V/Z	1922,0	1381,0	1038,0	865,0	630,0	469,0	438,0	260,0	180,0	157,8	139,0	125,8	117,8	111,8	107,0	105,8

Fonte: HOPPECKE BATTERIEN GMBH & CO. *Installation, comissioning and operating instructions*. Brilon: Hoppecke, 2013.

4.4. CLASSIFICAÇÃO QUANTO AO MATERIAL DAS PLACAS ACUMULADORAS

O material utilizado para a fabricação das placas acumuladoras pode diferenciar dependendo do tipo de aplicação empregada. Os principais tipos de materiais utilizados em baterias industriais são os que utilizam ligas de chumbo ou ligas de níquel. Alguns casos também utilizam baterias de lítio, como será explicado ao longo deste capítulo (KARASINSKI E DIAS, 2003). Outros tipos de baterias que não são utilizadas com frequência em aplicações industriais não serão discutidos neste trabalho.

4.4.1. Baterias de Ligas de Chumbo

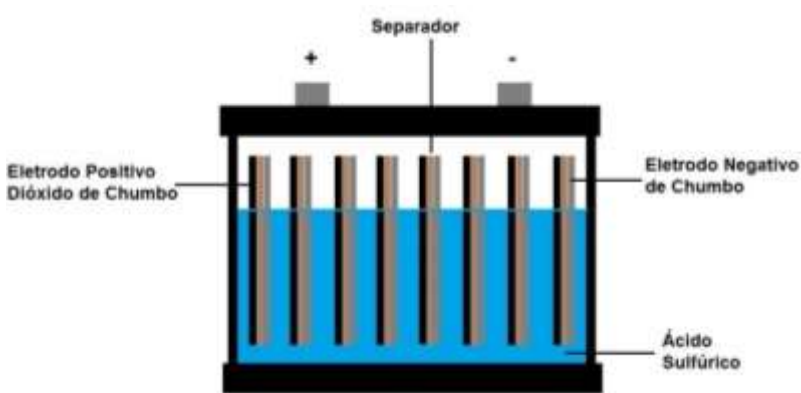
O chumbo possui uma propriedade notável em relação à sua resistência à corrosão, devido a uma resistente camada passivadora de óxidos, sulfetos e outros compostos, desde que a velocidade do fluido corrosivo seja baixa (menor que 1m/s). Esta resistência à corrosão permite que o chumbo seja um dos poucos materiais metálicos que pode ser usado em contato com ácidos. Para o caso de operação com ácido sulfúrico, pode ser utilizada a concentração de até 100% de ácido e, com a temperatura em torno de 150°C, a corrosão máxima é de cerca de 0,1mm/ano (TELLES, 2002).

Apesar disso, os resíduos da corrosão de chumbo são altamente tóxicos, impedindo seu uso em algumas aplicações ou um tratamento ideal de reciclagem. As baterias de chumbo-seladas reguladas a válvula – VRLA (*valve-regulated lead acid*) ou as baterias de chumbo-seladas – SLA (*sealed lead acid*) possibilitam seu uso em ambientes fechados, pois impedem a liberação de gases nocivos ao ambiente.

A primeira bateria recarregável comercializada foi inventada pelo físico francês Gaston Planté, em 1859, e sua tecnologia é utilizada até os dias de hoje. A bateria é constituída de um eletrodo positivo de Dióxido de Chumbo, um eletrodo negativo de Chumbo puro, separados por separadores isolantes permeáveis ao eletrólito, resistentes ao ácido e de baixa resistência elétrica, mergulhados numa solução de ácido

sulfúrico, conforme mostram as figuras 26 e 27. Uma célula é capaz de produzir 2V. Quando várias células são associadas em série, pode-se alcançar tensões maiores de operação. Como explicado anteriormente, a recarga da bateria ocorre com a aplicação de corrente elétrica, que inverte as equações de óxi-redução, recuperando o ácido (TELLES, 2002; STA ELETRÔNICA, 2017).

Figura 26. Esquemático de uma bateria chumbo-ácida.



Fonte: <http://www.sta-eletronica.com.br/artigos/a-historia-das-baterias>. Acesso em 29/10/2017.

Figura 27. Detalhe nas placas positivas, negativas e dos separadores de uma célula chumbo-ácida da empresa Hoppecke Batterien.

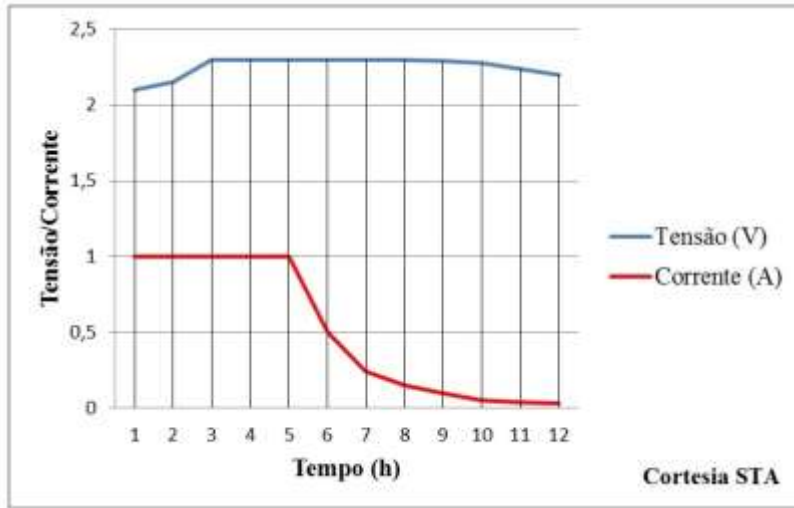


Fonte: Arquivo pessoal.

4.4.1.1. Carregamento de baterias chumbo-ácidas

O tempo de carga completa de uma bateria chumbo-ácida selada gira em torno de 12 a 16 horas (STA ELETRÔNICA, 2017). Uma das formas de carregamento é pelo método de carga multiestágios, com corrente alta e constante e variação de tensão aplicada (tensão de carga, flutuação ou carga profunda). Durante as primeiras cinco (5) horas de carga, é recomendada carga com alta corrente e tensão, o que corresponde ao carregamento de cerca de 70% da capacidade total da bateria. Os outros 30% são carregados no restante do tempo em corrente e tensão mais baixas, até atingir o valor ideal de célula, em torno de 2,3 a 2,45V (HOPPECKE BATTERIEN, 2013; STA ELETRÔNICA, 2017). A figura 28 mostra a corrente aplicada na carga e a tensão de um elemento ao longo do tempo.

Figura 28. Curva Tensão/Corrente x Tempo na carga de uma bateria chumbo-ácida selada.



Fonte: STA Eletrônica. Disponível em: <http://www.sta-eletronica.com.br/artigos/como-carregar-uma-bateria-selada-de-chumbo-acido>. Acesso em 05/11/2017.

Como indicação de fabricantes de baterias seladas chumbo-ácidas, após a completa carga da célula, é necessário que seja aplicada e mantida uma tensão de flutuação constante para compensar a autodescarga do elemento, garantindo sempre tensão entre 2,20 e 2,30V, dependendo das características da célula e das recomendações dos fabricantes.

4.4.1.2. Descarga de baterias chumbo-ácidas

As baterias chumbo-ácidas não tem um bom desempenho em descargas repetidas e com alta capacidade de descarga, como mostra o quadro 6.

Quadro 6. Número de ciclos de carga/descarga a 25°C de acordo com a profundidade de descarga.

	CICLOS DE CARGA/DESCARGA
DESCARGA COMPLETA (100%)	150 a 200
DESCARGA PARCIAL (50%)	400 a 500
DESCARGA RASA (30%)	>1000

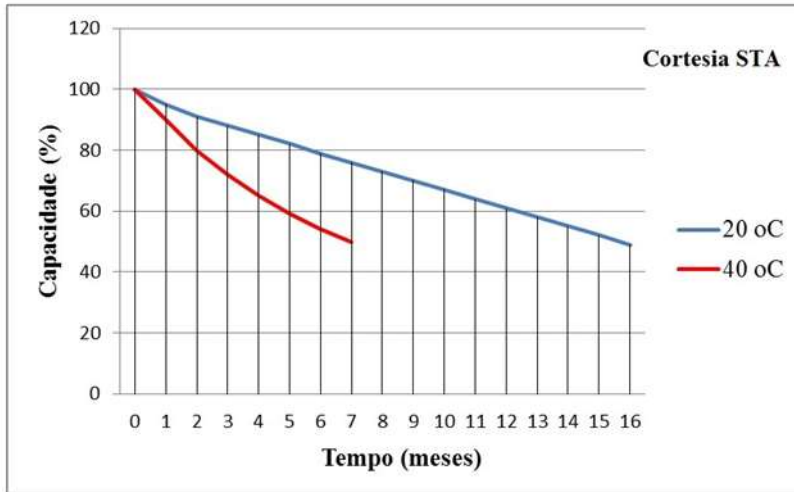
Fonte: Adaptado de STA ELETRÔNICA. Disponível em: <http://www.sta-eletronica.com.br/artigos/como-descarregar-uma-bateria-selada-de-chumbo-acido>. Acesso em 05/11/2017.

Além do cuidado com a frequência de descargas e a profundidade de descarga, deve-se tomar cuidado com a tensão final de cada elemento, que não deve ser menor que 1,75V para a maioria das baterias desse tipo. Tensão abaixo desse limite provoca um fenômeno chamado sulfatação, que inutiliza a bateria.

4.4.1.3. Armazenamento de baterias chumbo-ácidas

O ideal para as baterias chumbo-ácidas é que sejam preenchidas com eletrólito e carregadas o quanto antes. Quando na impossibilidade, o ideal é o armazenamento das células sem eletrólito (quando novas) e em baixas temperaturas, por no máximo dois (2) anos. Quando as baterias já não são novas e é necessário tempo de armazenamento, estas devem ser estocadas com carga completa e em baixas temperaturas, também por no máximo dois (2) anos (HOPPECKE BATTERIEN, STA ELETRÔNICA). A figura 29 mostra a perda de capacidade de baterias chumbo-ácidas quando armazenadas por um longo período de tempo, à temperatura de 20°C e de 40°C.

Figura 29. Perda de capacidade de baterias seladas chumbo-ácidas ao longo do tempo de armazenamento.

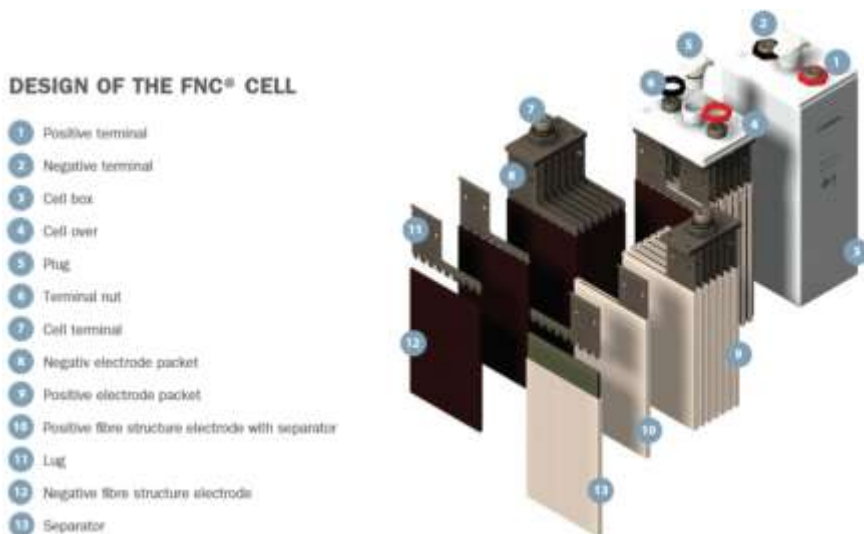


Fonte: STA ELETRÔNICA. Disponível em: <http://www.sta-eletronica.com.br/artigos/como-descarregar-uma-bateria-selada-de-chumbo-acido>. Acesso em 05/11/2017.

4.4.2. Baterias Níquel-Cádmio

As baterias de níquel-cádmio são comercializadas desde meados da década de 50 e possuem estrutura bastante similar das baterias chumbo-ácidas. Os eletrodos deste tipo de bateria são formados por placas de fibra níquel-cádmio e grafite, que garante melhor desempenho contra choques mecânicos. A figura 30 detalha a estrutura interna de uma bateria níquel-cádmio da fabricante *HOPPECKE Batterien*.

Figura 30. Detalhe da estrutura interna de uma bateria níquel-cádmio.



Fonte: *HOPPECKE Batterien*. Disponível em: <http://www.hoppecke.com>. Acesso em 08/11/2017.

O eletrólito utilizado nas baterias de níquel-cádmio é alcalino, normalmente constituído de hidróxido de potássio líquido. Como a estrutura das placas não sofre corrosão com a solução, a vida útil desse tipo de bateria é a maior, se comparado com baterias de outra construção, como por exemplo as chumbo-ácidas, além de ter bom desempenho em temperaturas extremas. Seu uso é mais adequado em cargas e descargas rápidas e pulsantes. Seu desempenho não é tão eficiente em cargas e descargas lentas e contínuas.

Apesar do custo baixo (as mais baratas dentre as baterias recarregáveis), as baterias NiCd necessitam de descarga frequente para evitar a formação de grandes cristais nas placas acumuladoras, o chamado Efeito Memória, que diminui a capacidade da bateria ao longo do tempo (*SBS Battery, Hoppecke Batterien, STA Eletrônica*).

4.4.2.1. Carga de baterias Níquel-Cádmio

É recomendado que a primeira carga seja lenta, o que ajuda a manter as células com nível de carga igual e garante melhor desempenho dos elementos. A figura 31 traz a curva de tensão por tempo (em horas) da primeira carga.

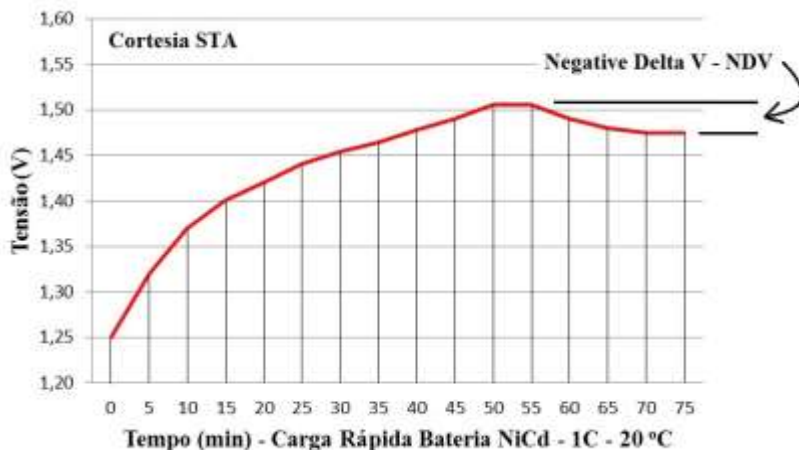
Figura 31. Carga lenta de baterias NiCd.



Fonte: STA Eletrônica. Disponível em: <http://www.sta-eletronica.com.br/artigos/como-carregar-uma-bateria-nicd>. Acesso em 08/11/2017.

Após o processo de primeira carga, todas as recargas são rápidas, conforme mencionado anteriormente. Uma característica interessante dessa bateria é o fato de que, quando ela atinge a carga completa, ocorre uma pequena variação negativa de tensão (em torno de 10 a 30mV), denominada NDV (*Negative Delta Voltage*), o que facilita a análise da carga completa, conforme mostra a figura 32.

Figura 32. Carga rápida de baterias NiCd.

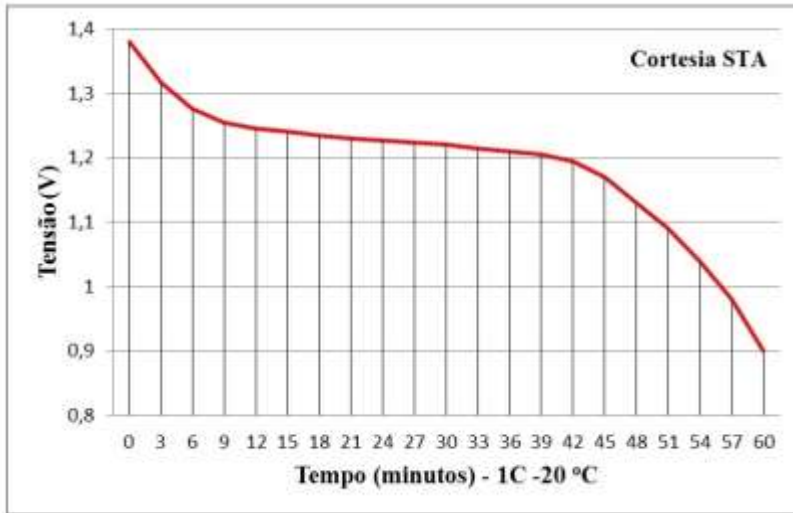


Fonte: STA Eletrônica. Disponível em: <http://www.sta-eletronica.com.br/artigos/como-carregar-uma-bateria-nicd>. Acesso em 08/11/2017.

4.4.2.2. Descarga de baterias Níquel-cádmio

Como explicado anteriormente, as baterias níquel-cádmio são as únicas que operam bem com descargas completas e rápidas. Para a descarga de 1C, a tensão final da bateria não deve ser inferior a aproximadamente 0,9V, como ilustra a figura 33. A operação abaixo do limite da tensão de interrupção provoca a inversão de polaridade do eletrodo de uma célula mais fraca, o que gera um grande risco de curto-circuito. Se isto ocorrer, a célula perderá sua capacidade de recarga e deverá ser substituída.

Figura 33. Descarga rápida de bateria Níquel-Cádmio.



Fonte: STA Eletrônica. Disponível em: <http://www.sta-eletronica.com.br/artigos/como-carregar-uma-bateria-nicd>. Acesso em 08/11/2017.

4.4.3. Baterias Níquel-Metal Híbrido

As baterias NiMh surgiram para substituir as baterias NiCd, principalmente em razão da alta toxicidade do cádmio. Suas características construtivas são muito parecidas, com exceção do metal utilizado na liga de níquel.

Quando comparada com as baterias de cádmio, as de metal híbrido apresentam densidade de energia muito maior, porém o tempo de vida útil é mais baixo.

O desempenho dos elementos é altamente prejudicado quando submetidos a altas temperaturas. Descargas completas devem ser realizadas constantemente, para evitar a formação de cristais. Além disso, apresentam autodescarga cerca de 50% maior que as baterias NiCd.

Apesar das limitações das baterias NiMh, principalmente em razão da sua menor vida útil, estas estão substituindo cada vez mais as

baterias de cádmio, por apresentarem maior densidade de energia e menores danos ao meio-ambiente (STA Eletrônica, 2017).

4.4.4. Baterias Níquel-Ferro

As primeiras baterias Níquel-Ferro foram desenvolvidas por Thomas Edison, em 1901, como alternativa às baterias ácidas e Níquel-Cádmio. Seu interesse era desenvolver uma célula menos tóxica e com vida útil mais longa. No início, uma das principais aplicações foi seu uso em carros elétricos para a primeira guerra mundial, trabalho realizado em conjunto com Henry Ford (Disponível em: <https://www.nickel-iron-battery.com/>). A figura 34 mostra, do lado esquerdo, Thomas Edison com uma bateria Níquel-Ferro, e à direita, um carro construído na época da primeira guerra, ainda funcionando, devido à enorme vida útil desse tipo de bateria.

Figura 34. Thomas Edison e sua bateria Níquel-Ferro à esquerda. À direita, um carro ainda em funcionamento que utiliza baterias Níquel-Ferro.

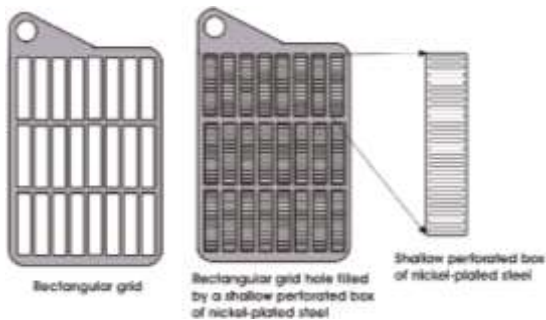


Fonte: Disponível em: <https://www.nickel-iron-battery.com/>. Acesso em 09/11/2017.

A construção das placas positivas e negativas é praticamente a mesma. A capacidade de corrente da célula depende da quantidade e dotamanho das placas acumuladoras, como também acontece com os outros tipos de baterias. Como mostra a figura 35, ambas as placas são construídas com uma grade retangular de ferro níquelado e os espaços nas

grades são completados com pequenas caixas perfuradas. Nas placas positivas, essas caixas são compostas por uma liga de óxido de níquel e carbono, enquanto que nas placas negativas, são preenchidas com caixas perfuradas compostas de óxido de ferro e uma pequena camada de carbono.

Figura 35. Placas acumuladoras de baterias NiFe.



Fonte: Disponível em: <https://www.electrical4u.com>. Acesso em 09/11/2017.

Por fim, o eletrólito utilizado no preenchimento da célula é alcalino e normalmente se utiliza solução de hidróxido de potássio. Em razão da pequena corrosão do metal da bateria, a vida útil destas é muito longa, podendo chegar em casos extremos acima de cem (100) anos. Entretanto, a baixa reatividade entre os componentes limita as baterias NiFe a cargas e descargas lentas, não sendo utilizadas em processos que exigam carga e descarga rápidas.

Este tipo de bateria pode permanecer longos períodos de tempo descarregadas sem sofrer danos, além de ser altamente resistente a choques mecânicos, devido à estrutura da liga das placas acumuladoras.

Alguns pontos negativos das células NiFe alvos de estudos até os dias de hoje são, principalmente, a baixa eficiência da bateria (tipicamente abaixo dos 65%), alta taxa de auto-descarga, liberação acentuada de gás hidrogênio, quando comparado às baterias NiCd, além da limitação de faixas de tensão possíveis (12, 24 e 48V, apenas). (IRONEDISON; WOODBANK COMMUNICATIONS LTD).

4.4.5. Baterias Níquel-Zinco

As baterias de níquel-zinco ainda não são altamente comercializadas. Sua fabricação é recente e alguns estudos ainda estão sendo realizados. As placas negativas são constituídas de zinco, enquanto que as placas positivas são produzidas com óxido de níquel, mergulhadas numa solução alcalina de hidróxido de potássio.

Segundo Dan Sisson, vice-presidente de pesquisa e inovação na produção de baterias Níquel-Zinco da empresa ZincFive, as baterias NiZn tem um grande potencial de substituir as baterias chumbo-ácidas, principalmente no setor automotivo, onde as baterias ácidas dominam o mercado. Ainda segundo Sisson, as baterias à base de ligas de chumbo são prejudiciais ao meio-ambiente (ZAFSYS; PowerStream).

As pesquisas vêm mostrando, ao longo do tempo, que as baterias NiZn tem o potencial de fornecer cerca de três (3) vezes a potência e duas (2) vezes a capacidade em relação a baterias chumbo-ácidas, além de se projetar um tempo de vida útil de pelo menos duas (2) vezes em relação às baterias ácidas, segundo Craig Wilkins, fundador e vice-presidente de desenvolvimento de negócios na ZAF Energy Systems Inc.

Apesar das projeções animadoras, este tipo de bateria ainda custa mais que as chumbo-ácidas. Além disso, a solubilidade do zinco na solução alcalina e a formação de detritos de zinco através dos eletrodos durante a descarga, que reduz a vida útil das células, vem sendo alvo principal de estudos para que as baterias NiZn possam ocupar um nicho significativo no mercado de baterias (Woodbank Communications Ltd).

4.4.6 Baterias de Lítio

O lítio é o mais leve dos metais utilizados em baterias e, em conjunto ao seu maior potencial eletroquímico, quando comparado com outros metais, é possível construir baterias com alta densidade de energia e capacidade, em volumes muito pequenos (GENTIL, 2007).

Existem vários estudos em razão do potencial do lítio para células acumuladoras e alguns tipos de baterias são utilizados, como pode ser visto no quadro 7.

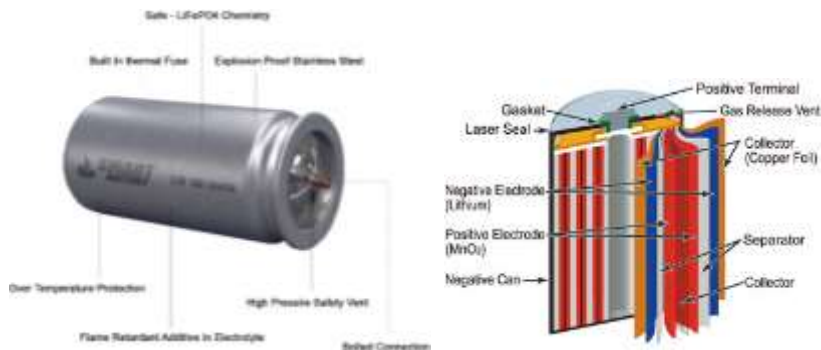
Quadro 7. Os principais tipos de baterias de lítio.

Tipo de Bateria	Características
Lítio-Sulfeto de Ferro	Muito utilizadas para substituir as baterias pequenas de Zinco-Carbono, pois apresentam maior densidade de energia, sendo utilizadas para aplicações com alta corrente.
Lítio-Cloreto de Tionila	Grande densidade de energia e ciclo de vida entre 15 e 20 anos.
Lítio-Iodo	Possui grande segurança e ciclo de vida longo, porém a alta resistência interna impede sua utilização com descargas em correntes altas.
Lítio-Ar	Bateria ainda em estudo, teoricamente teria alta densidade de energia, porém apresenta muita variabilidade na performance devido à mudanças de temperatura.
Lítio-Dióxido de Manganês	É a mais comum bateria não recarregável de lítio.

Adaptado de: Woodbank Communications Ltd. Disponível em:<
<http://www.mpoweruk.com/lithiumP.htm>>. Acesso em 09/11/2017.

A principal limitação das baterias de níquel é justamente o que faz dela uma bateria tão boa em certas aplicações, o altíssimo potencial eletroquímico. Devido a este potencial, o metal reage facilmente com o meio, e torna-se muito perigoso, necessitando circuitos de proteção muito mais bem projetados que o de baterias discutidas anteriormente. Isso faz com que esse tipo de bateria também seja o mais caro em relação às anteriores. A figura 36 ilustra o cuidado na construção de baterias de lítio, mostrando, à esquerda a construção externa da célula e, à direita, a construção interna.

Figura 36. Construção de baterias de Lítio.



Fonte: Lithiumion-Batteries. Disponível em: < www.lithiumion-batteries.com/ >. Acesso em 09/11/2017.

Devido ao seu tamanho reduzido e boa capacidade e densidade de energia, as baterias de lítio tem sua principal aplicação em eletrônicos, e equipamentos médicos (principalmente as de lítio-iodo). Seu uso em sistemas de emergência de grandes usinas geradoras não é comum, em razão do alto custo e do risco causado pelo alto potencial eletroquímico do lítio (Woodbank Communications). A figura 37 mostra um banco de baterias de 48V de lítio, com capacidade de 25Ah.

Figura 37. Banco de baterias 48V de lítio.



Fonte: Lithiumion-Batteries. Disponível em: < www.lithiumion-batteries.com/ >. Acesso em 09/11/2017.

4.5. DESCARTE DE BATERIAS

O descarte ou reciclagem (quando possível) das baterias é algo de extrema importância na hora de realizar um projeto com baterias de grande capacidade. Os elementos tóxicos presentes nos elementos, além das soluções de eletrólitos, que podem causar danos ao meio-ambiente, devem ser devidamente estudados para que o descarte não seja prejudicial às pessoas e à natureza.

Grande parte das baterias necessita de um descarte adequado e as leis que regem esse sistema variam de acordo com o país. Em alguns casos, as baterias de lítio podem ser descartadas em lixo comum. Em outros casos, devem ser eliminadas separadamente, como é o caso do Brasil.

4.5.1. Descarte de baterias chumbo-ácidas

Estudos que dizem respeito ao papel contaminante do chumbo ao meio-ambiente vêm sendo realizados desde meados da década de 50 e, até hoje, representa a maior preocupação ambiental, junto com o cádmio, em relação ao processo de fabricação de baterias (CLARK et al., 2010; STA Eletrônica, 2017).

Os efeitos do chumbo são os mesmos quando entram no corpo através de inalação ou via oral. O contato com chumbo pode causar, dentre outros efeitos, a perda de capacidade do sistema nervoso central, aumento na pressão sanguínea e anemia. Em casos onde a exposição é mais longa, pode causar disfunções nos órgãos reprodutores, aborto espontâneo, danos severos ao cérebro e, em casos muito extremos, morte. Os efeitos do chumbo são mais acentuados em crianças (ATSDR, 2007).

O que foi previamente comentado evidencia os cuidados que devem ser tomados no manuseio de baterias chumbo-ácidas. Este risco fez com que o processo de reciclagem de baterias chumbo-ácidas seja realizado desde 1912. O processo de reciclagem do chumbo é simples e altamente rentável. Cerca de 70% do chumbo utilizado nas baterias pode ser reutilizado diversas vezes e 50% da oferta mundial de chumbo são oriundos de baterias recicláveis (STA Eletrônica, 2017).

4.5.2. Descarte de baterias de ligas de Níquel

O níquel é um metal que causa danos à saúde humana somente se ocorre contato muito longo ou se ingere uma quantidade muito grande desse metal. Em pequenas concentrações, tem capacidade de provocar alergias quando em contato com a pele. Cerca de 10 a 20% das pessoas tem reações alérgicas quando em contato com bijuterias que contenham níquel na sua composição.

O maior risco de danos relacionados ao níquel acontece em pessoas com contato direto e constante com níquel e ocorre, principalmente, em refinarias e indústrias de processamento de níquel. O contato contínuo pode causar bronquite crônica e complicações nos pulmões, inclusive câncer de pulmão (ATSDR, 2005).

A reciclagem do níquel, assim como a do chumbo, é simples e rentável e pode ser realizada até o fim da vida útil do metal, aproveitando praticamente 100% do material. Para o caso do níquel proveniente de baterias, a maior parte do material reciclado é utilizado para produção de aço inoxidável (NickelInstitute, 2017; ICZ, 2017).

Como as baterias de Níquel são fabricadas a partir de ligas de níquel e outros metais, serão analisados a seguir os níveis de toxicidade e processos de reciclagem dos metais utilizados nas ligas de níquel.

4.5.2.1. Cádmio

As baterias NiCd são uma grande preocupação em razão do alto grau de toxicidade do cádmio, tanto que, em 2016, foi proibido na Europa o comércio de baterias e acumuladores que contenham mais de 0,002% de cádmio por peso (ABRI, 2014).

Como resultado da exposição ao cádmio, os principais danos causados à saúde incluem danos severos aos pulmões e morte quando inalados por muito tempo, problemas intestinais e câncer nos rins, pulmões, fígado ou estômago. Além disso, seu acúmulo no organismo pode gerar problemas de hipertensão, catarata, atrofia muscular,

porosidade dos ossos, problemas neuropsicológicos, dentre outros (FERNANDES et al., 2014; ATSDR, 2012).

Apesar dos diversos efeitos à saúde humana, o processo de reciclagem do cádmio consegue recuperar mais de 99% do metal para outros processos (BARANDAS et al., 2007).

4.5.2.2. Ferro

Não foram encontradas referências que demonstrem um dano muito severo à saúde humana em contato ou ingestão de ferro.

Um dos pontos positivos de baterias NiFe é justamente o processo de reciclagem ser muito facilitado, pois, como mencionado anteriormente, níquel e ferro podem ser reutilizados para produção de aço inoxidável.

4.5.2.3. Zinco

Zinco é um metal que, quando consumido em pequenas quantidades, é benéfico para a saúde humana. Quando inaladas grandes quantidades de zinco, pode-se sofrer de uma momentânea “febre de fumaça de metal”, que é revertida quando a exposição ao metal cessa.

O limite recomendado de ingestão de zinco é de 11mg/dia para homens e 8mg/dia para mulheres. Quando ingeridos cerca de dez (10) vezes mais do que o recomendado, podem ocorrer efeitos intestinais leves e passageiros. Se a ingestão for acima de mil (1000) vezes o recomendado pode ocasionar anemia, problemas nos rins e pâncreas (ATSDR, 2005).

Este metal possui alta capacidade de reciclagem e suas características não são perdidas ao longo do tempo. Inclusive, o zinco é considerado um metal que traz benefícios ao meio-ambiente, pois reduz o uso de madeira na construção de casas, purifica a água em processos modernos de tratamento de água e melhora a qualidade do ar, por ser utilizado em veículos elétricos (UFRGS, 2017; ICZ, 2017).

4.5.2.4. Lítio

O grande benefício das baterias de lítio é justamente o seu aspecto ambiental. O metal não possui grandes sinais de intoxicação graves aos seres humanos, mesmo quando ingeridos em grande quantidade (SUSSC, 2015).

O processo de reciclagem ainda é alvo de estudos, porém o processo de recuperação atual é simples e garante a recuperação máxima do metal utilizado (AFONSO et al., 2004).

4.6. CONCLUSÕES

Existem diversos tipos de acumuladores secundários no mercado atualmente. Alguns dos principais foram listados ao longo deste capítulo. A escolha do melhor equipamento a ser utilizado dependerá muito da aplicação dada às baterias.

No contexto deste trabalho, na utilização em sistemas de emergência de usinas termelétricas, as baterias chumbo-ácidas são ainda as mais adequadas para utilização. Seu custo baixo, manutenção simples, alta capacidade de corrente e possibilidade de operar a diferentes tensões, com descargas lentas ou rápidas, são uns dos pontos principais na escolha deste tipo de bateria. Como a utilização das baterias neste documento é voltada a um sistema de emergência, a segurança de operação e de resistência a temperaturas extremas também torna os acumuladores chumbo-ácidos uma ótima opção. O quadro 8 traz um comparativo entre as baterias estudadas ao longo deste capítulo, em relação a alguns aspectos considerados importantes na escolha de acumuladores para um sistema de emergência. O quadro 9 confirma a melhor escolha das baterias chumbo-ácidas para este tipo de aplicação.

O próximo capítulo será voltado ao estudo de comissionamento, operação e manutenção de baterias chumbo-ácidas em uma usina geradora termelétrica. Ao longo do capítulo cinco (5) serão discutidas novamente algumas questões levantadas neste capítulo e a forma de operação de baterias em um ambiente industrial será mais bem esclarecida.

Quadro 8. Comparativo de baterias segundo aspectos operacionais.

Tipo	Chumbo-Ácida OPzS Estacionária	NiCd Ventilada	NiMh	NiFe	Ion Lítio
Capacidade (Ah)	1000	100	90	1000	200
Tensão (V)	2	1,2	12	1,2	24
Densidade de energia (Wh/kg)	Ruim	Média	Alta	Média	Muito alta
Temperatura de Operação (°C)	(-20) a 40	(-20) a 45	(-20) a 60	(-10) a 45	0 a 45
Efeito da temperatura no ciclo de vida	Baixo	Muito alto	Alto	Muito alto	Médio
Risco de sobreaquecimento	Muito baixo	Baixo	Médio	Baixo	Alto
Segurança de Operação	Alta	Ruim	Boa		Ruim
Autodescarga (%/mês)	Aproximadamente zero (0)	5	10 a 20	20 a 40	<2
Peso (kg) com eletrólito	77	13,3	23	73	63
Manutenção	6 a 12 meses	30 a 60 dias	30 a 60 dias	6 a 12 meses	Não há
Vida útil (anos)	18 a 25	>25	2 a 5	>25	15 a 20
Preço (US\$) por cada 100Ah	38	75	100	50	2400

Fonte: Baseado em pesquisa de mercado com as principais fabricantes de baterias.

Quadro 9. Comparação de baterias segundo seus tipos de aplicação.

Usuários	Tecnologia	Uso típico	Tipo de bateria	
Doméstico e profissional	Uso geral - alcalina, manganês AIMn e carbono-zinco ZnC	Relógios, dispositivos e equipamentos de áudio; brinquedos e câmeras	Pequenas < 1kg	Primárias
	Lítio Li	Equipamento fotográfico; controles remotos e eletrônicos		
	Borrões - zinco-ar, óxido de prata, móxido de manganês e lítio)	Relógios, aparelhos auditivos, calculadoras		
	Níquel-cádmio NiCd	Telefones celulares e sem fio, ferramentas e iluminação de emergência		
	Níquel-hidreto metálico NiMH	Telefones celulares e sem fio		
	Lítio-Ion Li-ion	Telefones celulares, computadores portáteis (<i>notebooks</i> e <i>palmtops</i>)		
	Chumbo ácido	Aplicações de lazer		
Industriais	Chumbo ácido	Automotivos/motocicletas; partida, iluminação e ignição	Grandes > 1 Kg	Secundárias
	Chumbo ácido de espera (estacionária)	Sistemas de alarme, de reserva emergencial, ex. aplicações em trilhos (rail), telecomunicação centrais elétricas, plataformas, petroquímica		
	Chumbo ácido para tração	Fontes de força móvel, ex. elevadores, flutuadores		
	Níquel-Cádmio NiCd de espera	Fontes móveis e de espera, ex. satélites e trilhos		
	Níquel-Cádmio NiCd para força matriz	Veículos a eletricidade		
Níquel-hidreto metálico NiMH	Veículos com motores híbridos	Partidas	Industriais	

Fonte: FURTADO, João S. **Baterias esgotadas: legislação & gestão**. São Paulo, 2003.

5. COMISSONAMENTO, OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO DE BANCOS DE BATERIAS

Como visto em capítulos anteriores o sistema de emergência deve ser projetado para que não ocorram falhas no seu funcionamento, evitando danos aos equipamentos ou acidentes catastróficos. Desta forma, esse capítulo dará ênfase aos bancos de baterias, que são a última fonte de alimentação do sistema de corrente contínua e, por este motivo, de fundamental importância os corretos procedimentos de comissionamento, operação e manutenção desse sistema. O presente trabalho teve como base o comissionamento dos novos bancos de baterias chumbo-ácidas da UTLB, assim como seus procedimentos de operação e manutenção, que podem ser estendidos a outras unidades geradoras ou indústrias de alta potência instalada e que necessitem de bancos de baterias.

Como discutido no final do capítulo 4, as baterias chumbo-ácidas foram escolhidas no projeto do novo sistema de emergência principalmente em razão da confiabilidade desse tipo de tecnologia, além do alto custo-benefício relacionado a esses tipos de acumuladores. Outros aspectos também foram comentados na seção 4.6 e podem ser analisadas no quadro 8.

5.1. COMISSONAMENTO DE BANCOS DE BATERIAS

O comissionamento de bancos de baterias deve seguir alguns padrões para que, ao final dos procedimentos, a planta esteja protegida no caso de alguma falha e as baterias possam entrar em operação. As manobras realizadas na UTLB seguiram a seguinte ordem e os detalhes de cada etapa serão esclarecidos ao longo deste capítulo.

- Instalação da infra-estrutura e passagem de cabos;
- Instalação das baterias e preenchimento com eletrólito ao longo dos racks de sustentação de acordo como previsto no projeto;
- Processo de primeira carga dos elementos acumuladores;
- Testes de capacidade;
- Processo de recarga dos elementos acumuladores;

- Testes dos níveis de tensão após recarga;
- Processo de integração dos novos bancos de bateria ao sistema de emergência da planta;
- Atualização dos esquemáticos do sistema de emergência.
-

5.1.1. Instalação dos bancos de baterias

A etapa de instalação dos bancos de baterias compreende os processos de infra-estrutura, passagem de cabos, alocação das baterias e preenchimento com eletrólito.

Como baterias chumbo-ácidas necessitam uma sala própria para sua instalação, devido aos gases tóxicos que podem escapar das células quando essas operam a temperaturas altas, o projeto de instalação dos *racks* de sustentação das baterias deve prever um espaço adequado para circulação de operadores ao longo da sala, além de proporcionar espaço para circulação de ar entre as células, evitando superaquecimento. A figura 38 traz o posicionamento dos *racks* ao longo da sala de baterias e a instalação das células nos mesmos.

Figura 38. Posicionamento dos racks e instalação das células acumuladoras.



Após instalados os acumuladores, estes podem ser preenchidos com o devido eletrólito, neste caso, ácido sulfúrico. É interessante notar que o primeiro contato entre o eletrólito e as placas acumuladoras já é responsável por fortes reações químicas e o início do processo de carregamento da célula, elevando a temperatura interna e promovendo a liberação de gases oxigênio e hidrogênio, que

possuem altas capacidades inflamáveis. Como foi detalhado no capítulo 4, as células chumbo-ácidas não devem permanecer por mais de dois (2) dias preenchidas com eletrólito e desligadas da fonte de alimentação e, em razão disso, é recomendado que o processo de primeira carga seja feito logo após o preenchimento dos acumuladores com eletrólito, desde que a temperatura esteja baixa o suficiente.

5.1.2. Processo de primeira carga dos bancos de baterias

Este é o processo mais crítico do comissionamento dos bancos de baterias e exige supervisão contínua dos operadores. Nesta etapa, deve ser continuamente verificados os valores de tensão, densidade e temperatura de algumas células piloto do banco.

O primeiro contato das placas acumuladoras com o eletrólito é responsável pelo surgimento de tensão e também de temperatura na célula devido às reações químicas que ocorrem entre ácido e chumbo. Associado a isso, a primeira carga deve ser feita em alta corrente, provocando aumento ainda maior de temperatura no interior da célula e o surgimento de hidrogênio e oxigênio na atmosfera ao redor dos bancos, o que gera risco de explosão nas áreas próximas.

As primeiras seis horas são críticas em relação ao aumento da temperatura e os valores devem ser verificados a cada pequeno período de tempo pelos responsáveis, como pode ser visto no quadro 10.

Quadro 10. Acompanhamento de tensão, densidade e temperatura de um banco de baterias de +24Vcc.

Horário	Célula piloto 1			Célula piloto 2			Célula piloto 3			Célula piloto 4		
	d (kg/L)	T (°C)	U (V)	d (kg/L)	T (°C)	U (V)	d (kg/L)	T (°C)	U (V)	d (kg/L)	T (°C)	U (V)
07/06/2017 08:00	1,22	32	2,34	1,22	32	2,35	1,22	32	2,34	1,22	32	2,36
07/06/2017 11:00	1,23	36	2,34	1,23	36	2,33	1,23	36	2,37	1,23	36	2,39
07/06/2017 13:00	1,23	36	2,37	1,23	36	2,34	1,23	36	2,38	1,23	36	2,4
07/06/2017 16:00	1,23	37	2,38	1,23	37	2,37	1,23	37	2,38	1,23	36	2,39
07/06/2017 18:00	1,23	37	2,38	1,23	37	2,38	1,23	37	2,38	1,23	37	2,39
08/06/2017 08:00	1,24	33	2,4	1,24	32	2,4	1,24	33	2,4	1,24	33	2,4

Fonte: Arquivo pessoal de Tobias Etzkorn (Técnico Hoppecke).

O processo de primeira carga não possui tempo definido para seu término e depende muito de fatores externos como umidade, temperatura, incidência de radiação solar, tempo de estoque das células, entre outros. Por esta razão, a empresa Hoppecke Batterien, responsável pelas baterias instaladas na UTLB, utiliza o plano de ação descrito a seguir:

- 1) Nas primeiras 3-5 horas realizar a carga em alta corrente, cerca de 15A para cada 100A.h C₁₀ especificados das baterias, até atingir cerca de 2,4V/elemento.

Observação: Nesta etapa deve ser verificada a temperatura do eletrólito para que não ultrapasse 55°C por elemento, com risco de danificar as células.

- 2) Após os elementos atingirem valores próximos ou iguais a 2,4V/elemento, realizar a carga com cerca de 5A para cada 100A.h C₁₀.

Além de verificar a temperatura ao longo do processo, devem também ser verificadas a tensão e densidade do eletrólito dos elementos. Este acompanhamento pode ser feito utilizando algumas células como referência (células piloto). A carga do banco de baterias termina quando é atingido o valor de 2,4V e densidade de 1,24kg/L nas células piloto. Após a primeira carga dos elementos ser completada, é recomendado completar com eletrólito até o limite máximo identificado na bateria antes de realizar o processo de primeira descarga (Teste de capacidade).

Figura 39. Densímetro utilizado para medir densidade e temperatura das células.



Fonte: Arquivo pessoal.

5.1.3. Teste de capacidade dos bancos de baterias

O processo de descarga dos bancos de baterias é realizado através de bancos de resistores, conforme ilustra a figura 40, que consomem a corrente de carga do consumidor correspondente ao sistema. A fabricante fornece o tempo e corrente de descarga e a tensão mínima de cada elemento ao final do período para analisar a qualidade dos elementos e do banco de baterias como um todo. O quadro 11 mostra os parâmetros para as baterias instaladas na UTLB. Conforme destacado no quadro 11, foi utilizado o tempo de 7 horas para a descarga dos bancos de baterias devido à capacidade de corrente dos bancos de resistores disponíveis.

A partir do momento que o banco de resistores é ligado e as baterias passam a fornecer energia, deve ser verificada a cada hora a condição de todos os elementos do banco, temperatura, densidade e, principalmente, a tensão de cada célula. Ao final das sete horas do teste de capacidade, três casos podem ocorrer e confirmar a qualidade ou não das baterias. A

fabricante fornece a indicação da análise da capacidade do teste como mostra o quadro 12.

Quadro 11. Tempo e corrente de descarga para tensão mínima final de 1,83V/elemento.

	7 OPzS 490; 1,83V/elemento	12 OPzS 1500; 1,83V/elemento	14 OSP.HC 1190; 1,83V/element
1h	227A	532A	575A
2h	161A	418A	392A
3h	127A	345A	302A
4h	105A	293A	247A
5h	89,8A	254A	210A
6h	78,7A	224A	183A
7h	70A	201A	163A
8h	63,2A	182A	147A
9h	57,6A	166A	134A
10h	52,9A	152A	123A

Fonte: Caderno Hoppecke Batterien.

Exemplo: Para um dos bancos de baterias de +24Vcc, após o teste de capacidade de 7 horas, com tensão média de 1,83V/elemento, a tensão mínima permitida por elemento é de 1,60V e a tensão final do banco completo deve ser de no mínimo 21,96V.

Quadro 12. Os diferentes casos para análise do teste de capacidade.

Número da célula	Caso A	Caso B	Caso C
1	1,85	1,86	1,8
2	1,84	1,85	1,82
3	1,83	1,87	1,82
4	1,84	1,83	1,82
5	1,85	1,84	1,83
6	1,83	1,85	1,83
7	1,83	1,84	1,83
8	1,73	1,87	1,84
9	1,86	1,59	1,8
10	1,85	1,87	1,82
11	1,83	1,83	1,83
12	1,84	1,87	1,81
Banco Total	21,98	21,97	21,85

- **Caso A:** O banco apresenta uma “célula fraca”, mas a tensão do banco total está acima do mínimo permitido, logo o teste de capacidade está OK.
- **Caso B:** A tensão total do banco de baterias está acima do mínimo permitido, porém há uma célula defeituosa com tensão abaixo do permitido, teste FALHO.
- **Caso C:** Todas as células estão com a tensão acima do mínimo permitido, porém a tensão total do banco está abaixo do mínimo permitido, logo o teste é FALHO.

Figura 40. Banco de resistências e teste de capacidade para banco de +24Vcc.



Fonte: Arquivo pessoal.

O quadro 13 traz os dados coletados durante o teste de capacidade de um dos bancos de +24Vcc da UTLB. Se comparados os resultados deste quadro com as indicações do quadro 12, verifica-se que o banco passou no teste de capacidade.

Quadro 13. Dados do teste de capacidade em descarga de um banco de +24Vcc.

Engie Brasil Energia				ULTB +24Vcc Nº1				
Capacity-Test from 08.06.2017				24 V - Battery				
Measurement before discharge				Measurement at the discharge		Measurement after the discharge		
Test Cell	U [V]	Temp °C	Density kg / l	57% 240 min U	100% 420 min U	Temp °C	Density kg / l	
1	2,16	32,0	1,24	1,93	1,85	29,0	1,14	
2	2,14	32,0	1,24	1,93	1,85	29,0	1,14	
3	2,15	32,0	1,24	1,93	1,85	29,0	1,14	
4	2,15	32,0	1,24	1,93	1,85	29,0	1,14	
5	2,16	32,0	1,24	1,94	1,86	29,0	1,14	
6	2,16	32,0	1,24	1,93	1,86	29,0	1,14	
7	2,16	32,0	1,24	1,93	1,86	29,0	1,14	
8	2,15	32,0	1,24	1,94	1,86	29,0	1,14	
9	2,15	32,0	1,24	1,94	1,86	29,0	1,14	
10	2,15	32,0	1,24	1,94	1,86	29,0	1,14	
11	2,15	32,0	1,24	1,93	1,85	29,0	1,14	
12	2,16	32,0	1,24	1,93	1,85	29,0	1,14	
Volt	23,60			23,20		22,20		
Average		32,0	1,24			29,0	1,14	

Fonte: Caderno Hoppecke Batterien.

5.1.4. Processo de recarga dos bancos de baterias

O processo de recarga dos bancos de baterias pode ocorrer em dois cenários diferentes detalhados a seguir.

O primeiro acontece quando o banco de baterias não obtém um resultado satisfatório no teste de capacidade conforme explicado na seção 5.1.3. Neste caso, devem ser realizados novamente todos os procedimentos da primeira carga das células, conforme detalhado na seção 5.1.2. A única diferença em relação ao processo de primeira carga é que, após as células piloto atingirem os valores de tensão e densidade do eletrólito ideais, recomenda-se carregar o banco por mais 24 horas em modo de flutuação, para garantir que não seja necessário um terceiro teste de capacidade.

O segundo cenário acontece após o respectivo banco de baterias obter o resultado satisfatório no teste de capacidade. Nisso é verificado que as células estão operando normalmente e podem ser integradas ao sistema de emergência da planta. A recarga, nesse caso, será feita em

modo de carga nas primeiras 10 horas e após é em modo de flutuação, até que seja atingido o valor de tensão ideal nas células piloto.

Observação: Normalmente o processo de recarga dos bancos que passaram no teste de capacidade é mais rápido que o processo de primeira carga, visto que o primeiro contato das placas com o eletrólito aumenta muito a temperatura na célula, o que prejudica o processo de carga e, portanto, esse processo de recarga não necessita de acompanhamento muito próximo dos operadores envolvidos.

5.1.5. Processo de integração dos novos bancos de bateria ao sistema de emergência da planta

Após o teste de capacidade ter sido julgado adequado e as células estejam recarregadas e com nível de tensão ideais, os bancos de bateria estão prontos para ser reintegrados ao sistema da planta.

Como em alguns casos o comissionamento dos bancos de baterias pode ocorrer enquanto a planta encontra-se em operação, as manobras para a reintegração podem ser dificultadas, exigindo isolamento adequado dos equipamentos, principalmente dos retificadores e inversores, que normalmente possuem alimentação alternada de alta tensão.

É importante ainda salientar, que apesar das dificuldades de reintegração, as baterias não devem ser desligadas dos respectivos retificadores (ou inversores) por mais de dois dias e, por isso, o projeto inicial deve ser muito bem realizado para que sempre haja retificadores (ou inversores) disponíveis na reintegração ao sistema.

5.1.6. Atualização dos esquemáticos do sistema de emergência

Em muitos casos a atualização dos esquemáticos não é muito bem vista pelos operadores, já que alguns consideram um trabalho de certa forma complicado e que pode não ter muita importância. É muito interessante notar que a atualização dos esquemáticos evita acidentes

futuros ou manobras equivocadas em sistemas que envolvam os bancos de baterias.

5.2. OPERAÇÃO

A operação dos bancos de baterias de certa forma é indesejada, ou seja, são equipamentos que se “paga para não usar” e as baterias podem nunca entrar em operação em todo seu período de vida útil. Mais uma vez é importante dar a ênfase da importância em se ter as baterias como retaguarda em caso de falhas no sistema de alimentação da usina.

Nos casos em que a fonte de alimentação será dada através das baterias, é importante verificar a capacidade de corrente e o tempo previsto de operação para a corrente em questão. Para isso, é importante verificar as placas de identificação conforme detalhado na seção 3.4.4. Quando a usina está sob alimentação dos elementos acumuladores deve haver uma sinalização remota ou local para que os operadores tenham em mente a urgência das manobras de desligamento da planta. Ao mesmo tempo que essas manobras sejam realizadas, deve também haver um operador nas salas de baterias verificando continuamente a corrente fornecida pelo conjunto de elementos acumuladores e a tensão do banco, garantindo que as baterias não sejam danificadas e que possam ser recarregadas normalmente após a falha na alimentação convencional ser identificada e corrigida.

5.3. MANUTENÇÃO

5.3.1. Manutenção preventiva

Os aspectos de manutenção de bancos de baterias são simples, mas devem ser verificados para garantir a confiabilidade e longevidade das células. As fabricantes de baterias de potência recomendam que seja realizada manutenção preventiva no mínimo anualmente, e se for possível, a cada seis meses.

5.3.1.1. Trabalho a ser realizado semestralmente

Se for possível realizar a manutenção preventiva a cada semestre, devem ser medidos e registrados os seguintes aspectos das células:

- Tensão do banco de baterias completo em modo de flutuação;
- Tensão individual das células piloto em modo de flutuação;
- Densidade individual do eletrólito das células piloto;
- Temperatura do eletrólito das células piloto;
- Nível de eletrólito de todas as células;
- Temperatura da sala de baterias.

É fundamental que todos os valores medidos estejam dentro das características nominais das células e, caso haja alguma discrepância nesses parâmetros, devem ser tomadas as devidas ações detalhadas na seção 4.3.4 para que a capacidade de fornecimento de corrente e o tempo de vida útil das células não sejam prejudicados.

5.3.1.2. Trabalho a ser realizado anualmente

Caso não haja a possibilidade de realizar manutenção preventiva das células a cada seis meses, os procedimentos devem ser realizados por no máximo um período anual e alguns outros parâmetros devem ser analisados.

- Tensão do banco de baterias completo em modo de flutuação;
- Tensão de todas as células em modo de flutuação;
- Densidade do eletrólito de todas as células;
- Temperatura do eletrólito de todas as células;
- Nível de eletrólito de todas as células;
- Temperatura da sala de baterias.
- Inspeção visual de todos os conectores parafusados;
- Checar com torquímetro todos os conectores parafusados para garantir que estejam firmemente seguros;
- Inspeção visual das células e dos *racks* de sustentação;

- Teste de funcionamento dos exaustores e condicionadores de ar das salas de baterias.

5.3.1.3. Limpeza das baterias

Todas as baterias devem ser limpas anualmente para que suas disponibilidades sejam mantidas e cumpridos os regulamentos de prevenção de acidentes.

Para tal procedimento é obrigatório o uso dos EPIs específicos para operação em alta classe de tensão e óculos de proteção química. Também é recomendado que não seja realizada a limpeza enquanto a célula esteja em modo de carga, pois a temperatura das células e dos recombinadores de gás (se houver) pode ser muito elevada. É proibido que seja realizada a limpeza das baterias quando elas estão em processo de descarga.

As células não devem ser abertas no processo de limpeza. Se houver elementos recombinadores não é necessário retirá-los para o procedimento. Com isso, a limpeza deve ser feita apenas na parte externa das baterias, sempre com água desmineralizada ou lenço úmido com água desmineralizada. Após a limpeza, as baterias devem ser secas com lenços de limpeza antiestático.

5.3.2. Manutenção corretiva

A manutenção corretiva deve acontecer quando for verificada alguma falha nas células, seja em períodos de manutenção preventiva, seja descobertos em qualquer período. Alguns procedimentos padrão devem ser adotados para cada tipo de falha e caso o problema não seja solucionado, a fabricante das baterias deve ser acionada para uma análise mais criteriosa.

5.3.2.1. Tensão do banco de baterias ou de uma célula individual fora dos limites de operação

Quando uma ou mais células estiverem operando à tensão de flutuação abaixo ou acima dos limites de operação indicados pela fabricante (normalmente em torno de $\pm 0,02V$), deve ser realizado processo de equalização de carga. Durante o processo, as baterias devem ser carregadas com tensão de 2,4V/cel por pelo menos 72 horas, verificando sempre a temperatura do eletrólito. O final da equalização ocorre quando a tensão das células piloto se mantém constantes por um período de duas horas.

5.3.2.2. Operação prolongada abaixo do limite mínimo de tensão de operação

Pode ocorrer a necessidade de uma descarga com tempo maior que o previsto no projeto de capacidade dos elementos em razão de alguma falha grave da planta. Neste caso, as baterias não devem parar de fornecer a energia para garantir a segurança dos equipamentos da usina, porém é muito provável que ao final da descarga algumas células estejam operando abaixo do limite mínimo permitido e a capacidade de recarga do elemento é perdido. Ocorrendo esta situação, estas células devem ser substituídas e todo o processo de comissionamento do banco de baterias deve ser repetido.

5.3.2.3. Excesso de gás proveniente das reações químicas nas baterias

Como mencionado anteriormente, o gás proveniente das reações químicas que ocorrem dentro dos elementos acumuladores é altamente explosivo (oxi-hidrogênio), como também é prejudicial à saúde dos operadores por conter partículas de chumbo. O excesso de gás nas salas de baterias é facilmente identificado pelo cheiro característico de chumbo no ar ou através da análise de temperatura dos elementos (quanto maior a temperatura da célula, mais gás é liberado). Para isso, deve ser corrigido

o volume de ar ventilado pelos exaustores das salas, conforme (8) (HOPPECKE BATTERIEN, 2016).

$$Q = v. q. s. n. I_{gas} \cdot \frac{C}{100Ah} \quad (8)$$

Onde:

- Q é o volume do fluxo de ar necessário gerado pelo exaustor;
- v é um fator de diluição = 24;
- q é a quantidade de hidrogênio gerada: $0,42 \times 10^{-3}$ por A.h;
- s é o fator de segurança = 5;
- n é o número de células contida na sala;
- I_{gas} é a corrente por cada 100Ah;
- C é a capacidade nominal da bateria.

5.3.2.4. Teste de capacidade abaixo de 95%

Se o teste de capacidade realizado durante o processo de manutenção preventiva for considerado insatisfatório (abaixo de 95% de capacidade), deve ser realizado novamente o processo de equalização de carga, como explicado na seção 4.3.2.1.

5.3.2.5. Dejetos de chumbo no fundo do elemento muito próximo às placas acumuladoras

Ao longo da vida útil dos elementos, partículas de chumbo são depositadas no fundo do recipiente em razão das reações químicas que ocorrem ao longo do tempo na bateria, como mostrado na figura 41.

Figura 41. Detalhe no depósito de chumbo no fundo de uma bateria antiga.



Se as partículas depositadas estiverem muito próximas das placas, há um risco de curto-circuito entre as placas negativas e positivas, o que pode inutilizar a célula. Para evitar o curto-circuito, o banco de baterias deve ser desligado e retirado todo o eletrólito. Após isso, deve ser realizada uma limpeza de todo o elemento com água desmineralizada. Depois de completamente lavado e seco, o elemento deve ser preenchido com eletrólito e o comissionamento de todo o banco deve ser realizado novamente, conforme detalhado anteriormente.

5.3.2.6. *Trincas nas baterias*

Se forem verificadas trincas nos elementos, a substituição das células danificadas deve ocorrer o mais rapidamente possível, evitando acidente dos operadores com o ácido que é derramado e também que possa ocorrer algum dano ao rack de sustentação das baterias, como ilustrado na figura 42.

Figura 42. Danos no rack de sustentação devido ao vazamento de eletrólito em uma célula com trinca.



6. CONCLUSÕES

Ao final do trabalho, é interessante novamente frisar a importância dos bancos de baterias em plantas com elementos que operam a altas temperaturas e pressões, afim de garantir uma proteção a mais contra acidentes.

De forma mais específica, os bancos de baterias chumbo-ácidas verificam ser a melhor opção para utilização em usinas termelétricas, principalmente em função do seu baixo custo, quando comparados com os outros tipos de acumuladores detalhados no capítulo 4, e operação segura, com ampla possibilidade de células com diferentes capacidades e velocidade de descarga. Seus pontos negativos, como tamanho e peso elevados, não são fatores impeditivos ao seu uso, em razão do espaço disponível em uma planta deste porte. Como discutido no capítulo 5, todo o projeto de comissionamento foi satisfatório e teve duração de vinte (vinte) dias, contrariando a estimativa inicial de dez (dez) dias para o comissionamento de todos os bancos (treze no total). O principal motivo deste atraso foi o longo tempo de armazenamento dos bancos de baterias o que, conforme discutido no capítulo 4, prejudica o processo de primeira carga em células chumbo-ácidas. Por este motivo, alguns bancos tiveram seus primeiros testes de capacidade falhos, atrasando o processo de comissionamento dos outros elementos. Além disso, todo o comissionamento foi realizado enquanto a usina encontrava-se em operação, tornando necessários mais procedimentos de segurança, além de não ser possível desligar todos os bancos de baterias de uma só vez, havendo a necessidade de que houvesse carga em, no máximo, dois (2) bancos por vez. Apesar dos atrasos e dificuldades encontradas nas manobras envolvendo a operação da usina, todos os bancos foram devidamente entregues ao sistema de emergência e continuam operando adequadamente. É interessante notar que até o dia em que este texto foi escrito, apenas um banco de 220Vca estabilizado foi utilizado para realizar manutenção corretiva em um inversor defeituoso.

Como discutido no capítulo 1, tanto os objetivos gerais como os específicos foram alcançados e, ao longo do texto, vários conceitos estudados na teoria em Engenharia Elétrica foram utilizados para

desenvolver um grande projeto na área de geração de energia elétrica, aliando conhecimentos teóricos aos conhecimentos técnicos. Além disso, todo o processo de comissionamento, operação e manutenção, assim como o processo de escolha dos bancos de baterias, puderam ser detalhados, constituindo um roteiro para projetos futuros nessa área.

No capítulo 4 foram detalhados os diversos tipos de baterias existentes no mercado, dando-se maior ênfase aos principais tipos utilizados atualmente. Como sugestão para trabalhos futuros, imagina-se que este trabalho possa ter sua continuação voltada àqueles elementos acumuladores que ainda não são amplamente utilizados na indústria, de certa maneira encontrando soluções às desvantagens detalhadas naquele capítulo, em relação aos vários produtos hoje disponíveis.

Outro projeto interessante voltado a essa área é o desenvolvimento de um sistema de controle que viabilize a medida de tensão da bateria e que, automaticamente, atue para que os retificadores e inversores mudem seu modo de operação, de modo que as baterias sempre estejam dentro da sua tensão ideal de operação. Ao longo do projeto, verificou-se ser este o parâmetro que mais sofre alterações, provocando maiores cuidados da operação ao longo da vida útil dos elementos.

7. BIBLIOGRAFIA

- [1] SOUZA, Zulcy de / FUCHS, Rubens D. / SANTOS, Afonso H. M.. **Centrais Hidro e Termelétricas, 1983.**
- [2] ELETROBRÁS / PROCEL. **Eficiência Energética no Uso de Vapor, 2005.**
- [3] TOLMASQUIN, Maurício T. **Energia Termelétrica. Gás Natural, Biomassa, Carvão e Nuclear, 2016.**
- [4] ANEEL. **Atlas de Energia Elétrica do Brasil, 2002.**
- [5] THE BABCOCK & WILCOX COMPANY. *Steam, It's generation and use.* 42ªed. North Carolina: Charlotte: 2015.
- [6] KRISHNASAMY, Loganathan; KHAN, Faisal; HADDARA, Mahmoud. *Development of a risk-based maintenance (RBM) and strategy for a power-generating plant.* New Foundland and Labrador: St John's, 2005.
- [7] OSWALD, Kurt. *Reaching Peak O&M and performance in power generation.* Illinois: Chicago, 2011.
- [8] DSR SOLUÇÕES LTDA. *Manual técnico do retificador industrial DSR.* São Paulo, 2016.
- [9] HOPPECKE BATTERIEN GMBH & CO. *Installation, comissioning and operating instructions.* Brilon: Hoppecke, 2013.
- [10] HOPPECKE BATTERIEN GMBH & CO. *Assembly and operating manual for AquaGen.* Brilon: Hoppecke, 2013.
- [11] BARBI, Ivo. **Eletrônica de Potência.** Florianópolis, 2006.
- [12] PADUA, Julio Cesar Ururahy. **Operação de Retificadores e Baterias e Manutenção Preventiva de Retificadores e Baterias.** Monografia apresentada como requisito final para conclusão do curso "Lato Sensu" de docência no ensino fundamental e médio. Rio de Janeiro, 2001.

[13] KARASINSKI, Carlos Alberto / DIAS, Edson da Silva. **Guia para Aplicação e Manutenção de Banco de Baterias**. Trabalho apresentado no CEFET-PR como parte dos requisitos da disciplina de Projeto Final 2. Curitiba, 2003.

[14] JUNIOR, Juceli Locks. **Etapas do processo de modernização do sistema de controle de uma usina termelétrica a carvão**. Monografia apresentada para obtenção do grau de bacharel em Engenharia Elétrica. Criciúma.

[15] PALMER, Rodrigo Venzke. **Estudo da Sulfatação durante a Formação de Placas Positivas Empastadas de Baterias Chumbo-Ácido**. Dissertação apresentada como requisito parcial à obtenção do grau de Mestre pelo Programa de Pós-Graduação e Engenharia da Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2008.

[16] GENTIL, Vicente. **Corrosão**. 3 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2007.

[17] STA ELETRÔNICA. **Artigos**. Disponível em: < <http://www.sta-eletronica.com.br/artigos/> >. Acesso em 29/10/2017.

[18] TELLES, Pedro C. Silva. **Materias para Equipamentos de Processo**. 3 ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2003.

[19] SBS BATTERY. Disponível em: < <http://www.sbsbattery.com> >. Acesso em 05/11/2017.

[20] NICKEL-IRON-BATTERY ASSOCIATION. **Green Chemistry Stationary Battery**. Disponível em: < <https://www.nickel-iron-battery.com/> >. Acesso em 09/11/2017.

[21] IRONEDISON. **Iron Edison Nickel Iron Battery**. Disponível em: < <https://ironedison.com/nickel-iron-ni-fe-battery> >. Acesso em 09/11/2017.

[22] WOODBANK COMMUNICATIONS LTD. **Battery and Energy Technologies**. Disponível em: < [https:// http://www.mpoweruk.com/](https://http://www.mpoweruk.com/) >. Acesso em 09/11/2017.

[23] WILKINS, Craig. **Batteries to Supercharge Demand for Zinc**. Disponível em: < <http://zafsys.com/uncategorized/batteries-to-supercharge-demand-for-zinc/>>. Acesso em: 09/11/2017.

[24] POWERSTREAM. **Nickel Zinc Battery Chemistry FAQ**. Disponível em: < <https://www.powerstream.com/BatteryFAQ-nickel-zinc.html>>. Acesso em: 09/11/2017.

[25] CLARK, Luciana G.O; DE OLIVEIRA, Hudson Gontijo; CLARK, Otávio A.C. **A exposição ocupacional ao chumbo e os riscos à saúde do trabalhador**. Campinas, 2010.

[26] ATSDR. **Public Health Statement**. 2005.

[27] NICKEL INSTITUTE. **How Nickel is Recycled**. Disponível em: < <https://www.nickelinstitute.org/en/Sustainability/LifeCycleManagement/RecyclingofNickel/HowNickelIsRecycled.aspx>>. Acesso em 11/11/2017.

[28] ICZ. **O níquel e a Sustentabilidade**. Disponível em: < <http://www.icz.org.br/niquel-sustentabilidade.php>>. Acesso em 11/11/2017.

[29] U.S DEPARTMENT OF HEALTH AND HUMAN SERVICES. **Toxicological Profile for Lead**. Atlanta, 2007.

[30] BARANDAS, Ana Paula M.G. et al. **Recuperação de cádmio de baterias níquel-cádmio via extração seletiva com tributilfosfato**. Rio de Janeiro, 2007.

[31] AFONSO, Júlio Carlos; BUSNARDO, Roberto Giovanini; BUSNARDO, Natália Giovanini. **Bateiras de Lítio: Novo desafio para a Reciclagem**. Rio de Janeiro, 2004.

[32] MAGALHÃES, Daniel Filipe Pereira. **Projeto de um Sistema de Gestão de Baterias (BMS) Aplicadas na Alimentação de Veículos Elétricos (EVs)**. Relatório Final Realizado no Âmbito do Mestrado Integrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores. Porto, 2012.

[33] FURTADO, João S. **Baterias Esgotadas: Legislações & Gestão**. Relatório Produzido para o Ministério do Meio Ambiente do Brasil, Secretaria de Qualidade Ambiental nos Assentamentos Urbanos, Projeto de Redução de Riscos Ambientais. São Paulo, 2003.

[34] SUS-SC. **Intoxicação por Lítio**. Florianópolis, 2015.

[35] ENGIE BRASIL ENERGIA. **Gestão do Conhecimento**. Florianópolis, 2017.

[36] STROBEL, Christian Scapulatempo. **Caldeiras**. Curitiba, 2015.

[37] PASQUAL, André Schönardie. **Turbogeradores**. Florianópolis, 2011.

[38] GREG, C. Stone et al. **Electrical Insulation for Rotating Machines**. New Jersey: Piscataway. 2014.

[39] MITTAL, Moti L. **Estimates of Emissions from Coal Fired Thermal Power Plants in India**. New Delhi, 2011.

[40] ALSTOM. **Treinamento (Operação e Manutenção) EPIC II – III**. São Paulo, 2008.

[41] Pomilio, J.A. **Eletrônica de Potência**. São Paulo, 2014.

ANEXO A – Diagrama Unifilar da UTLB

