

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
ENGENHARIA ELÉTRICA

PAULO HENRIQUE BRAGA

**ANÁLISE DE PARÂMETROS E PERDA DE VIDA ÚTIL DA BATERIA DE
CHUMBO ÁCIDO EM REGIME DE FLUTUAÇÃO**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CORNÉLIO PROCÓPIO
2019

PAULO HENRIQUE BRAGA

**ANÁLISE DE PARÂMETROS E PERDA DE VIDA ÚTIL DA BATERIA DE
CHUMBO ÁCIDO EM REGIME DE FLUTUAÇÃO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à disciplina Trabalho de Conclusão de Curso 2, do curso de Engenharia Elétrica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel.

Orientador: Prof. Esp. Carlos Alberto Paschoalino



Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Campus Cornélio Procópio
Departamento Acadêmico de Elétrica
Curso de Engenharia Elétrica



FOLHA DE APROVAÇÃO

Paulo Henrique Braga

Análise de parâmetros e perda de vida útil da bateria de chumbo-ácido em regime de flutuação

Trabalho de conclusão de curso apresentado às 14:00hs do dia 28/06/2019 como requisito parcial para a obtenção do título de Engenheiro Eletricista no programa de Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná. O candidato foi arguido pela Banca Avaliadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Avaliadora considerou o trabalho aprovado.

Prof(a). Esp. Carlos Alberto Paschoalino - Presidente
(Orientador)

Prof(a). Me(a). Marco Antonio Ferreira Finocchio -
(Membro)

Prof(a). Dr(a). Luiz Marcelo Chiesse da Silva -
(Membro)

A folha de aprovação assinada encontra-se na coordenação do curso.

Dedico este trabalho à Deus, meus pais, meu irmão e em memória a Luiz Gustavo Roncon.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao meu orientador Prof. Esp. Carlos Alberto Paschoalino, sua serenidade e conselhos foram primordiais para a realização deste, ao professor Edson Theodoro pela esclarecimento de dúvidas, a empresa a qual faço estágio e foi minha segunda casa por esses meses, me dando estrutura para que o trabalho pudesse ser realizado, em especial ao engenheiro responsável Marcio Zanconato pela dedicação de seu precioso tempo, e ao diretor Zeca Simonelli, pela oportunidade de trabalhar em uma empresa conceituada.

Não poderia deixar de lembrar dos professores e coordenadores responsáveis pela minha formação, dedicam seu tempo de forma a não poupar esforços, a servidores da universidade, também sempre presentes, colegas e amigos de sala, em especial em memória a colega Luiz Gustavo Roncon.

Quero agradecer fortemente minha mãe que sempre me apoiou e sofreu por eu estar fora de casa, meu pai com toda sua sabedoria e meu maior norte para ser engenheiro, não poderia ter exemplo melhor na carreira, e a meu irmão, futuro representante da classe.

Por último, quero agradecer a Deus por atender minhas preces, e estar sempre me dando forças e me iluminando intensamente.

RESUMO

BRAGA, Paulo Henrique. **Análise de parâmetros e perda de vida útil da bateria de chumbo-ácido em regime de flutuação**. 2019. 68f. Trabalho de Conclusão de Curso – Graduação em Engenharia Elétrica. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Cornélio Procópio, 2019.

As baterias de chumbo ácido são as mais usuais do mercado nacional, sendo o principal uso automotivo e em banco de baterias aplicado a fontes ininterruptas de tensão, as UPS. Apesar de ser uma fonte tradicional, ainda apresentam muitos problemas de avaria e redução forçada de sua vida útil. As causas mais comuns são usos incorretos de tensões de carregamento e flutuação, bem como a bateria ser submetida a um meio prejudicial a sua operação. Um dos defeitos mais percebidos que levam a bateria de chumbo à ineficiência é a perda de seu eletrólito, através da perda de água, esse fenômeno conhecido como *dry out*, ou secagem; e quando ocorre de forma descontrolada, gera o aumento da concentração do eletrólito e conseqüentemente uma corrosão intensificada, diminuindo a vida útil da bateria de chumbo-ácido. Para combater essa ineficiência precoce é preciso conhecer seus parâmetros bem como as condições a qual está submetida. O presente trabalho busca analisar as perdas e mostrar a relação entre os parâmetros a serem submetidos a ensaio de flutuação, bem como a análise de sua perda de capacidade com ensaios de capacidade.

Palavras-chave: Bateria de chumbo ácido. Secagem. Tensão de flutuação. UPS. Vida útil. Curva de capacidade.

ABSTRACT

BRAGA, Paulo Henrique. **Parameter analysis and loss of battery life of lead acid in flotation regime**. 2019. 68f. Final Paper – Electrical Engineering Graduate. Technological University Federal of the Paraná. Cornélio Procópio, 2019.

Lead acid batteries are the most common in the domestic market, its main automotive and battery bank applied to uninterrupted voltage sources, UPS. Despite being a traditional source, they still have many problems of failure and forced reduction of its useful life. The most common causes are incorrect use of charging and fluctuating voltages, as well as the battery being subjected to a means detrimental to its operation. One of the most perceived defects that lead to battery lead to inefficiency is the loss of its electrolyte, through the loss of water, this phenomenon is known as dry out, when it occurs in an uncontrolled way, generates the increase of the electrolyte concentration and consequently intensified corrosion, reducing lead-acid battery life. In order to combat this precocious inefficiency, it is necessary to know its parameters as well as the conditions to which it is submitted. The present work seeks to analyze the losses and show the relationship between the parameters to be submitted to flotation test, as well as the analysis of their capacity loss with capacity tests.

Keywords: Lead acid battery. Dry out. Flotation voltage. UPS. Useful Life. Capacity Curve.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Bateria de chumbo-ácido tipo VRLA	17
Figura 2 – Processo de descarga completo	19
Figura 3 – Processo de carga de uma bateria chumbo ácido	21
Figura 4 – Esquemático sistema UPS	23
Figura 5 – Componente UPS	24
Figura 6 – Auto-descarga da bateria UNIPOWER	27
Figura 7 – Vida em serviço cíclico	29
Figura 8 – Curvas de descarga	34
Figura 9 – Baterias de chumbo ácido do tipo VRLA conectadas a bancada	38
Figura 10 – Display do circuito 1 do ensaio	38
Figura 11 – Display do circuito 2 do ensaio	39
Figura 12 – Programação do ensaio do circuito 1	40
Figura 13 – Programa do ensaio do circuito 2	40
Figura 14 – Balança de precisão	41
Figura 15 – Ohmímetro	41
Figura 16 – Display de temperatura	42

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Curva de Capacidade Bateria 1	46
Gráfico 2 - Curva de Capacidade Bateria 2	46
Gráfico 3 - Tensão Fornecida X Capacidade Perdida - Bateria 1	47
Gráfico 4 - Tensão Fornecida X Capacidade Perdida - Bateria 1	47
Gráfico 5 - Capacidade Perdida x Tempo de Descarga - Bateria 1	48
Gráfico 6 - Capacidade Perdida x Tempo de Descarga - Bateria 2	48
Gráfico 7 – Resistência Interna x Tempo – Bateria 1	52
Gráfico 8 - Resistência Interna x Tempo – Bateria 2	53
Gráfico 9 – Corrente de Flutuação x Tempo de Flutuação – Bateria 1	53
Gráfico 10 – Corrente de Flutuação x Tempo de Flutuação – Bateria 2	54
Gráfico 11 – Capacidade Fornecida x Tempo de Flutuação – Bateria 1	54
Gráfico 12 – Capacidade Fornecida x Tempo de Flutuação – Bateria 2	55
Gráfico 13 – Tensão de Descarga x Tempo de Descarga – Bateria 1	56
Gráfico 14 – Tensão de Descarga x Tempo de Descarga – Bateria 2	58
Gráfico 15 – Capacidade Fornecida x Tempo de Descarga – Bateria 1	58
Gráfico 16 – Capacidade Fornecida x Tempo de Descarga – Bateria 2	59

LISTA DE SIGLAS E ACRÔNIMOS

CA	Corrente Alternada
CC	Corrente Contínua
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
FVLA	<i>Free Vented Lead Acid</i>
ONU	Organização das Nações Unidas
PNRS	Política Nacional de Resíduos Sólidos
PRAC	Programa de Responsabilidade Ambiental
SLI	<i>Start Lighting Ignition</i>
TBL	<i>Triple Bottom Line</i>
UPS	<i>Uninterruptible Power Source</i>
VRLA	<i>Valve Regulated Lead Acid</i>

LISTA DE SÍMBOLOS

<i>A</i>	Ampére
<i>Ah</i>	Ampére-hora
$^{\circ}C$	Graus Celsius
<i>mΩ</i>	Miliohms
<i>V</i>	Volts

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
1.1	DELIMITAÇÃO DO TEMA.....	14
1.2	PROBLEMAS E PREMISSAS.....	14
1.3	OBJETIVOS	15
1.3.1	Objetivo geral	15
1.3.2	Objetivos específicos	15
1.4	ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO	15
2	TIPOS, PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO E APLICAÇÕES DE BATERIAS	16
2.1	BATERIA DE CHUMBO-ÁCIDO.....	17
2.2	PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO E REAÇÕES DE CARGA E DESCARGA	18
3	ASPECTOS OPERACIONAIS, REGIME DE TRABALHO, EFEITO <i>DRY OUT</i>, CONCEITOS DE CAPACIDADE E PARÂMETROS INADEQUADOS	25
3.1	ASPECTOS OPERACIONAIS DA BATERIA DE CHUMBO ÁCIDO	25
3.2	REGIME DE TRABALHO (CAPACIDADE)	30
3.3	EFEITO <i>DRY OUT</i> (SECAGEM)	31
3.4	CURVA DE CAPACIDADE.....	33
4	ENSAIOS, MATERIAIS E MÉTODOS	36
4.1	ENSAIOS	36
4.2	MATERIAIS E MÉTODOS.....	36
5	RESULTADOS	44
5.1	CURVA DE CAPACIDADE INICIAL DAS BATERIAS	45
5.2	REGIME DE FLUTUAÇÃO.....	49
5.3	CURVA DE CAPACIDADE FINAL DAS BATERIAS	57
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	63
	REFERÊNCIAS	65

1 INTRODUÇÃO

A indústria automobilística é a maior consumidora de baterias de chumbo-ácido, exigindo uma maior qualidade, vida útil, e ciclabilidade, qualidade em não sofrer desgastes ao ser submetida pelos ciclos de carga e descarga, para ser submetida as operações da tecnologia automotiva *Start Lighting Ignition (SLI)*, sigla do inglês que se refere as condições de partida, iluminação e ignição do motor. As inovações, bem como pesquisas na área são fundamentais para que as empresas brasileiras de bateria de chumbo ácido para atender essas demandas novas de forma concomitante ao desenvolvimento sustentável, de forma a não agredir ao meio ambiente. É importante iniciar este trabalho salientando a importância e ascensão da indústria e demanda da bateria de chumbo-ácido no cenário mundial e nacional. No cenário nacional é previsto um milhão de carros elétricos para o ano de 2020, segundo estimativas de indústrias chinesas, um número significativo com base na atual frota de aproximadamente 43,5 milhões de carros. No cenário chinês, maior produtor mundial de chumbo primário, os números são mais significativos, atualmente há 4 milhões de carros elétricos movidos a baterias de chumbo-ácido. É preciso promover estudos e ideias, para que esse desafio e evolução possam ser atendidos, de forma a gerar um desenvolvimento para a sociedade. Em outro polo, na União Europeia, as baterias tem um papel central de fornecimento de energia “verde”, sendo responsável por setores automotivos, energéticos, e de tecnologia digital. O alto desempenho aumenta junto com a sustentabilidade e diálogo com questões ambientais, sendo alcançado com o prolongamento da vida útil da bateria, aumento da sua eficiência, qualidade de carga e recarga, bem como a otimização dos processos de reciclagem e gestão eficiente de matérias-primas, tornando o processo gradativamente mais sustentável e benéfico para a sociedade. (MAGAZINE PB S. AMERICA, 2018a; MAGAZINE PB S. AMERICA, 2018b).

A demanda com previsão crescente para pelo menos até o ano de 2025, denota a importância de cuidados, e necessidade de um crescimento sustentável, estimando-se para este ano um consumo de aproximadamente 13 000 000 de toneladas de chumbo em todos os setores das indústrias de bateria de chumbo (MAGAZINE PB S. AMERICA, 2017a).

A sustentabilidade é uma forma de harmonizar o desenvolvimento econômico, social e a preservação ambiental, uma forma de desenvolvimento

assegurando a qualidade de vida das pessoas de forma a não degradar o meio ambiente. Esse caminho sustentável é regido por normas, leis e regulamentos, tendo como marco o ano de 1972, quando ocorreu a conferência da Organização das Nações Unidas, a ONU, sobre o meio ambiente. A indústria de baterias está inserida fortemente nesse contexto de sustentabilidade, pois é uma fonte emissora de metais tóxicos e pesados, sendo necessário uma rede de reutilização, reciclagem, e tratamento de resíduos, de acordo com resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) dos seus produtos após o uso. As responsabilidades e conscientização aumentam visando o cuidado do potencial impacto de uma produção irresponsável. Muitos dos insumos utilizados para a produção de baterias são de fontes não-renováveis, sendo necessária uma extração consciente, para não haver um esgotamento das matérias-primas (REVISTA CHUMBO BRASIL, 2012b).

O componente essencial do tipo de bateria estudado, o chumbo, é destinado em 80% de sua extração para a demanda de acumuladores elétricos e assim, por ser uma fonte esgotável e de alto custo de produção, a reciclagem cumpre o papel de suprir o interesse econômico e assegurar a proteção ambiental. O chumbo reciclado representa uma quantidade entre 55% a 60% do total utilizado, sendo um indicativo de que as indústrias de baterias estão com maior facilidade para aquisição do chumbo reciclado em relação ao processo mais custoso de importação, visto que o Brasil não possui produção de chumbo primário (REVISTA CHUMBO BRASIL, 2012c).

A cultura da reciclagem é fundamental, abrange as esferas técnicas, econômicas, e sociais, promovendo a coleta e restituição saudável de resíduos aos geradores, promovendo um ciclo sustentável, ao invés de uma cadeia degradativa (REVISTA CHUMBO BRASIL, 2013c).

A reciclagem nos Estados Unidos é ainda mais efetiva, com uma taxa de reciclagem das baterias de chumbo com índices de até 99%, sendo o produto mais reciclado do país (REVISTA CHUMBO BRASIL, 2015).

Segundo André Saraiva – Diretor Executivo do Programa de Responsabilidade Ambiental (PRAC), a indústria não pode substituir a função do estado, porém deve ajudar a construção de uma sociedade mais justa (REVISTA CHUMBO BRASIL, 2013b).

As indústrias de bateria de chumbo e os setores que envolvem o produto possuem um compromisso legal, com a política de logística reversa, onde são

responsáveis pela coleta, restituição e reaproveitamento do chumbo, mantendo assim um ciclo eficiente, cujo sistema é previsto em lei pela Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) (MAGAZINE PB S. AMERICA, 2017b).

A reciclagem é um caminho sustentável, para a promoção da filosofia de *Triple Bottom Line* (TBL) com vistas às questões econômicas, sociais e ambientais. Essa forma de atuação é aliada a necessidade de atender a resolução e obrigações do CONAMA (REVISTA CHUMBO BRASIL, 2013c).

1.1 DELIMITAÇÃO DO TEMA

Como visto na introdução, para o processo de produção da bateria de chumbo ácido sustentável, é necessário com que características que fazem parte da logística, da produção e do produto sejam aprimorados. Uma das características a serem melhoradas é a de vida útil da bateria. Buscando o aumento de eficiência e conseqüentemente a vida útil, assim os processos demandam menos energia para gerar um produto mais duradouro, fazendo com que os resíduos e produtos sejam menos agressivos à sociedade e à natureza. São necessários estudos sobre métodos e processos para conseguir otimizar o processo de produção e uso da bateria. Uma das formas de alcançar um caminho mais sustentável é fazer com que o produto alcance uma vida média maior, com o estudo de sua vida útil através de parâmetros que serão discutidos no presente trabalho.

1.2 PROBLEMAS E PREMISSAS

O conceito de durabilidade de uma bateria. A melhor definição seria quando a bateria deixa de cumprir sua principal função, e no caso da bateria estacionária, o fornecimento constante e em uma classe de corrente adequada para dada situação, ou seja, a durabilidade é afetada se essas condições são deturpadas. As falhas podem ser classificadas em: mortalidade infantil (ocorrem no processo de fabricação, transporte ou armazenamento); falhas aleatórias (associadas ao projeto do produto ou uso incorreto da bateria). Além das anteriores ocorre a falha que será objeto de estudo deste trabalho é a falha por desgaste (corrosão), será explicada ao longo do presente trabalho, provocando a perda de eficiência no fornecimento de energia. O principal fenômeno que causa a perda da vida útil da bateria a ser estudado será a

perda de água da bateria, também conhecido como *dry out* (secagem), provocando o envelhecimento das baterias (REVISTA CHUMBO BRASIL, 2013a).

A indústria de baterias é um ramo tradicional e em expansão, com muitas áreas de estudo e investimentos cada vez maiores que corroboram o fato da necessidade e atual demanda em pesquisas e trabalhos que possam trazer mais eficiência a este ramo.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo geral

Explicar o princípio de funcionamento da bateria de chumbo ácido, e posteriormente explicar os mecanismos presentes que promovem o processo de secagem e o contexto no qual ele está inserido, considerando o regime de flutuação, visando à análise de sua perda de carga.

1.3.2 Objetivos específicos

Mostrar os resultados do ensaio, que terá como foco, analisar a perda de vida útil provocada pelo ensaio de capacidade e regime de flutuação, sendo possível verificar através da aferição de resistência interna, do peso da bateria e ensaios de capacidade. Por último, com a conclusão do ensaio, organizar dados iniciais, intermediários, e finais para a disposição de resultados e conclusão claras. A fundamentação teórica apresentada ao longo do trabalho, no tópico do objetivo do ensaio, detalharão pontos mais específicos desses objetivos.

1.4 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

Este trabalho possui a seguinte estrutura: o Capítulo 2 apresenta os conceitos teóricos sobre os principais tipos e funcionamento de baterias; o Capítulo 3 apresenta as definições de aspectos operacionais, regime de trabalho e capacidade, efeito *dry out* e parâmetros inadequados das baterias; o Capítulo 4 descreve o ensaios, materiais e metodologia em que a pesquisa foi realizada; o Capítulo 5 apresenta os resultados obtidos e suas respectivas discussões; o Capítulo 6, por sua vez, descreve as considerações finais do trabalho.

2 TIPOS, PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO E APLICAÇÕES DE BATERIAS

Nesse capítulo são abordados os diversos tipos e princípio de funcionamento das baterias, suas reações químicas e processos que explicam a carga e recarga para ser possível explicar posteriormente, por exemplo, a relação entre tempo de vida e resistência interna da bateria.

As baterias podem ser divididas por suas aplicações, exercendo formas de regime diferente para cada aplicação, isso inclui a profundidade de descarga, e tempo contínuo de funcionamento, bem como nível de correntes de operação e regimes de tensão. Nessa classificação se encontram cinco tipos: Automotiva, Tracionária, Carros Elétricos, Baterias portáteis e por último a bateria tema do estudo, a Estacionária. As baterias automotivas, são as responsáveis pela partida do motor, iluminação, e circuitos auxiliares dos automóveis, possuindo uma grande quantidade de potencial de acúmulo de energia em relação a estacionária, e usadas em aplicações mais específicas (REVISTA CHUMBO BRASIL, 2012a; CAIS BATERIAS, 2019; RTA, 2019).

As tracionarias são as utilizadas em veículos e máquinas de tração, como empilhadeiras, apresentam grande quantidade de ciclos de carga e descarga. As baterias de carros elétricos estão cada vez mais eficientes, e tem seu uso crescente devido a sua evolução e redução de peso e incentivos comerciais por ser uma fonte de energia limpa. As portáteis têm sua aplicação em aparelhos eletrônicos, gradativamente diminuindo seu tamanho e consumo. Por último, a estacionária, é usada em banco de baterias, com aplicação em *nobreaks*, retificadores CC, fontes alternativas de energia. Este tipo deve necessário ter uma confiabilidade de funcionamento, bem como longevidade, capacidade de operação em ambientes mais quentes, devendo haver cuidado para seu posicionamento em relação a outros tipos de equipamentos devido a emissão de gases e oxidação. Possuem uma capacidade maior para uma quantidade maior de ciclos de carga e descarga, e uma maior durabilidade em relação às automotivas e usadas em aplicações mais versáteis (REVISTA CHUMBO BRASIL, 2012a; CAIS BATERIAS, 2019; CRESTANI, 2019; RTA, 2019).

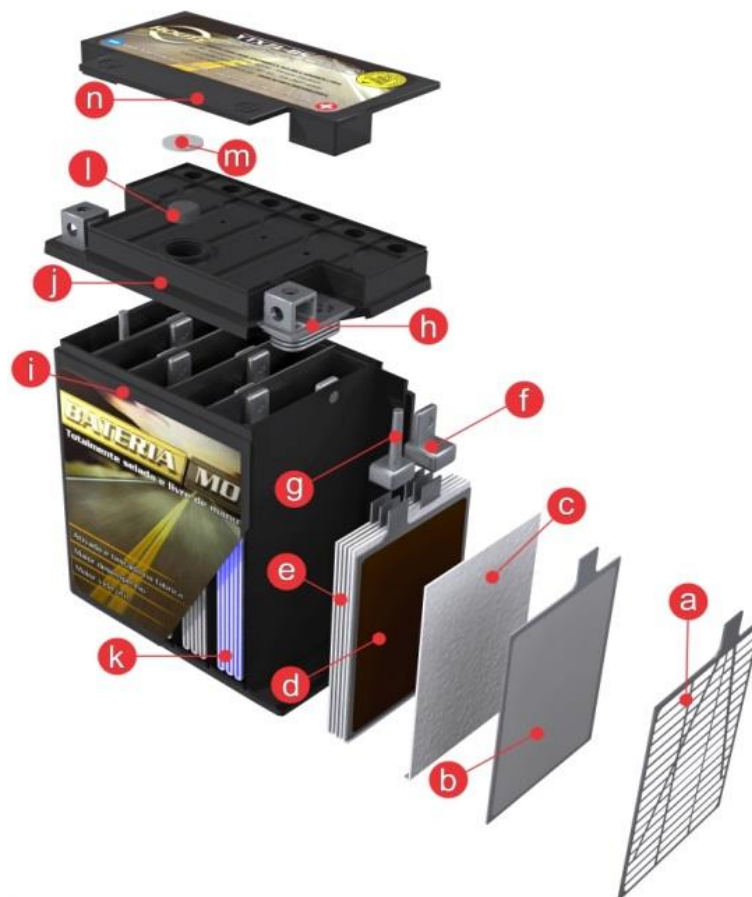
Há outra classificação paralela das baterias de chumbo, onde podemos considerar dois modelos, as ventiladas FVLA, onde a operação é realizada com o enchimento regular de água, de acordo com o aumento da temperatura, para

compensar as perdas, e o segundo que é o VRLA, que opera com a recombinação de seus gases, reduzindo as perdas por secagem (CHAGAS, 2007).

2.1 BATERIA DE CHUMBO-ÁCIDO

A bateria de chumbo ácido estacionária que foi analisada em ensaio possui o material ativo sendo dióxido de chumbo (PbO_2) como material positivo, e o chumbo (Pb) como material negativo, e o eletrólito, ácido sulfúrico (H_2SO_4) responsável pela ionização da solução para circulação de corrente. A Figura 1 ilustra os componentes físicos de uma bateria de chumbo-ácido do tipo VRLA, não o modelo utilizado no ensaio mas com componentes semelhantes.

Figura 1– Bateria de chumbo-ácido tipo VRLA



Fonte: Baterias Route (2015).

Podemos observar a grade (a), estrutura responsável pelo suporte do material ativo e condução de corrente; a placa negativa (b), formada por chumbo metálico majoritariamente; o separador em fibra de vidro (c), responsável por evitar curtos-circuitos entre as placas, distribuir de forma equivalente o eletrólito entre as

placas favorecendo a condução de corrente, e reduzir a resistência interna da bateria; placa positiva (d), composta majoritariamente de óxido de chumbo (PbO_2); célula (e), conjunto de placas justapostas que somadas fornecem a tensão nominal da bateria; conector (f), condutor responsável por interligar as células e as placas de mesma polaridade; polo interno (g), condutor responsável por interligar as placas de mesma polaridade e as células; terminal (h), ligação externa e contato mais resistente; caixa (i), responsável por acomodar o conjunto; tampa (j), fechamento da estrutura; eletrólito (k), solução ácida para ionização; válvula (l), responsável pelo ajuste da pressão interna; supressor de chamas e gases (m), responsável pela segurança da saída de hidrogênio a risco de explosão; sobretampa (n), acabamento final e lacre da bateria (ZANCONATO, 2015).

Como pode ser observado na Figura 1, as baterias de chumbo ácido contém vasos que geram a tensão nominal, e que ligados em série totalizam a tensão terminal total da bateria.

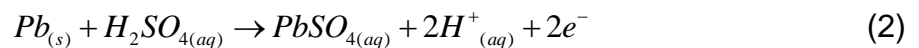
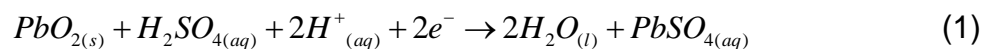
2.2 PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO E REAÇÕES DE CARGA E DESCARGA

A conversão de energia química em energia elétrica ocorre no material ativo junto ao eletrólito (meio para o fluxo de íons), sendo a fonte das reações de carga e descarga, inicialmente ocorrendo de forma natural, e posteriormente com os produtos da reação de descarga. A injeção de corrente é necessária para que ocorra o processo reverso, de recarga, classificada assim como secundária por ter um ciclo renovável de energia. É válido lembrar que com o passar dos ciclos há pequenas perdas que são inerentes ao processo químico com um efeito acumulativo após a passagem de muitos ciclos. O material ativo fica contido nas placas em forma de pasta, as quais são justapostas e conduzem a corrente. A justaposição total das placas forma a tensão que está presente nos terminais das baterias (ZANCONATO, 2015; CARNEIRO et al., 2017).

Como citado anteriormente a bateria pode estar operando em dois sentidos diferentes, de descarga e recarga. As reações serão vistas e explicadas a seguir, porém é preciso entender o fenômeno químico responsável pela movimentação dos elétrons e de geração da corrente elétrica: a oxirredução. A oxirredução é dada com base no número de elétrons cedidos e recebidos, onde o elemento que perde elétrons

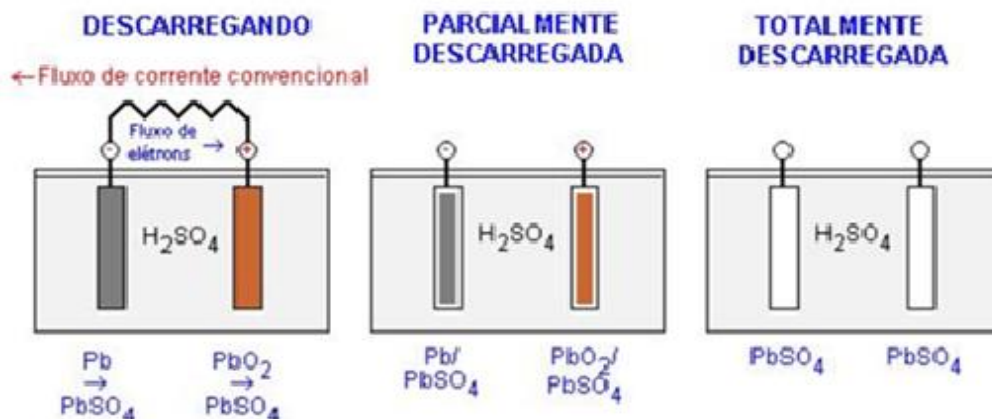
sofre oxidação. Estes elementos apresentam menor número de oxidação em relação aos outros elementos da reação, sendo mais propensos a perderem elétrons. Em contrapartida o elemento com maior número de oxidação da reação, é o elemento deficiente em elétrons, logo tem potencial a receber elétrons, sofrendo redução. O fenômeno de oxirredução ocorre para a equação atingir o equilíbrio químico, onde os elétrons têm a direção do polo negativo para o polo positivo (FOGAÇA, 2019).

No processo de descarga inicialmente a bateria possui o polo positivo (PbO_2) e o polo negativo (Pb). O polo positivo (PbO_2) possui maior potencial catódico e maior número de oxidação, ganhando elétrons, assim sofrendo redução, o polo negativo (Pb) perde elétrons, por possuir maior potencial anódico e menor número de oxidação, caracterizando o processo de oxirredução na descarga, fazendo os elétrons irem do polo negativo ao polo positivo. As semi-reações no polo positivo e no polo negativo ocorrem de forma simultânea no processo de descarga, conforme apresentado nas Equações (1) e (2) respectivamente (ZANCONATO, 2015; CARNEIRO et al., 2017).



O processo de descarga segue ocorrendo até a energia potencial dos elétrons se deslocarem pela oxirredução e a ionização do eletrólito se esgotar, diminuindo de forma tênue a capacidade de fornecimento de corrente a qual foi projetada, assim é preciso iniciar o processo inverso para promover a recarga da bateria. A Figura 2 ilustra o processo de descarga.

Figura 2 – Processo de descarga completo



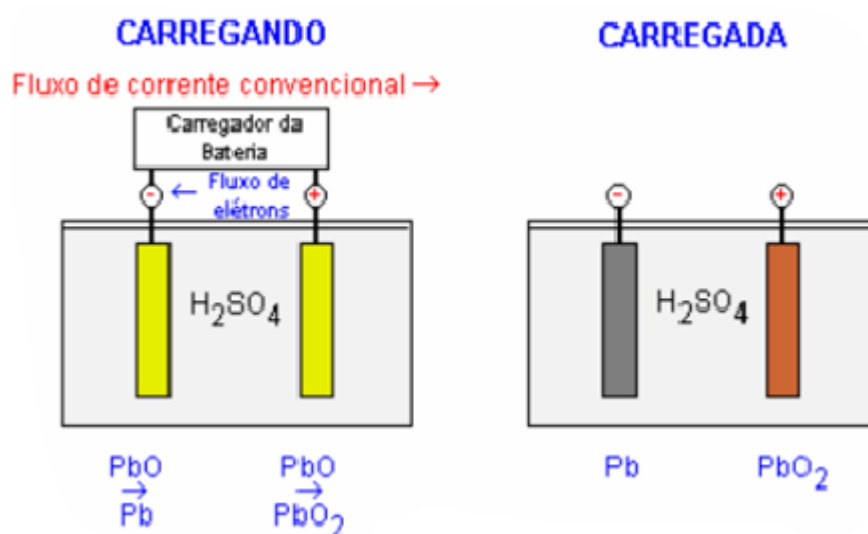
Quando a bateria é recarregada, o processo é invertido em relação à descarga, os elétrons tendem a retornar ao estado original com a excitação provocada pela corrente de recarga, saltando a níveis de energia maiores. Na descarga os produtos passam a serem reagentes. O sulfato de chumbo é produzido a partir do dióxido de chumbo ($PbO_2 \rightarrow PbSO_4$) no polo positivo, pelo processo de redução, e o chumbo é transformado em sulfato de chumbo ($Pb \rightarrow PbSO_4$) no polo negativo. Não há presença de ponte salina, isso facilita uma baixa resistência interna da bateria e altas correntes, pois os agentes oxidantes e redutores são sólidos. Com os processos explicados separadamente é possível observar na Equação (3) a reação global.



No processo de “ida” (descarga) da equação global o chumbo da placa positiva, reage com o eletrólito, se combinando com seus íons, fazendo com que a placa passe a acumular sulfato de chumbo. Na placa negativa ocorre uma reação similar, onde o chumbo reage com o eletrólito, os íons de sulfato de ácido sulfúrico e formam também o sulfato de chumbo. À medida que o chumbo vai sendo consumido das placas e o eletrólito perdendo a ionização e sendo consumido, a bateria vai se descarregando, chegando a um esgotamento e necessitando passar pelo processo de recarga, onde a corrente passa a circular no sentido contrário, restabelecendo a condição inicial. Nesse processo de recarga há pequenas perdas associadas a cada ciclo, sendo significativas ao passar dos ciclos. Como pode ser observado na Equação (3), um dos produtos da reação do chumbo com o ácido de sulfúrico é a água. A reação de cada célula da bateria é acumulativa, ligadas em série, gerando sua tensão total nominal de saída ao longo da bateria (ZANCONATO, 2015; CARNEIRO et al., 2017; RAND; MOZELEY, 2017).

A Figura 3 ilustra os processos de carregamento e descarregamento das baterias de chumbo ácido.

Figura 3 – Processo de carga de uma bateria chumbo ácido



Fonte: Luczkiewicz (2011).

As perdas associadas e aos ciclos de carga e recarga segundo Zanconato (2015), e suas causas segundo Baterias Tudor (2018):

- Sulfatação, ocorre quando a bateria é submetida a longos períodos de baixa carga ou sem carga, provocando a perda de carga e conseqüentemente de eficiência, ocorre cada vez mais formação de cristais de $PbSO_4$ virando grânulos de $PbSO_4$ estruturas que dificultam o processo de recarga, e assim a quantidade de volume de chumbo e eletrólito diminui;
- Degradação, perda da resistência mecânica do polo positivo e pode provocar a ruptura deste polo;
- Corrosão, associada também ao polo positivo, quando o chumbo reage com o eletrólito e se transforma em óxido de chumbo, aumentando a resistência interna, diminuindo as correntes e diminuindo a eficiência da reação. Podem ser intensificadas devido à condição de operação, afetando a vida útil, por exemplo, na prolongada utilização do regime de recargas com altos níveis de corrente e descargas profundas, ou elevação de temperatura.

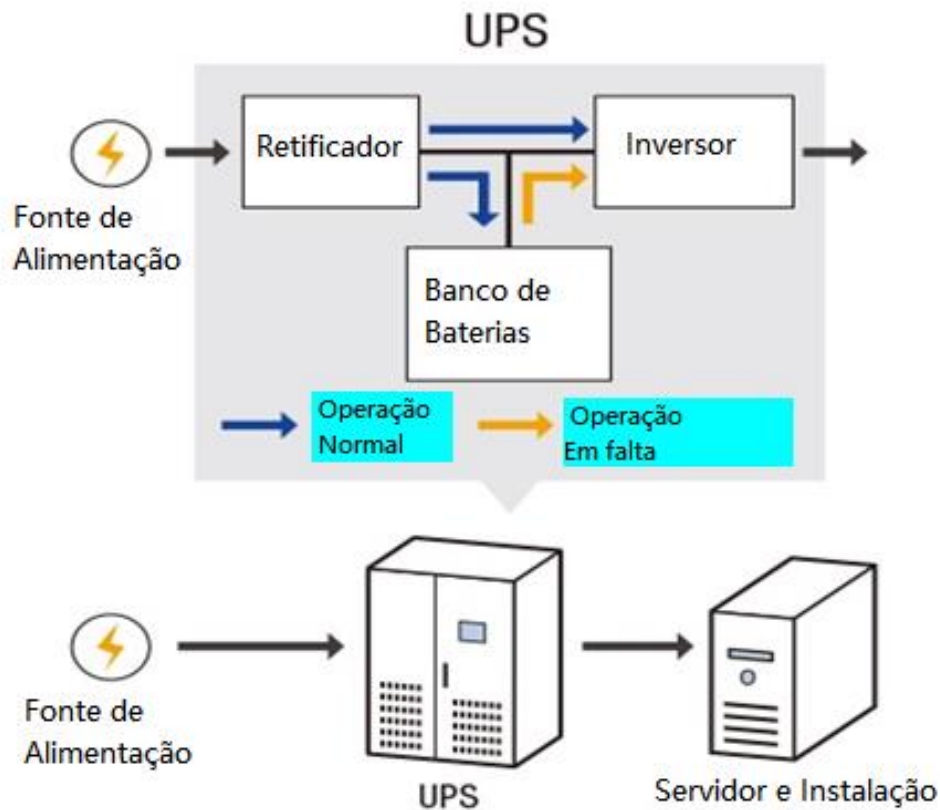
O assunto das perdas cíclicas tratadas anteriormente será posteriormente contextualizado no tópico de aspectos operacionais da bateria de chumbo ácido.

2.3 CONTEXTO DE APLICAÇÃO (UPS)

Nesse tópico será explicado, em que contexto está inserido e será estudado o ensaio executado sobre a bateria estacionária, o sistema de *Uninterruptible Power Source* (UPS), sigla em inglês para fonte de alimentação ininterrupta, ou *nobreaks*. Esse tipo de sistema é responsável por manter um fornecimento constante, confiável e seguro de energia, onde devem ser atendidos os requisitos de qualidade de fornecimento de energia para as cargas alimentadas. Nesse sistema são usadas baterias do tipo estacionárias, que são carregadas enquanto a rede elétrica apresenta uma operação normal, e são descarregadas em uma situação onde a rede, por motivo de falha ou desligamento, passa a não fornecer mais energia. A partir dessa situação de ausência de energia da rede, as baterias passam a cumprir um papel de fornecimento de energia, enquanto a rede segue em situação de falta de energia. O sistema UPS detecta falhas ou instabilidade, e passa a exigir o fornecimento das baterias para estabilizar a rede elétrica. Também pode atuar de forma temporária para desligar o sistema com segurança a tempo de assegurar que dados não sejam perdidos. A autonomia dos sistemas e tempo de fornecimento em situação de falha variam de acordo com os equipamentos utilizados e as situações demandadas, como por exemplo, uma Unidade de Tratamento Intensivo de um hospital demanda de um sistema de UPS com maior autonomia, pois precisa da continuidade de funcionamento de seus aparelhos, do que um escritório onde estão sendo digitados dados e relatórios, o qual necessita apenas um intervalo de tempo suficiente para salvar os dados, ou seja, o sistema UPS deve ser projetado de acordo com a demanda de autonomia (LAZZARIN, 2006; FUJI ELECTRIC, 2019).

Como é possível observar pela Figura 4 um esquemático ilustra as ocorrências do sistema UPS.

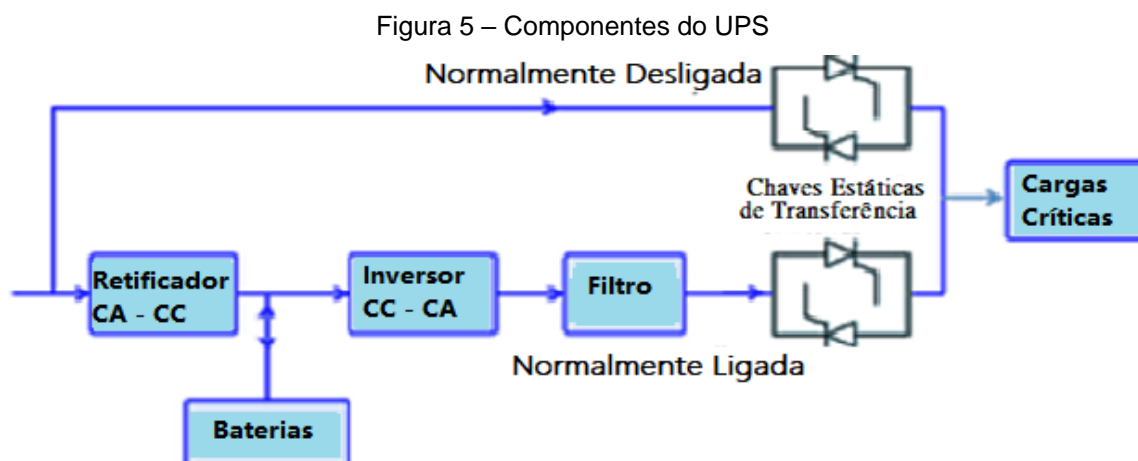
Figura 4 – Esquemático sistema UPS



Fonte: Adaptado de Fuji Electric (2019).

Durante a operação normal da rede, o banco de baterias está submetido a uma tensão que mantém as baterias carregadas (tensão de flutuação), servindo para carregar de forma branda e contínua e após isso manter as baterias na condição de prontidão para a situação descarga (plena carga). Com a tensão alternada da rede elétrica sendo convertida em tensão contínua pelo retificador, assim que há a necessidade do banco de baterias atuar, este passa a fornecer a energia que foi carregada em situação de fornecimento de energia pela rede, passando pelo inversor (AC Drive) que transforma a corrente contínua da bateria em alternada para alimentar as cargas da rede, esse ciclo se repete de acordo com as faltas e restabelecimento da rede (LAZZARIN, 2006; FUJI ELECTRIC, 2019).

A Figura 5 ilustra os componentes e diagrama de blocos do UPS de forma mais detalhada.



Fonte: Adaptado de Electropaedia (2019).

Este sistema apresenta os seguintes componentes: um Retificador realizando a transformação da Corrente Alternada (CA) em Corrente Contínua (CC) para alimentação do banco de baterias; um carregador de baterias, responsável por converter a corrente da rede em corrente com parâmetros corretos de recarga de baterias; o banco de baterias, células de energia armazenada para situação de interrupção de fornecimento da rede elétrica; um inversor de tensão CA - CC, para adequar a corrente fornecida pela bateria as cargas da rede em situação de interrupção; e chaves estáticas de transferência realizando a distribuição de energia. Podemos observar que para a mudança de atuação dos circuitos de acordo com o acontecimento da falha de fornecimento na rede a chave passa a atuar, e com o restabelecimento da rede a chave completa seu ciclo de abrir e fechar (ELECTROPAEDIA, 2019).

É comum ocorrer o esgotamento precoce ou perda de carga intensa do banco de baterias devido as condições de operação inadequadas com o passar dos ciclos. Dentre as condições inadequadas, podemos citar o carregamento incompleto do banco de baterias, que ocasiona a perda de carga e o fornecimento de níveis insuficientes de correntes, temperaturas inadequadas, e níveis inadequados de tensões de forma geral, como a tensão de flutuação que é responsável por carregar e manter a bateria carregada e não sofrer auto descarga. Essas condições geram a evaporação intensificada do eletrólito, como será explicado posteriormente no trabalho, fenômeno conhecido como “*dry out*”, ou “secagem”, condição mais comum para a “morte” das baterias. É importante promover uma integração do Sistema UPS para a durabilidade do banco de baterias (LAZZARIN, 2006; C&D TECHNOLOGIES, 2012).

3 ASPECTOS OPERACIONAIS, REGIME DE TRABALHO, EFEITO *DRY OUT*, CONCEITOS DE CAPACIDADE E PARÂMETROS INADEQUADOS

Este capítulo irá explicar os conceitos que foram trabalhados no ensaio, e explicações dos processos da bateria, aspectos operacionais, conceitos de capacidade e efeito de secagem da bateria de chumbo ácido que são responsáveis pela perda de sua vida útil, só depois dessa seção será possível um entendimento sobre o ensaio.

3.1 ASPECTOS OPERACIONAIS DA BATERIA DE CHUMBO ÁCIDO

Para começar esse tópico é válido citar brevemente as perdas mais comuns como: a degradação das grades metálicas com o passar do ciclos, perdendo a capacidade de provocar a circulação de corrente, aumentando a resistência interna da bateria, gerando menores correntes, e sendo responsável pelo depósito do material ativo no fundo das baterias, sendo causada por alta concentração do eletrólito; a sulfatação é o outro fenômeno visto que também causa alteração do eletrólito, diminuindo a capacidade de reação da bateria, e também aumentando sua temperatura e resistência interna, ocorrendo por conta de descargas e recargas profundas, recargas incompletas, longos tempos sem recargas, longo tempo sem descarga completa ou baixo nível de eletrólito (CHAGAS, 2007; BATERIAS TUDOR, 2018).

Conforme as reações de carga e descarga ocorrem na bateria, e a secagem do eletrólito tende a ocorrer, a concentração do eletrólito aumenta, intensificando a corrosão das grades de chumbo positiva, limitando a capacidade da bateria, causando perda de capacidade de conduzir corrente e perda precoce de sua vida útil. Cada célula da bateria é responsável por uma fração acumulativa da tensão nominal que ela fornece na saída de seus polos. Essa tensão é responsável por fornecer uma corrente adequada ao seu funcionamento até com que a reação de descarga se esgote, o eletrólito perca ionização e a bateria chegue a uma tensão final de descarga, nesse momento precisa ser recarregada. A sobrecarga é o processo que ocorre ao “forçar” a descarga da bateria, não respeitando a sua tensão final de descarga, e assim, a temperatura da bateria aumenta de forma acima da adequada, pode queimar os separadores e iniciando um processo mais intenso de secagem da

bateria, essa prática é caracterizada como descarga profunda, sendo relativa a capacidade da bateria. Já a sobrecarga é referente a uma tensão de recarga além do valor admissível pelos polos, depois que a bateria está carregada “forçando” a recarga, não respeitando sua tensão final de recarga, essa prática provoca temperatura interna excessiva, perda de eletrólito (secagem), e queima dos separadores (LAZZARIN, 2006; BATERIAS TUDOR, 2018; UNICOBÁ, 2019).

O banco de baterias pode sofrer problemas com a carga e descarga, temperatura e condição a qual está submetido, pode resultar em tensões diferentes para cada bateria presente no banco, esse problema é resolvido com a carga de equalização, tensão aplicada maior que a de flutuação, podendo durar de 6 a 12 horas, sendo responsável pela retomada da distribuição uniforme entre os blocos, fazendo as tensões voltarem a se equalizarem, promovendo mistura adequada e uniforme do eletrólito para cada tipo de célula (LAZZARIN, 2006).

Os fenômenos anteriores foram citados pela importância e presença intrínseca deles no processo de carga e descarga da bateria de chumbo ácido, porém o escopo do trabalho e do ensaio consiste na análise através da bateria em regime de flutuação.

A tensão de flutuação é responsável por evitar a auto-descarga da bateria bem como manter a bateria a plena carga, ela gera a corrente de flutuação para compensar as perdas por auto-descarga, ou seja, mantém a bateria carregada e pronta para o fornecimento de energia quando requisitado, a tensão de flutuação é um pouco maior que a tensão de circuito aberto da bateria. Seu nível de intensidade é relativo a bateria em questão, tanto a temperatura de operação, e do tamanho da bateria, sendo proporcional a quantidade de células presente na bateria (CHAGAS, 2007).

A auto-descarga é o fenômeno natural que ocorre onde a bateria tende a descarregar espontaneamente a energia acumulada apresentando instabilidade em seu armazenamento, sua intensificação ocorre devido a temperatura mais altas, concentração alta do eletrólito, ou contaminação do mesmo. A bateria tende a auto-descarga mais intensamente quando o terminal estiver em aberto ocorrendo com a decomposição da água da bateria, e esse processo se intensifica com os ciclos de carga da bateria de chumbo ácido (KARASINSKI; DIAS, 2003).

A Bateria UNIPower do manual técnico do grupo UNICOBÁ, similar às ensaiadas neste trabalho, mostra como ocorre a auto descarga em índices de

capacidade, em função da temperatura e do tempo sem tensão de flutuação. É mostrada a taxa de auto-descarga para faixas de temperatura na Figura 6.

Figura 6- Auto-descarga da bateria UNIPOWER



Fonte: UNICOBA Adaptada (2019).

Como pode ser observado pelo gráfico anterior, a auto-descarga acontece de forma mais rápida para altas temperaturas, é possível ter uma noção de sua intensidade de descarga, conforme os meses.

Quando a bateria está descarregada passou por um processo de esgotamento químico de seu eletrólito, onde este precisa restabelecer a capacidade de ionização inicial, conforme antes da descarga. Quando está no estado pós ionização, com a bateria descarregada, a resistência interna do conjunto químico é maior do que quando a bateria está pronta para a descarga. Aplicando a tensão de flutuação, antes da bateria atingir uma tensão constante ela passa por um transitório (estado de alteração do eletrólito e material ativo até atingir o carregamento completo) ocasionando a mudança de resistência interna, durante a recarga. A estabilidade ocorre com a bateria carregada e mantida a tensão constante de flutuação. Essa alteração é provocada devido a concentração do eletrólito é maior com a bateria carregada, decrescendo de acordo com a descarga, aumentando a resistência interna, de acordo com o estado de carga (KARASINSKI; DIAS, 2003; LAZZARIN, 2006; CHAGAS, 2007; UNICOBA, 2019).

É necessário uma faixa adequada de concentração do eletrólito que varia de acordo com o tipo de bateria, o material de fabricação, o material ativo, e a temperatura, pois se o ácido estiver muito concentrado, fora dos padrões do modelo

do fabricante, passa a atacar os componentes que conduzem a corrente, como conectores. Em contrapartida com a baixa concentração do eletrólito, a solução passa a ser condutora pouco eficiente, e a condução é piorada conforme a bateria chega em seus estado final de descarga (situação que a descarga deve ser paralisada, e a bateria deve passar por um processo de recarga). É possível observar que a resistência interna tem forte relação com a concentração (KARASINSKI; DIAS, 2003; LAZZARIN, 2006; CHAGAS, 2007).

Consiste em um erro comum na operação da UPS, aplicar tensões de flutuação com níveis incorretos, resultando em perda precoce da capacidade da bateria e de sua vida útil, em um valor abaixo da adequado ocorre recargas insuficientes e intensificação da sulfatação, provocando o aumento da resistência interna e provocando a secagem. Em níveis acima do adequado, ocorre a sobrecarga, aumento da corrente de flutuação, corrosão prematura e a secagem do eletrólito (LAZZARIN, 2006; CHAGAS, 2007; BATERIAS TUDOR, 2018).

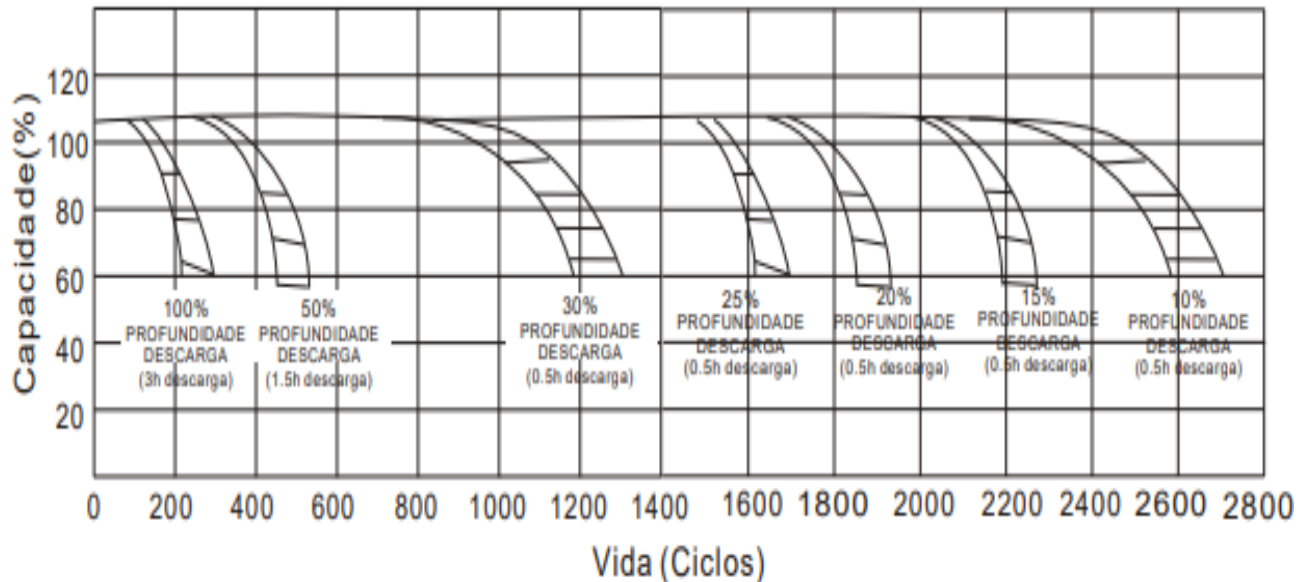
A tensão de flutuação visa à uma faixa de valores para a bateria passar por uma recarga suave e constante, e não por uma sobrecarga, trabalhando em uma faixa de classe sem consequências graves para a ciclagem da bateria. Os problemas vistos anteriormente mudam a resistência interna da bateria pela alteração no eletrólito, ou pela perda do volume deste com os fenômenos de secagem, aumentando e tornando um circuito onde torna a circulação de corrente mais inviável, causando perda da capacidade de fornecimento e conforme a situação provocando a “morte” da bateria. A resistência interna é uma importância característica para a análise da vida útil da bateria, pois através desta temos um importante indicativo sobre a condição da vida útil da bateria, com uma forte correlação entre a vida útil e a resistência interna (KARASINSKI; DIAS, 2003; LAZZARIN, 2006; CHAGAS, 2007).

As baterias que sofrem a perda da capacidade, sofrem um aumento da resistência interna, aumentando a dificuldade da corrente circular pelo circuito formado pela bateria, assim em um processo de descarga, atingirá sua tensão final de descarga mais rapidamente, conforme será visto no ensaio de capacidade. Com uma baixa resistência interna a capacidade de fornecer altas correntes se mantém. Como pode ser observado pelos fenômenos apresentados anteriormente, é necessário ter ciência das faixas adequadas de operação da bateria, levando em consideração suas tensões de flutuação, equalização, e finais de carga e descarga (CHAGAS, 2007).

Uma das formas de se evitar a perda de vida-útil da bateria é ter o controle da profundidades de descarga da bateria, com o passar dos ciclos, evitando que a bateria sofra descargas mais profundas para a qual foi projetada. Assim faz-se importante o conhecimento sobre as formas de se evitar a auto-descarga, pois através dessa, como visto anteriormente, podem ocorrer descargas profundas, e a tensão de flutuação é a forma mais conveniente de se evitar esse processo (UNICOBA, 2019).

A seguir pode ser vista a Figura 7, do manual técnico da UNIPOWER, relativa à uma bateria similar a ensaiada, que caracteriza a relação entre os ciclos de vida da bateria e as profundidades de descarga

Figura 7- Vida em serviço cíclico



Fonte: UNICOBA (2019).

Como é possível observar na Figura 7, a descarga profunda gera perda de vida útil da bateria de chumbo-ácido, afetando de forma mais intensa a quantidade de ciclos de carga conforme a descarga fica próxima a descarga completa (UNICOBA, 2018).

Ter ciência sobre as condições as quais o banco de baterias está submetido, é uma forma necessária para que as baterias tenham uma vida útil considerável, conhecendo os regimes de descarga e recarga, a intensidade e frequência com a qual ocorrem, viabilizando o uso das baterias de forma mais sustentável e eficiente, o presente trabalho busca mostrar também, a importância de se conhecer o processo inteiro no qual a bateria está submetido, e não simplesmente tratá-la como unidade independente do processo.

3.2 REGIME DE TRABALHO (CAPACIDADE)

As baterias de diferentes tamanhos e tipos, apresentam regimes de trabalho diferentes, ou seja, são capazes de fornecer correntes específicas por um intervalo de tempo diferente de outros tipos de bateria. A unidade que indica o regime de trabalho e a capacidade é o Ampére-hora (Ah). Esta capacidade está relacionada à magnitude de corrente que está sendo fornecida e o tempo de fornecimento. Essa unidade, porém, indica uma forma de atuação em regimes específicos para suas faixas de aplicações apropriadas, não sendo uma unidade necessariamente linear e variando de acordo com o tipo de bateria, porque as estas são também submetidas a regimes de cargas e descargas máximas que limitam sua operação, como foi visto anteriormente. Por exemplo, se a bateria possui $15 Ah$ e de acordo com suas especificações, pode operar descarregando $1,5$ amperes em um período de 10 horas, totalizando $15 Ah$, regime que pode ser de uma bateria estacionária (LAZZARIN, 2016).

Outra nomenclatura importante está relacionada ao tempo que a bateria passará descarregando e associada a sua capacidade e corrente de descarga, que como foi visto anteriormente não é necessariamente linear, por exemplo, em regime de descarga $C_{10} = 150Ah$, significa a descarga de 10 horas, de acordo com o valor 10 subscrito de C_{10} , representando o tempo em horas de descarga. Com a capacidade específica dessa descarga, de $150 Ah$, logo, espera-se que a bateria descarregue a uma corrente de 15 amperes ao longo das 10 horas de regime de descarga, totalizando a capacidade de $150 Ah$, sendo a capacidade nominal da bateria, supõe-se que esse regime seja de acordo com as suas especificações. Ressaltando o que já foi dito anteriormente esses regimes dependem da temperatura e do tipo de bateria em questão. A notação pode estar em função da corrente de descarga a qual a bateria é submetida com base em sua capacidade. Por exemplo, quando se trata de uma corrente I_{20} , essa notação se refere a $I_{20} = \frac{C_{20}}{20 \text{ horas}}$, ou seja a corrente nominal correspondente a capacidade nominal, da mesma forma que a corrente em I_{10} , tem sua notação referida ao módulo $I_{10} = \frac{C_{10}}{10 \text{ horas}}$. Para o exemplo anterior em $C_{10} = 150Ah$ a I_{10} seria de $I_{10} = \frac{150 Ah}{10 \text{ horas}} = 1,5 A$, conforme os ensaios denotam (KARASINSKI; DIAS, 2003; ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2017).

3.3 EFEITO *DRY OUT* (SECAGEM)

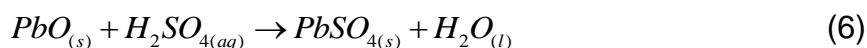
Conforme foi enunciado anteriormente, é possível perceber que os principais responsáveis por pelo efeito “*dry out*”, são a tensão de flutuação ou descarga, recargas inadequadas, e a sulfatação intensa. Nesse tópico será explicado como é o processo químico que causa a secagem da bateria. Segundo C&D Technologies (2012), a bateria do tipo VRLA, foco deste trabalho, por essa possuir uma válvula para liberação de gases, e com o eletrólito retido no separador, idealmente o ciclo do oxigênio deve se completar, tornando o ciclo das reações de recombinação dos gases perfeita, não sendo necessário o abastecimento de água na bateria. O boletim técnico C&D Technologies (2012) mostra o processo de forma clara e objetiva, os ciclo do oxigênio da bateria, onde a processo de secagem começa com a decomposição da água (H_2O) do eletrólito no polo positivo, em gás oxigênio (O_2) e hidrogênio (H_2), mostrado na Equação (4).



Com a retenção do eletrólito nos poros do separador, o gás oxigênio (O_2) gerado pela reação entra em contato com a placa negativa de chumbo (Pb) formando o óxido de chumbo (PbO), conforme pode ser observado na reação conforme Equação (5).

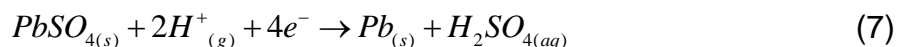


Após o processo descrito anteriormente, o óxido de chumbo (PbO) reage com o eletrólito parcialmente descarregado, o ácido sulfúrico (H_2SO_4), no polo negativo, e o produto dessa reação é a sulfato de chumbo ($PbSO_4$) e seguindo o ciclo do oxigênio gerando água como produto, como pode ser observado na Equação (6).



Por último tem-se a etapa de recarga da bateria, onde o sulfato de chumbo ($PbSO_4$) parcialmente descarregado da placa negativa reage com os íons de hidrogênio (H^+) da placa positiva e os elétrons livres (e^-) fornecidos no processo de recarga, para voltar à forma inicial da reação, da bateria com os componentes iniciais,

o chumbo do polo negativo e o ácido sulfúrico e o eletrólito como pode ser observado na Equação (7).



Onde os subscritos (g) , (l) , (aq) e (s) , representam os estados dos componentes das equações anteriores em forma gasosa, líquida, aquosa e sólida, respectivamente.

Na baterias do tipo ventiladas, o hidrogênio é perdido, através da liberação de gases pela válvula e há a necessidade da reposição do eletrólito na forma de água. No caso da bateria ensaiada, do tipo VRLA, não há a necessidade da manutenção do eletrólito, pela recombinação cumprir o ciclo completo, porém pode haver perdas no processo que interfiram na recombinação dos gases (C&D TECHNOLOGIES, 2012).

Quando há algum processo dos citados anteriormente que geram o fenômeno de “*dry out*”, significa que o oxigênio está sendo gerado a uma velocidade maior, pela corrente de recarga alta, dificuldade de difusão dos gases para reintegrarem a célula da bateria, uma alta corrente de operação ou recarga, maior que a adequada, podendo ser em regime de flutuação, ou uma alta temperatura a qual a bateria estiver submetida. Com essa formação acelerada do gás oxigênio, o separador não consegue acompanhar a difusão do gás ter alta taxa de velocidade, gerando um volume de gás além do que pode ser difuso pelo separador, e assim a célula irá consumir água e emitir hidrogênio, perdendo o equilíbrio do ciclo do oxigênio e da reação, com a perda do equilíbrio do ciclo, a bateria passa a perder parte de seu eletrólito, ocorrendo uma secagem, e uma perda de peso, pela emissão do gás liberado na válvula, tornando o eletrólito mais concentrado, pela água ser perdida em forma de gás. Com ácido sulfúrico mais concentrado, pela perda dos gases que deveriam gerar a água, o resultado disso é a corrosão as estruturas condutivas da bateria, e se inicia um processo que caminha rumo a ineficiência da bateria (C&D TECHNOLOGIES, 2012).

O volume de gases emitidos está relacionado também ao número de vasos que a bateria possui, a corrente em regime de flutuação, e capacidade a qual ela descarrega, bem como a forma como recarrega (MOURA, 2016).

A bateria do tipo VLRA, não pode ter seu eletrólito resposto como a ventilada, assim passará por um processo de perda irreversível com o fenômeno do *dry out* (KARASINSKI; DIAS, 2003; C&D TECHNOLOGIES, 2012).

Resumidamente, o que provoca a perda de vida útil da bateria precoce, não é o efeito de “secagem” em si, mas a consequência deste e sua intensificação. Através da secagem, há um aumento da concentração do eletrólito, intensificando o efeito de corrosão das grades positivas, fazendo com que a bateria se torne um circuito condutor de energia menos eficiente, e assim, perdendo energia e vida útil. A corrosão das grades é um processo natural a longo prazo, porém faz-se necessário ter a consciência da intensificação desse efeito, assim como o efeito de *dry out* (CHAGAS, 2007; C&D TECHNOLOGIES, 2012; UNICOPA, 2019).

3.4 CURVA DE CAPACIDADE

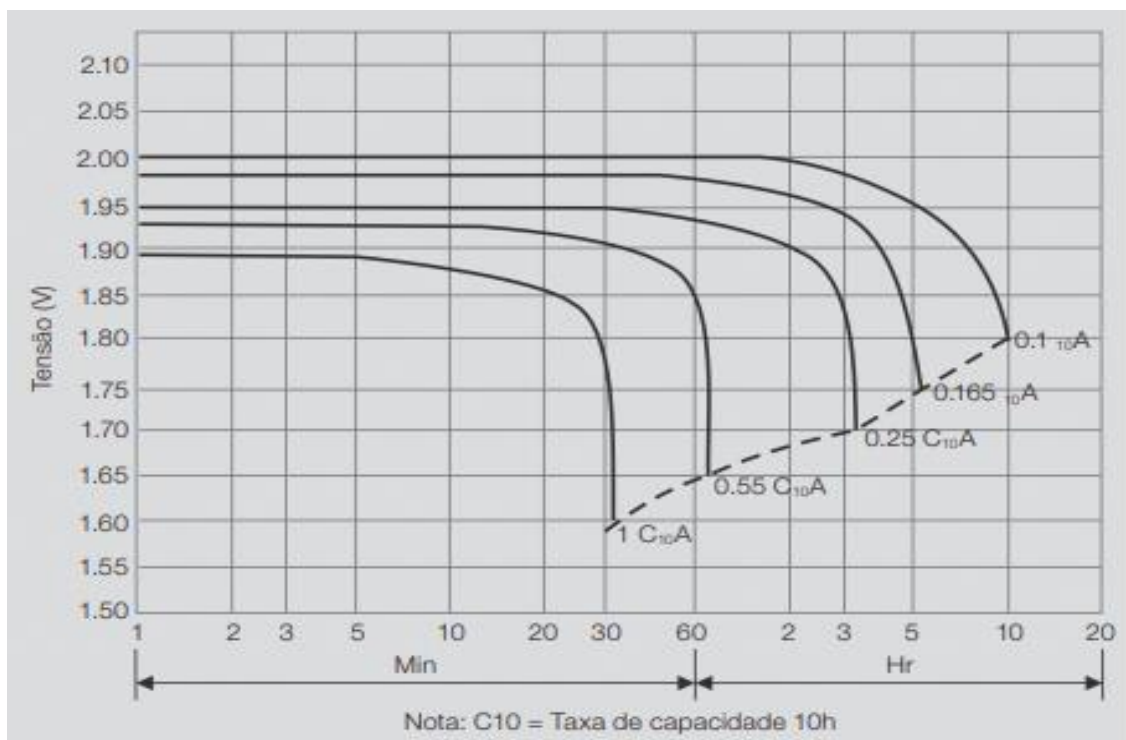
As curvas de capacidade de uma bateria descrevem sua descarga de acordo com a intensidade das correntes de descarga, seus níveis de correntes ou tensões, e o tempo de descarga. As curvas possuem seu perfil baseadas no tipo de bateria em questão, na capacidade, e em outros fatores que podem afetar a descarga como a concentração do eletrólito e a temperatura ambiente, bem como quantidade de ciclos que a bateria realizou. A curva de capacidade é uma forma de se estimar a vida útil da bateria, sendo obtido através da descarga controlada em um regime adotado, tem-se a capacidade real da bateria através do tempo que ela suporta o regimento de fornecimento de energia (LAZZARIN, 2016; WEG, 2018).

Conforme foi dito anteriormente, as curvas de capacidade não possuem uma necessariamente uma relação linear o aumento das correntes de descargas e a diminuição do tempo de descarga. É possível perceber que altas correntes de descargas, fazem com que as baterias se descarreguem em velocidades desproporcionalmente menores, conseqüentemente pode ser notado que com descargas mais profundas (que utilizam grande percentual da capacidade das baterias) ocorrem tensões finais de descarga menores (onde perdem parte de uma mesma capacidade estipulada), e o inverso também ocorre, com descargas com baixa profundidade, tensões finais maiores de descarga. As curvas de capacidade são um bom indicativo se as baterias cumprem a capacidade nominal, sendo usado como recurso comparativo de capacidades (WEG, 2018).

O valor final de descarga é o valor que caracteriza a descarga conforme foi visto anteriormente, esse valor é geralmente determinado pela norma NBR 16659:2017, onde o valor de tensão final de descarga é função da capacidade de descarga utilizada (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2017).

Pode-se observar pela Figura 8, tipos diferentes de descarga para uma bateria WEG, tipo VRLA, no catálogo da WEG, com diferentes tempos de descarga, teremos um tipo de curva característica e um tempo até atingir a tensão final de descarga.

Figura 8 – Curvas de Descarga



Fonte: WEG (2018).

Podemos observar na Figura 8 que o mesmo tipo de bateria apresenta, várias curvas de descarga de acordo com a corrente de descarga. A bateria foi submetida a diferentes correntes de descarga, variando de 10% a 100% de sua I_{10} , onde podemos observar tempos aproximadamente 30 minutos até 10 horas, respectivamente, sendo uma relação não perfeitamente linear.

A Equação (8) da Norma NBR 16659:2017, descreve a fórmula de capacidade (C) em função da corrente de descarga (I) e o tempo de descarga (t), relacionando as variáveis do ensaio de capacidade:

$$C = I \times t \quad (8)$$

Os fabricantes vendem as baterias com uma capacidade nominal, essa capacidade varia de acordo com o seu uso e seu tempo de vida útil nominal, a capacidade nominal normalmente é atendida até o período prometido pelo fabricante, o valor real de capacidade é o valor aferido em testes, e geralmente se encontra maior que o valor nominal devido ao fato dos fabricantes terem a preocupação de que o valor prometido seja atendido ao longo do ciclo de vida útil da bateria. Como poderá ser visto nos ensaios há uma diferença entre a capacidade nominal e a capacidade real. A capacidade real é a capacidade aferida em ensaios e a capacidade nominal é a capacidade garantida pelos fabricantes. É comum uma diferença de notação entre a capacidade nominal e a capacidade real nos regimes. Por exemplo para o regime de capacidade de 20 horas, com a notação de C_{20} para a capacidade nominal (notação de C_{r20}), denotando a capacidade aferida em ensaio, sendo esta a capacidade real (JOHNSON CONTROLS, 2008; ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2017; UNICOBA, 2019).

4 ENSAIOS, MATERIAIS E MÉTODOS

Nesse tópico são tratados os assuntos referentes aos ensaios que foram feitos para a análise dos parâmetros, será inicialmente explicado o objetivo do ensaio, como foi realizado o ensaio apresentando a metodologia, características do ensaio, e os resultados, mostrando a relação dos parâmetros.

4.1 ENSAIOS

O escopo dos ensaios é promover um levantamento e estudo de dados de ensaio, analisando a perda de vida útil sob o regime de flutuação, devido ao efeito de secagem da bateria, constatando sua perda de carga e correlacionar variáveis. Tem-se como escopo do trabalho o estudo do regime de flutuação relatando a alteração da resistência interna da bateria de chumbo ácido, bem como aferição da secagem, podendo ser aferida através da pesagem da bateria e intensidade da perda de carga, sendo quantificada pelos ensaios de descarga, e conseqüentemente a vida útil. Após a aferição dos dados, promover uma organização e correlacionamento das variáveis, chegando a uma conclusão e promovendo a análise do processo que a bateria sofreu e discussão de resultados. Os ensaios serão responsáveis por um estudo e relação da tensão de flutuação, capacidade perdida, resistência interna, e o efeito da “secagem” e suas conseqüências. Podemos resumir os ensaios de forma através dos seguintes tópicos:

- Ensaios de Descarga Inicial, para aferição de capacidade inicial;
- Ensaios das Baterias VRLA, em dois meses em regime de flutuação;
- Ensaio de Descarga Final, para determinar a perda de capacidade;
- Estudo de dados obtidos e conclusões.

4.2 MATERIAIS E MÉTODOS

A pesquisa foi realizada graças à colaboração de uma empresa de baterias automotivas, que está a mais de 18 anos no mercado, onde foi possível promover um ensaio com devido a sensibilidade adequada de equipamentos de aferição e qualidade asseguradas dos dados aferidos, bem como uso da norma ABNT NBR 16659:2017, lançada em dezembro de 2017, onde possui 14 páginas com requisitos

gerais, funcionalidades, e instruções para a elaboração dos ensaios para bateria VRLA de pequeno porte para realização deste estudo. (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2017).

As baterias ensaiadas são do tipo de válvulas regulável (VRLA), e com regimes de operação diferentes e capacidades, porém com quantidades iguais de vasos, 6 vasos, e dimensionadas na mesma caixa, sendo de tamanho igual. Apresentam tensão nominal de 12 V , 2 V a cada vaso. Devido aos aspectos construtivos, apesar de terem a mesma quantidade de vasos e estarem inseridas na mesma caixa, a capacidade para a primeira em C_{20} , de 7 Ah , e para a segunda em C_{20} de 9 Ah , suas diferenças estão nos aspectos construtivos a bateria de 7 Ah , possui 3 placas positivas e 4 placas negativas, e a bateria de 9 Ah , possui 4 placas positivas e 5 placas negativas.

Colocadas em tensões de flutuação de acordo com a especificação da norma para cada bateria, bem como uma corrente limite em relação a capacidade de descarga em I_{20} e temperatura controlada em $27\text{ }^{\circ}\text{C}$, com pequena margem de variação.

Como o objetivo do ensaio foca em estudar as variáveis aferidas, e relacioná-las, e devido a sensibilidade dos equipamentos do laboratório, foi possível realizar o ensaio em 2 meses, 1440 horas, sendo tempo suficiente para perceber a sensibilidade nesse processo do estágio em flutuação.

O número de placas positivas é menor, por estas serem mais grossas, como forma de proteção da corrosão, pois a tendência é que esta ocorra na placa positiva (ZANCONATO, 2015).

As baterias VRLA foram ensaiadas, tendo seus polos conectados no circuito carregador, de cada uma respectivamente. Nos circuitos 1 e 2 na bancada, com tensões controladas pelo carregador com microprocessador multi-função para teste, onde a tensão foi estabilizada em 13.8 V , a corrente limitada em 1.4 A e 1.8 A , respectivamente, conforme a formula presente na norma NBR 16659:2017 determina para o regime de trabalho de cada bateria.

Conforme descrito é possível observar a forma como as baterias foram conectadas na bancada na Figura 9.

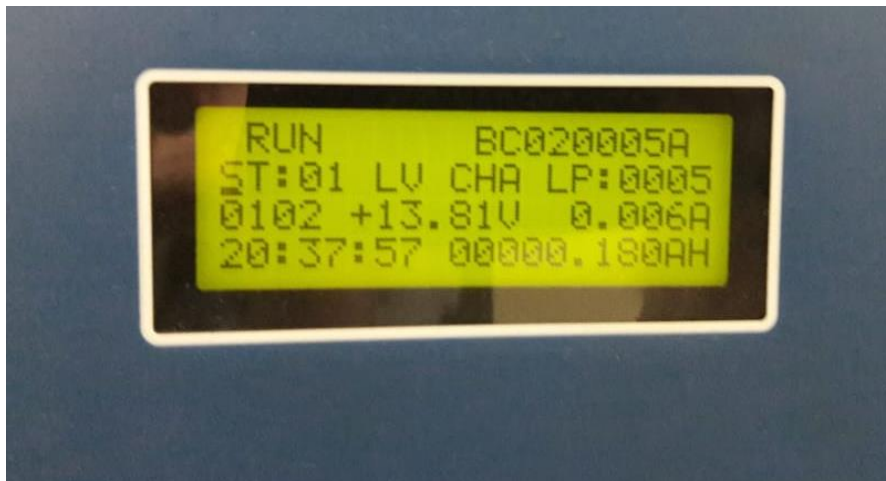
Figura 9 – Baterias de chumbo ácido do tipo VRLA conectadas a bancada



Fonte: Autoria Própria.

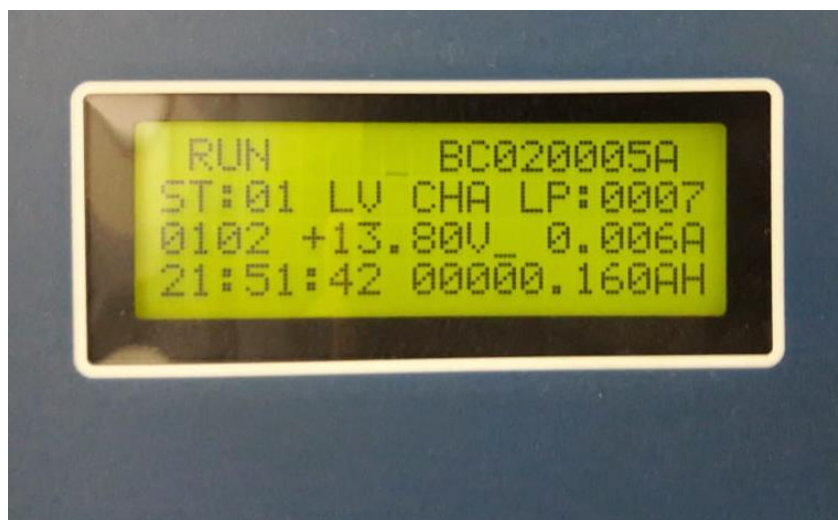
É possível observar o display do carregador controlado dos circuitos 1 e 2 nas Figuras 10 e 11 respectivamente.

Figura 10 – Display do circuito 1 do ensaio



Fonte: Autoria Própria.

Figura 11 – Display do circuito 2 do ensaio



Fonte: Autoria Própria.

Os carregadores microcontrolados multi-função de teste, são equipamentos capazes de realizar o controle dos níveis de carga e descarga, bem como manter as baterias em diversos tipos de regimes para a realização de simulações de sistemas reais, através do seu uso foi possível realizar os ensaios assegurando níveis de correntes e tensões conforme o necessário para realizar os ensaios e com geração de relatório de dados para análise. Os carregadores microcontrolados multi-função foram programados para operar com as baterias em um regime 60 dias, conforme pode ser visto na figura da programação do software mostrada nas Figuras 12 e 13, para a bateria de 7 Ah e de 9 Ah, através do seguintes programas, que determina uma repetição de 60 vezes o ciclo de 24 horas, totalizando 2 meses (1440 horas), mantendo as tensões constantes de 13,8 V e as correntes limite pré-determinadas, antes do início do ensaio. O regime de flutuação mantendo as tensões constantes nos mostrará a capacidade da bateria em preservar sua carga, sendo um meio de evitar a natural auto descarga, e as manterem carregadas, assim como índices de correntes de flutuação (responsáveis por compensar as correntes de auto-descarga), bem como a capacidade total fornecida as baterias para evitar que as mesmas se descarregassem. Semanalmente aferiu-se o peso das baterias na balança e a resistência interna com o ohmímetro, com a pausa do circuito, e após a aferição o ensaio foi retomado, através do comando no software do controlador, de forma a não afetar a qualidade dos resultados. Assim foi possível acompanhar semanalmente a diminuição do peso da bateria, e o aumento da resistência interna.

Figura 12 – Programação do ensaio do circuito 1

Program: c:\khsn\prog\Common\Flutuacao 12-7 em 2 Me:		Content:Program							
Group: 1		Data list							
DeviceNo.: 1-1	Step	Inst.	CH/DIS	Volt (V)	Cur...	Run Time	Collect...	StartStep	Cycle
Step: 1	<input type="checkbox"/> 1	LV	Charge	13.800	1.4	24:00:00	02:00:00		
Inst.: LV	<input type="checkbox"/> 2	REPEAT						1	59
CH/DIS: Charge	<input type="checkbox"/> 3	END							
Step Time: 21:43:52									
Run Time: 0189:43:52									
Volt(V): 13.800									
Cur.(A): 0.006									
Ah: 0.110									
DataCount: 111									
Status: Running									

Fonte: Autoria Própria.

Figura 13 – Programação do ensaio do circuito 2

Program: c:\khsn\prog\Common\Flutuacao 12-9 em 2 Me:		Content:Program							
Group: 1		Data list							
DeviceNo.: 1-2	Step	Inst.	CH/DIS	Volt (V)	Cur...	Run Time	Collect...	StartStep	Cycle
Step: 1	<input type="checkbox"/> 1	LV	Charge	13.800	1.8	24:00:00	02:00:00		
Inst.: LV	<input type="checkbox"/> 2	REPEAT						1	59
CH/DIS: Charge	<input type="checkbox"/> 3	END							
Step Time: 21:47:24									
Run Time: 0189:47:24									
Volt(V): 13.800									
Cur.(A): 0.006									
Ah: 0.159									
DataCount: 111									
Status: Running									

Fonte: Autoria Própria.

Os equipamentos responsáveis pela aquisição desses dados possuem precisão de 1 grama, e resistência interna de precisão de 1 $m\Omega$ são mostrados nas Figuras 14 e 15, respectivamente.

Figura 14 – Balança de precisão



Fonte: Autoria Própria.

Figura 15 – Ohmímetro



Fonte: Autoria Própria.

No Ohmímetro, a cada medição iria foi calibrado para desconsiderar a própria resistência do equipamento, garantindo dados mais precisos. A temperatura foi controlada e mantida constante em aproximadamente 27 °C ao longo do ensaio, não influenciando os resultados do ensaio, como é possível observar na Figura 16.

Figura 16 – Display de Temperatura



Fonte: Autoria Própria.

As perdas com a tensão de flutuação podem ser detectadas sutilmente devido apenas aos equipamentos de alta precisão e ao longo do processo podem ocorrer de forma tênue e perceptível ao final. Em uma situação real, onde a operação fosse em UPS, as perdas apresentadas aqui, a curto-prazo, não seriam notadas, porém surtiriam efeitos significativos posteriormente pelo fato de não haver as condições controladas, indicando apenas uma disposição a longo prazo para apresentar as perdas de forma mais intensificada em condições corretas de uso, pois à medida que as perdas por secagem vão ocorrendo, o fenômeno se intensifica pela descrição dada anteriormente, devido à concentração do eletrólito se tornar mais alta, e isso afeta de forma cada vez mais significativa as células e grades da bateria e o potencial químico da bateria (CHAGAS, 2007).

Assim, foi possível submeter a bateria a um ensaio muito próximo de uma situação real, porém com as classes de tensão e correntes controladas, conforme determina a norma, onde as baterias se encontrariam em modo *Stand-By*, aguardando a atuação, com uma alta qualidade e boa sensibilidade e precisão para a obtenção dos dados, para posteriormente análise de resultados.

Outro ensaio para obtenção de um índice da perda de carga foi a curva de capacidade das baterias, realizado antes e depois do regime de flutuação, como o ensaio da curva de capacidade, onde a bateria foi mantida em uma descarga constante para um regime de C_{20} , ou seja, as baterias foram mantidas a uma corrente constante de I_{20} .

O ensaio é caracterizado por manter as baterias descarregando de forma controlada a corrente constante e com o ensaio é possível verificar por quanto tempo a bateria consegue fornecer uma corrente constante de acordo com sua capacidade, assim espera-se que a bateria cumpra um ciclo de 20 horas ou mais, de acordo com sua capacidade nominal. A norma NBR 16659:2017 determina que o ensaio comece com as baterias sendo carregadas à plena carga, onde atingem tensões de aproximadamente 13,77 V no começo do processo de descarga, colocando os valores de tensão final de descarga como critério de parada, usa-se a corrente de I_{20} para o regime de C_{20} , onde foi possível descobrir os valores reais de capacidade (C_{r20}). Nesses ensaios de descarga, os dados foram computados de meia em meia hora, até as baterias atingirem o valor final de descarga (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2017).

Resumindo, as baterias passaram por 2 ensaios rápidos, onde foram conectadas no circuito do controlador e programadas para descarregarem com correntes constantes, durante o período que conseguissem fornecer a corrente requisitada até atingirem o valor final de descarga de 10,5 V, onde esperou-se um período próximo a 20 horas ou mais, conforme estipula a norma, e conforme o regime C_{20} caracteriza. As baterias antes e depois do ensaio de flutuação, onde neste a bateria foi colocada em regime de flutuação por 1440 horas.

As curvas dos gráficos resultantes dos dados adquiridos foram geradas no Excel através dos relatórios gerados pelo software do carregador controlador, de acordo com os valores de tensão e correntes aferidos em tempo real. O software do controlador gera um banco de dados importados no Excel, considerando os dados relevantes para o trabalho, organizados para gerar os gráficos dos resultados. Através desses dados é possível acompanhar como os ensaios decorreram de acordo com a programação dos mesmos para aferição de dados, aferidos de meia em meia hora para os ensaios de capacidade e de duas em duas horas para o ensaio de flutuação (mais longo e com uma amostragem maior), ocorrendo da mesma forma para os gráficos de descarga, porém com programação diferente, de forma a contemplar as especificações.

5 RESULTADOS

Nesse tópico serão mostrados e levantados os dados e realizadas análises de acordo com os ensaios focando os resultados separadamente, e por fim considerando os resultados em conjunto. Esse tópico será dividido em três partes, as quais tratam dos resultados dos ensaios em sequência: o ensaio de descarga antes do regime de flutuação, o regime de flutuação ao qual a bateria foi submetida por 1440 horas, e por último o ensaio de descarga após a submissão da bateria ao regime de flutuação.

A qualidade das baterias quanto ao combate do efeito do *dry out*, como foi visto anteriormente, está relacionando com sua capacidade de recombinação dos gases, relaciona valores de intensidade de tensões e correntes aplicadas, bem como os valores de temperatura e concentração do eletrólito. No presente trabalho há o foco do estudo da flutuação em uma situação específica, ressaltando que há inúmeras possibilidades de ensaio e condições. Neste ensaio foi adotada a temperatura constante para os dois tipos de bateria, não abrangendo questões à quanto a variação desse efeito em situações com diferentes temperaturas. Promover um diagnóstico sobre o que aconteceu com a bateria após os ensaios, indicando valores de peso, resistência interna, bem como mostrando as curvas de descarga e tratando a concentração do eletrólito pela sua relação com a resistência interna, conforme visto anteriormente relacionando o contexto do estudo teórico abordado.

O ensaio de flutuação foi realizado com a bateria apenas 2 meses no regime de flutuação e a diferença de capacidade pode ser vista graças à precisão dos equipamentos utilizados e aos ensaios de descarga. As baterias tem garantia de 2 anos, apresentando alta qualidade, presumindo que nesse intervalo de tempo não seja notada a diferença de perda de carga, porém, devido à aquisição de dados foi possível notar a diferença dos parâmetros, mesmo que sutilmente, sendo útil para o estudo de baterias estacionárias, onde as perdas são identificadas na sua origem, e aos ensaios de capacidade com respaldo de equipamentos precisos e confiáveis.

Salienta-se que os ensaios foram realizados com vistas ao contexto da UPS, conforme especificado anteriormente, para baterias do tipo estacionária.

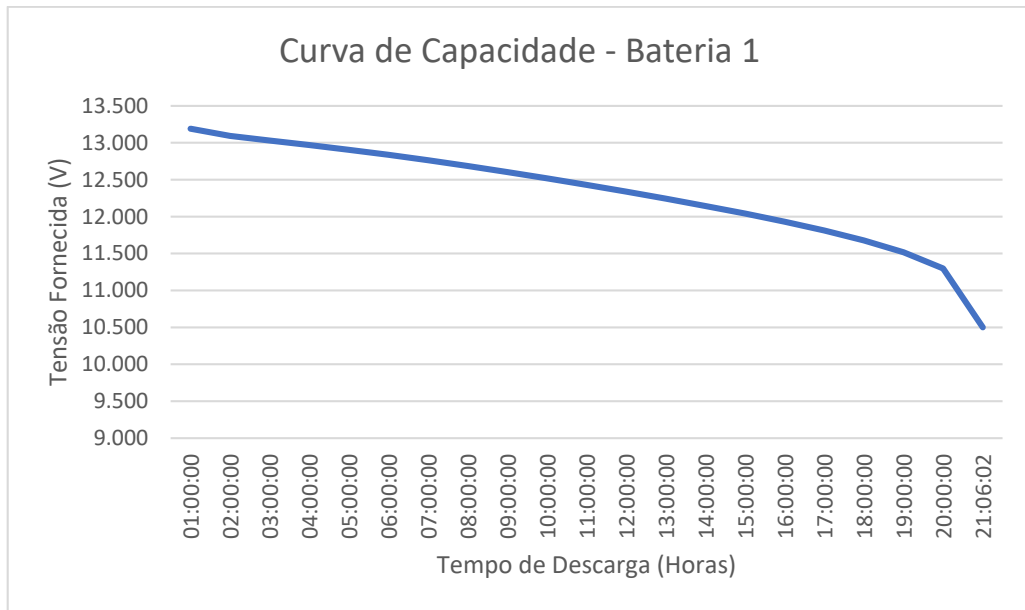
5.1 CURVA DE CAPACIDADE INICIAL DAS BATERIAS

Para a primeira bateria, tratada como Bateria 1, em C_{20} , com capacidade de 7 Ah , a corrente de I_{20} , foi de $0,349 \text{ A}$, aguardando-se a capacidade nominal em 20 horas de 7 Ah . Para a segunda bateria, denominada Bateria 2, em C_{20} com capacidade 9 Ah , a corrente de I_{20} , foi de $0,450 \text{ A}$, estimando a capacidade nominal em 20 horas de 9 Ah . Ambos os testes de curva de capacidade foram interrompidos na tensão de $10,5 \text{ V}$, de acordo com a quantidade de 6 vasos da bateria conforme a norma, bem como a condição inicial de aproximadamente $13,77 \text{ V}$, após terem passado pelo processo de carregamento a plena carga. A Bateria 1 iniciou o ensaio de capacidade pesando $2,278 \text{ Kg}$ com resistência interna de $18,8 \text{ m}\Omega$, e a Bateria 2 iniciou o ensaio pesando $2,723 \text{ Kg}$ com resistência interna de $12,1 \text{ m}\Omega$.

Com a descarga constante, esperava-se que as baterias atingissem o menos ao tempo de descarga de 20 horas, atendendo a capacidade nominal. Como pode ser observado nos dados, as baterias conseguiram atender essa descarga por uma duração de aproximadamente 21 horas e 6 minutos para a Bateria 1, e 21 horas e 10 minutos para a Bateria 2, obtendo pouco mais de 1 hora como fator de serviço, aferindo a qualidade das baterias.

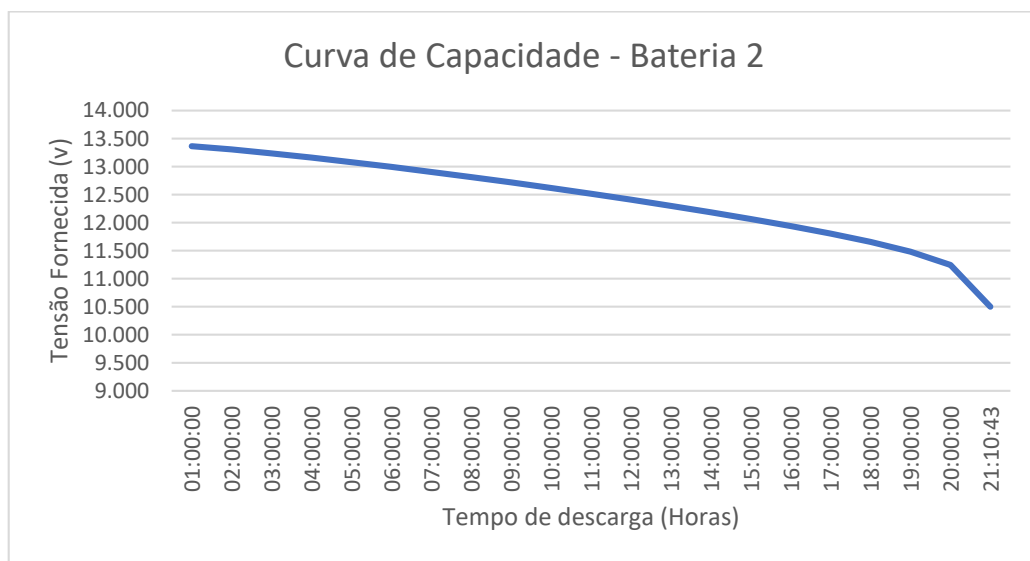
Os seguintes gráficos foram gerados para a Bateria 1 e Bateria 2, antes do regime de flutuação até sua tensão dos polos serem reduzidas em um percentual de 20% menor que do valor inicial finalizando a $10,5 \text{ V}$, descarregadas a corrente constante. O Gráfico 1 e o Gráfico 2, podem ser observadas, as curvas de capacidade das Baterias, na descarga em função do tempo.

Gráfico 1- Curva de Capacidade Bateria 1



Fonte: Autoria Própria.

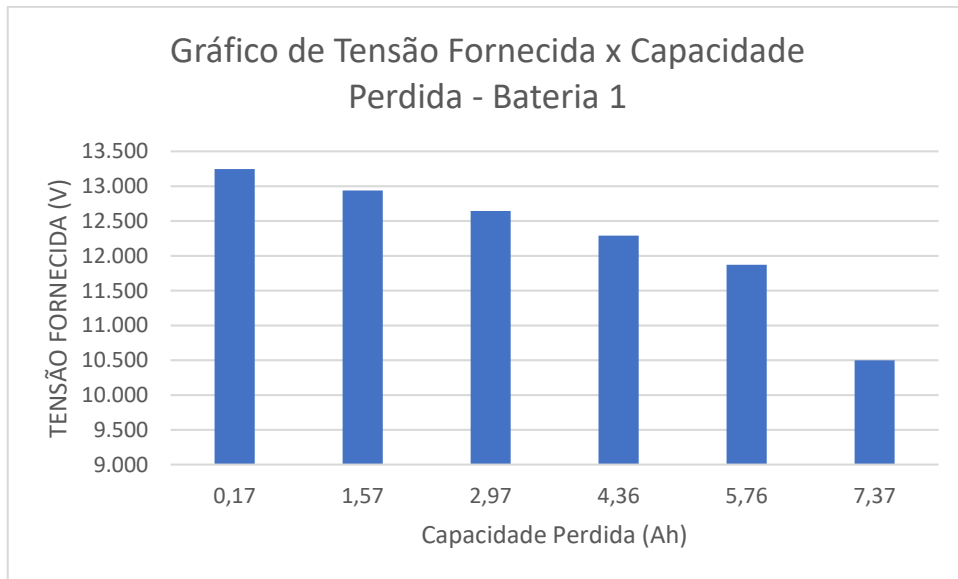
Gráfico 2- Curva de Capacidade Bateria 2



Fonte: Autoria Própria.

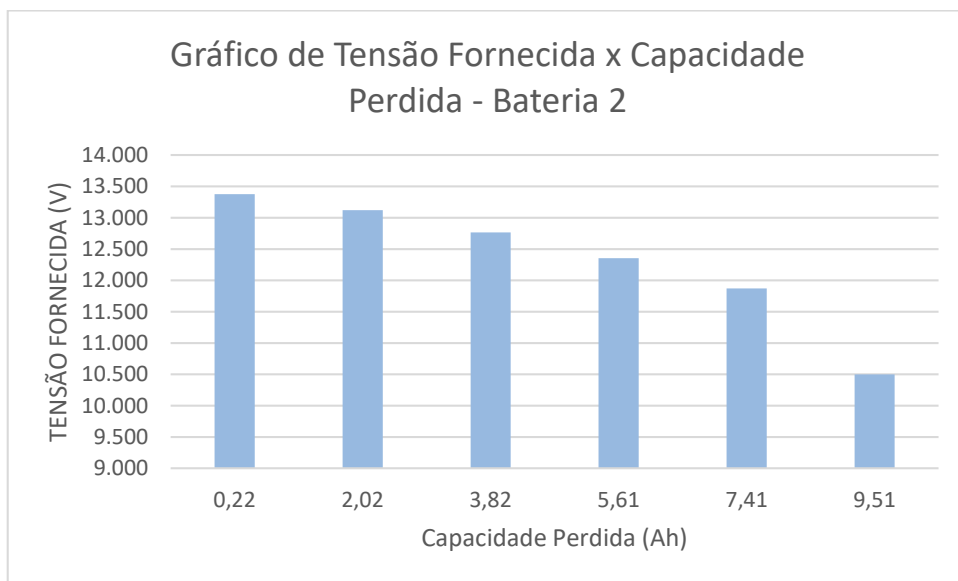
Os Gráficos 1 e 2 apresentam as curvas de capacidade, características na fase de descarga, onde é possível observar uma queda acentuada da tensão terminal de 13,77 V, para o primeiro ponto presente no gráfico, de aproximadamente 13,19 V, para a Bateria 1, e 13,37 V para a Bateria 2, computados no período de 1 hora de ensaio. Essa queda pode ser notada de maneira mais acentuada devido ao fato da dificuldade da bateria manter a tensão acima de seu valor nominal de 12 V. Os Gráficos 3 e 4 notabilizam a capacidade perdida em função da tensão fornecida pelas baterias, mostrando a relação entre elas.

Gráfico 3 - Tensão Fornecida X Capacidade Perdida - Bateria 1



Fonte: Autoria Própria.

Gráfico 4 - Tensão Fornecida X Capacidade Perdida - Bateria 1

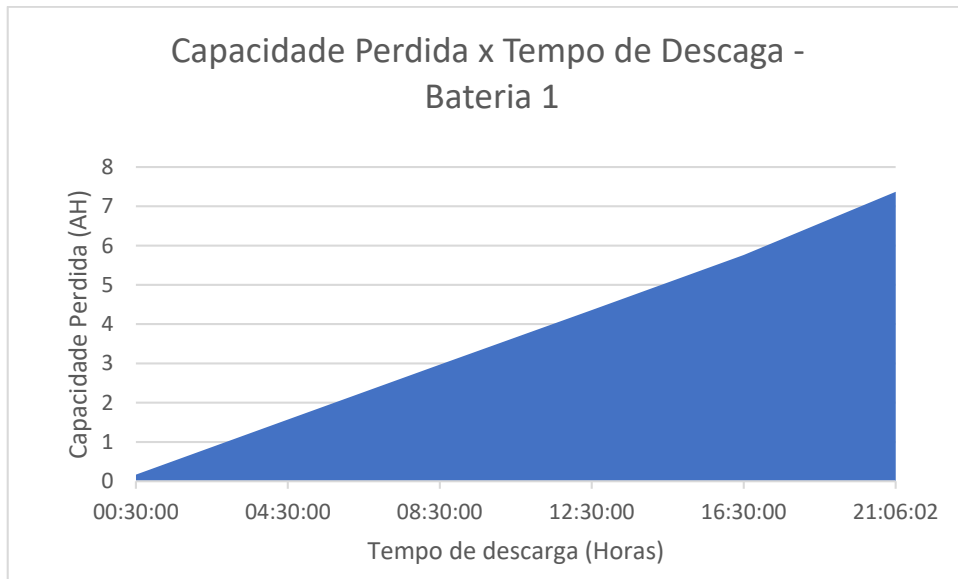


Fonte: Autoria Própria.

Os Gráficos 3 e 4 apresentam as perdas de capacidade total sendo possível observar pela diminuição da tensão terminal fornecida pelas baterias, e os valores finais acima da capacidade nominal das mesmas, isso salientando o problema para que os índices nominais de 7 Ah para a Bateria 1, e 9 Ah para a Bateria 2 tenham uma sobra de 0,37 Ah e 0,51 Ah, respectivamente, assegurando a condição de capacidade informada pelo fabricante.

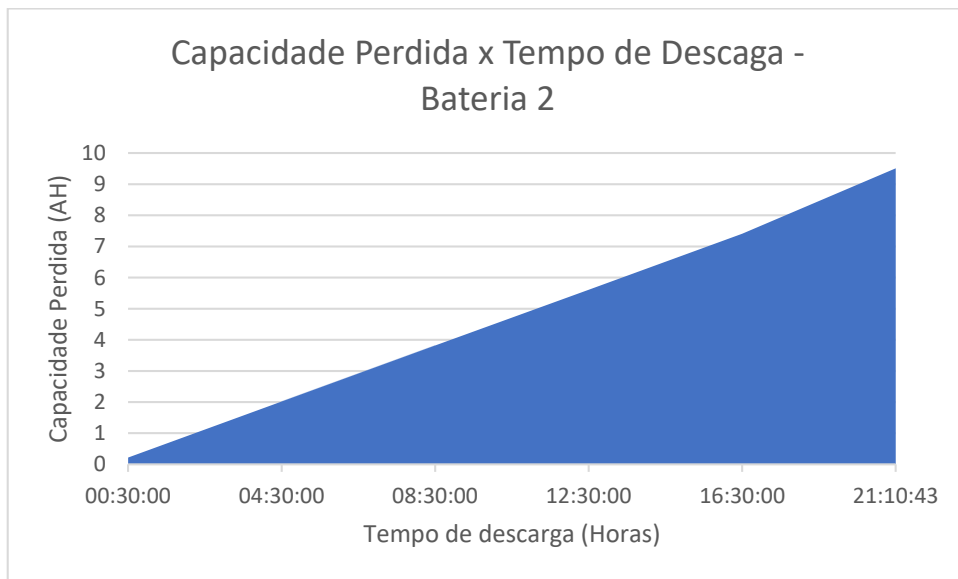
Os Gráficos 5 e 6 exibem o do tempo em que a capacidade foi perdida.

Gráfico 5 - Capacidade perdida x Tempo de Descarga Bateria 1



Fonte: Autoria Própria.

Gráfico 6 - Capacidade perdida x Tempo de Descarga Bateria 2



Fonte: Autoria Própria.

Os Gráficos 5 e 6 exibem o fato de que ao longo da descarga a capacidade foi perdida de forma aproximadamente linear durante a descarga, com exceção do trecho final, a partir de aproximadamente 11,32 V e 11,25 V para a Bateria 1 e Bateria 2, respectivamente, onde a curva passa a ficar mais acentuada, tendendo ao seu esgotamento máximo de forma mais rápida. Assim, uma descarga controlada das baterias para aferições, e realizada da maneira correta, com sua profundidade de descarga de aproximadamente 100 % porém em condições pela norma NBR 16659:2017, onde quase toda a energia das baterias foram descarregadas, e se o

ensaio prosseguisse em pouco tempo atingiria valores baixos de tensão terminal, se aproximando rapidamente a zero, como é possível notar pelos Gráficos 1 e 2.

O critério de pausa do ensaio de capacidade, bem como sua carga inicial determinados pela norma é uma forma segura e confiável de se estipular a capacidade com um valores reais onde obtém-se seu rendimento em quase a total carga, e ao mesmo tempo com um critério de parada que visa proteger a bateria para não intensificar a sulfatação e corrosão.

As baterias foram recarregadas, após o ensaio, na forma de recarga rápida com correntes de 1,05 A para a Bateria 1 e 1,349 A para a Bateria 2, e após alguns dias em regime de flutuação, por apresentarem valores não consideráveis de auto descarga após a recarga a qual foram submetidas. Esses dias não afetam de forma significativa a aferição da capacidade posteriormente ao ensaio de flutuação. Há ocorrência do efeito *dry out* nesse período, pois a bateria se encontra em um regime atípico (aferição de capacidade com uma recarga intensa). Na prática raramente ocorre uma descarga intensa, e os dias sem ensaio não afetaram a precisão dos resultados, apresentam um curto espaço de tempo em relação ao tempo que a bateria ficou em regime de flutuação em um ambiente controlado de temperatura a aproximadamente 27 °C.

5.2 REGIME DE FLUTUAÇÃO

Após a pausa, as baterias foram colocadas no ensaio de flutuação. É possível notar que anteriormente os pesos variaram em relação ao início do ensaio de capacidade inicial, indicando a ocorrência da secagem durante o ensaio de descarga inicial, onde a Bateria 1 passou de 2,278 Kg para 2,270Kg, e a Bateria 2 de 2,723 Kg para 2,711 Kg. Essa perda de peso ocorreu por não estarem em regime de flutuação e terem sofrido uma recarga rápida, onde a tensão fica em aberto e são recarregadas com correntes constantes de acordo com o número de vasos, para a Bateria 1 a 1,05 A e para a Bateria 2 a 1,349 A , a profundidade atípica de descarga para a realização após o teste de descarga, até atingirem a plena carga, segundo a norma. O *dry out* ocorre de forma intensificada com a recarga rápida, pela maior temperatura devido à corrente de recarga, os gases da reação são gerados a uma velocidade maior, gerando a dificuldade de recombinação dos gases nessas condições de recarga profunda rápida em relação ao regime de flutuação, alterando

também as resistências internas das baterias, onde a Bateria 1 possuía $18,8\text{ m}\Omega$, passa $19,9\text{ m}\Omega$ na Bateria 2 de $12,1\text{ m}\Omega$ para $13,7\text{ m}\Omega$. A Bateria 2, que apresenta maior capacidade e regime mais intenso, possui uma resistência interna menor em comparação à Bateria 1 de menor capacidade.

As baterias apresentam uma perda considerável de peso entre o primeiro ensaio e o começo do ensaio de flutuação por sofrerem uma recarga rápida de quase 100% da capacidade, onde quase toda a sua capacidade foi esgotada ao final do processo. Essa recarga é prejudicial à bateria se ocorrem de forma frequente, encurtando a vida útil da bateria (figura 7), provocando um efeito intenso do *dry out* de forma contínua, porém como o ensaio de descarga foi executado apenas uma vez explica-se a diferença entre os pesos da bateria no início do ensaio de descarga e o ensaio de tensão de flutuação, e a ocorrência do efeito de secagem e perda de peso da baterias.

O ensaio de força a bateria à sua capacidade total durante o regime de C_{20} , apesar da descarga ter profundidade máxima e recarga rápida profunda, o que não é recomendado portanto, esse ensaio foi realizado uma vez e aplicado através de um critério de parada cuidadoso para a bateria a plena carga.

Durante os dias em que as baterias ficaram paradas entre o ensaio inicial de capacidade e o ensaio de flutuação, a temperatura foi mantida a $27\text{ }^\circ\text{C}$, e a auto-descarga foi mínima para essas condições (figura 6) onde sendo desprezível, recarregada logo em seguida ao ensaio de capacidade. A auto-descarga antes do regime de flutuação não afeta os resultados, como pode ser visto na figura 6 da bateria da UNIPOWER, esse regime possui a capacidade de promover a pequena recarga remanescente da bateria em um breve intervalo de tempo (se necessário).

Durante o ensaio de flutuação e com o seguimento apropriado da norma, esperou-se que a recombinação dos gases fosse precisa e o efeito *dry out* que ocorresse de forma branda, muito menos intensa que o visto antes no ensaio de capacidade, e a perda de capacidade fosse baixa, podendo ser notada graças a alta precisão dos equipamentos de medidas.

Durante o regime de flutuação, espera-se um quadro diferente ao anterior onde a perda de peso e o aumento da resistência interna seja o menor possível, de forma a evitar a intensificação do fenômeno do *dry out*, e seus efeitos de concentração do eletrólito e corrosão, provocando mesmo regime uma tentativa de evitar a perda natural de capacidade (CHAGAS, 2007; UNICOPA, 2019).

As Tabelas 1 e 2 mostram os resultados obtidos em regime de flutuação da Bateria 1 e da Bateria 2, respectivamente, com base nos dados foram aferidos semanalmente.

Tabela 1 - Dados do Ensaio de Flutuação Bateria 1

<i>Data dos dados</i>	<i>Resistência Interna ($m\Omega$)</i>	<i>Peso (Kg)</i>
19/mar	19,9	2,270
26/mar	21	2,269
02/abr	21,7	2,269
09/abr	21,9	2,269
16/abr	22	2,269
23/abr	22,1	2,268
30/abr	22,2	2,268
07/maio	22,4	2,268
14/maio	22,7	2,268
21/maio	23	2,268

Fonte: Autoria Própria.

Para a Bateria 1 foi possível notar um aumento constante da resistência interna, indicando um circuito menos eficiente para a produção de corrente em relação a condição inicial do ensaio, onde a uma variação de 19,9 $m\Omega$ para 23 $m\Omega$, ao final do regime do flutuação, constatando assim uma variação de 3,1 $m\Omega$, representando um aumento de aproximadamente 15,57 % na resistência ao longo do ensaio.

Tabela 2 - Dados do Ensaio de Flutuação Bateria 2

<i>Data dos dados</i>	<i>Resistência Interna ($m\Omega$)</i>	<i>Peso (Kg)</i>
19/mar	13,7	2,711
26/mar	14,6	2,711
02/abr	14,8	2,710
09/abr	14,9	2,710
16/abr	14,9	2,710
23/abr	15,1	2,709
30/abr	15,2	2,709
07/maio	15,5	2,709
14/maio	15,6	2,709
21/maio	15,8	2,709

Fonte: Autoria Própria.

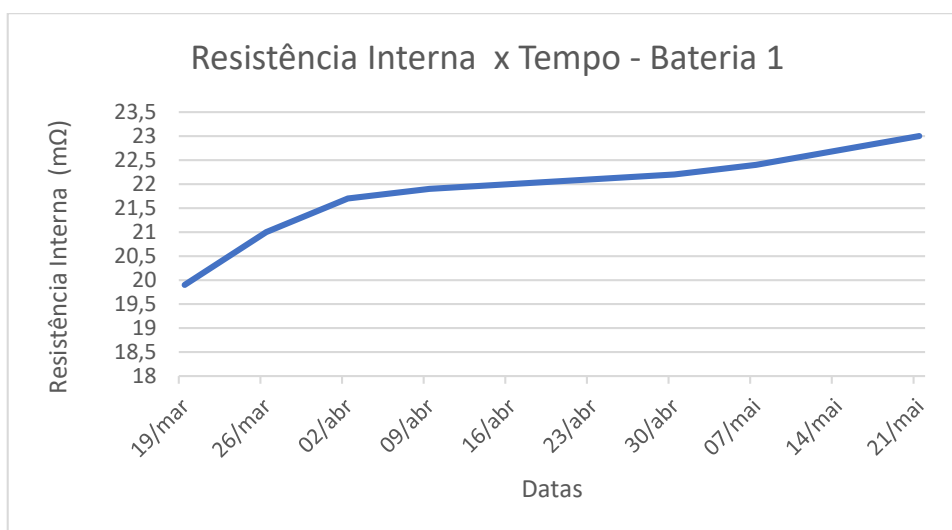
Para a Bateria 2 foi possível notar um aumento constante da resistência interna, indicando um circuito menos eficiente para a produção de corrente em relação ao começo do ensaio, onde há uma variação de 13,7 $m\Omega$ para 15,8 $m\Omega$, ao final do regime do flutuação, constatando assim uma variação de 2,1 $m\Omega$, representando um aumento de aproximadamente 15,33 % na resistência ao longo do ensaio.

Outro parâmetro constatado foi o peso da bateria durante o regime de flutuação, durante os 2 meses de ensaio, as baterias sofreram um decréscimo de 2 gramas, essa leve perda de peso pode ser atribuída aos gases liberados pela bateria, consequência do efeito *dry out* ocorrendo de maneira branda, porém perceptível, mesmo devido ao curto tempo de ensaio realizado.

Apesar das Baterias 1 e 2 possuírem diferentes regimes de trabalho, de 7 Ah e 9 Ah, o comportamento da resistência interna foi similar, apresentando uma porcentagem de aumento de resistência, e uma perda de peso igual próximas proporcionalmente. Esse comportamento é esperado pelo fato das baterias possuírem o mesmo material ativo, serem do tipo chumbo-ácido, bem como pelo fato da diferença de capacidade não ser muito significativa.

A seguir é possível observar o gráfico de aumento da resistência interna ao longo do ensaio, através dos Gráficos 7 e 8, de acordo com as datas de levantamento de dados.

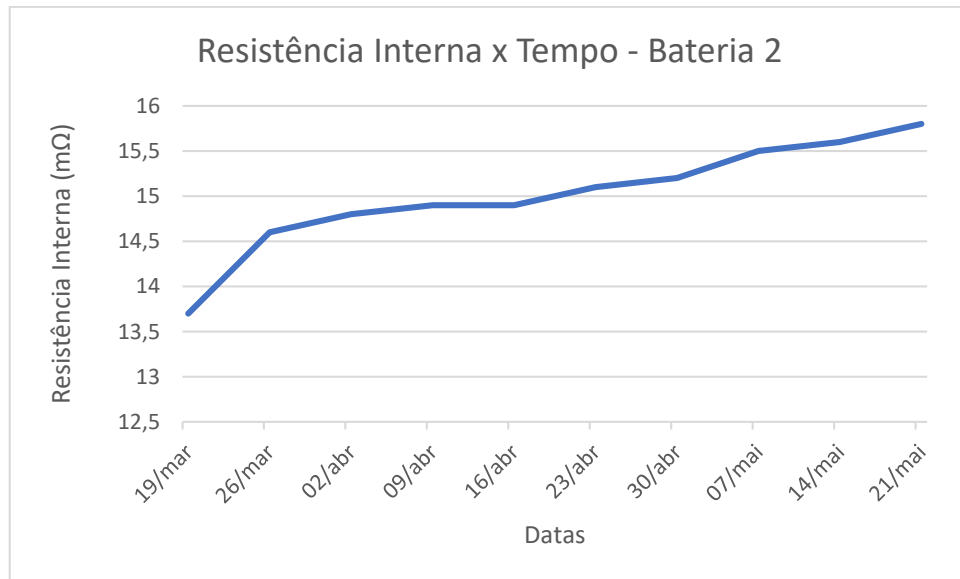
Gráfico 7 – Resistência Interna x Tempo – Bateria 1



Fonte: Autoria Própria.

A Bateria 1 possui inicialmente um aumento de resistência interna linear, posteriormente passa a ter um momento intermediário onde o aumento se torna mais tênue, e volta a ter um comportamento de aumento linear conforme o inicial.

Gráfico 8 - Resistência Interna x Tempo – Bateria 2

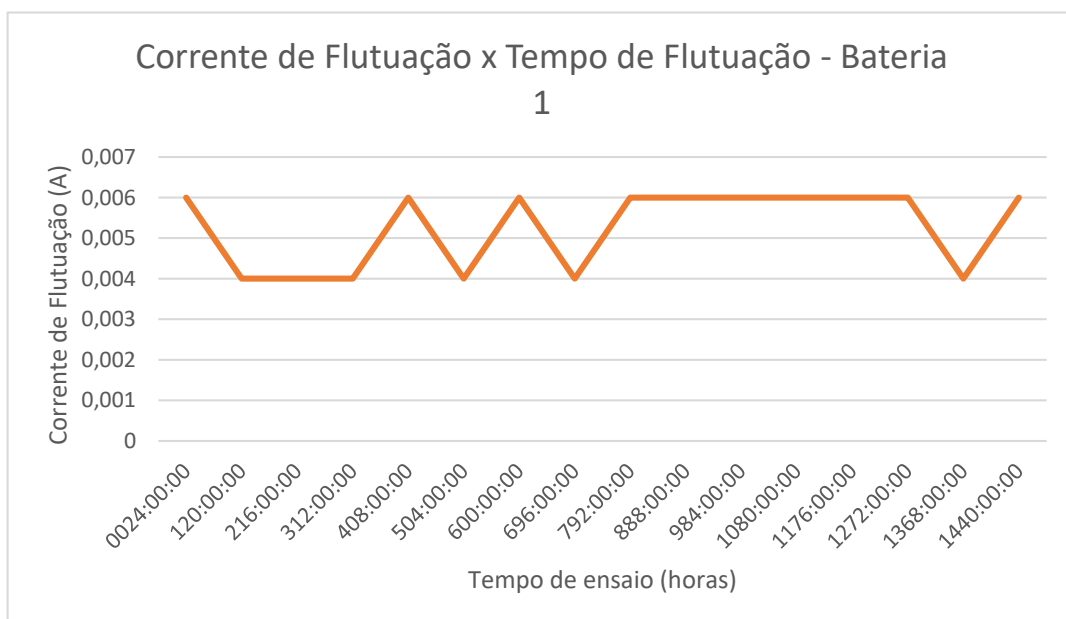


Fonte: Autoria Própria.

A Bateria 2 apresenta uma curva característica que se aproxima de um perfil linear, onde tem um primeiro instante de maior aumento da resistência interna, e passa a ter um aumento aproximadamente constante ao longo do ensaio.

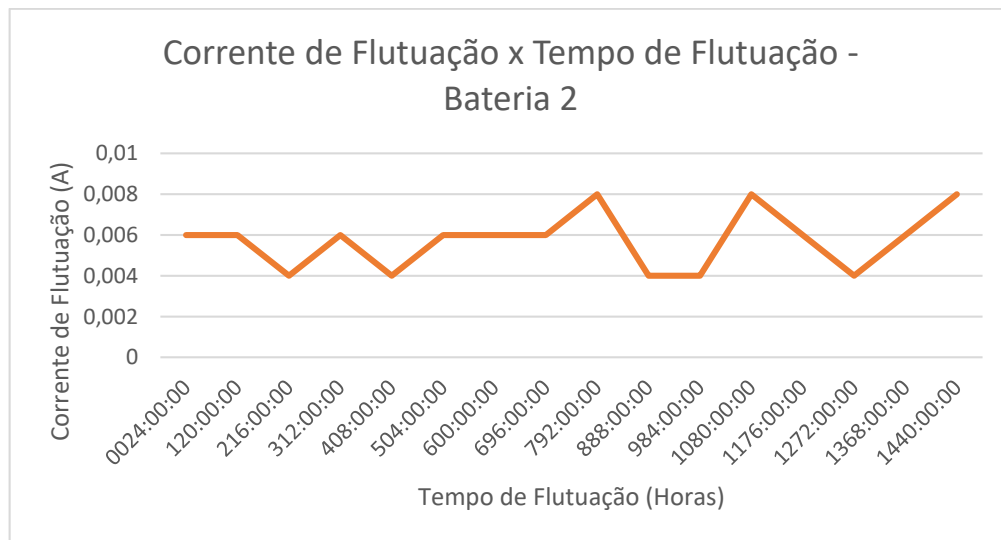
Com os relatórios da ensaio de flutuação foi possível obter os Gráficos 9 e 10, mostrando que a bateria possui baixa corrente de flutuação, entre 4 mA e 6 mA para a Bateria 1, e 4 mA e 8 mA para a Bateria 2. Indicando a capacidade das baterias em manterem suas cargas, já que as correntes necessárias para manterem a bateria a uma tensão de $13,8\text{ V}$ constante são baixas (UNICOPA, 2019).

Gráfico 9 – Corrente de Flutuação x Tempo de Flutuação – Bateria 1



Fonte: Autoria Própria.

Gráfico 10 – Corrente de Flutuação x Tempo de Flutuação – Bateria 2

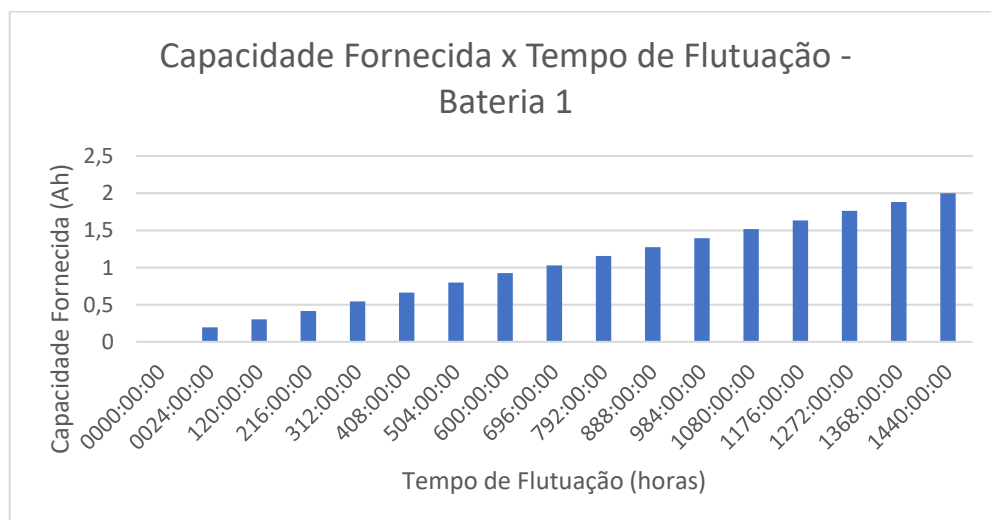


Fonte: Autoria Própria.

É importante para nossa análise, perceber que ao longo do processo de flutuação as baterias mantiveram os índices de correntes de flutuação com um baixo intervalo de variação. Possivelmente, caso o ensaio apresentasse um tempo maior de duração, os índices de corrente de flutuação poderiam aumentar, devido à intensificação do efeito *dry out*, sendo mais percebido a longo prazo, mas para este trabalho, foi suficiente para mostrar os índices das baterias e os efeitos deste através dos ensaios de descarga.

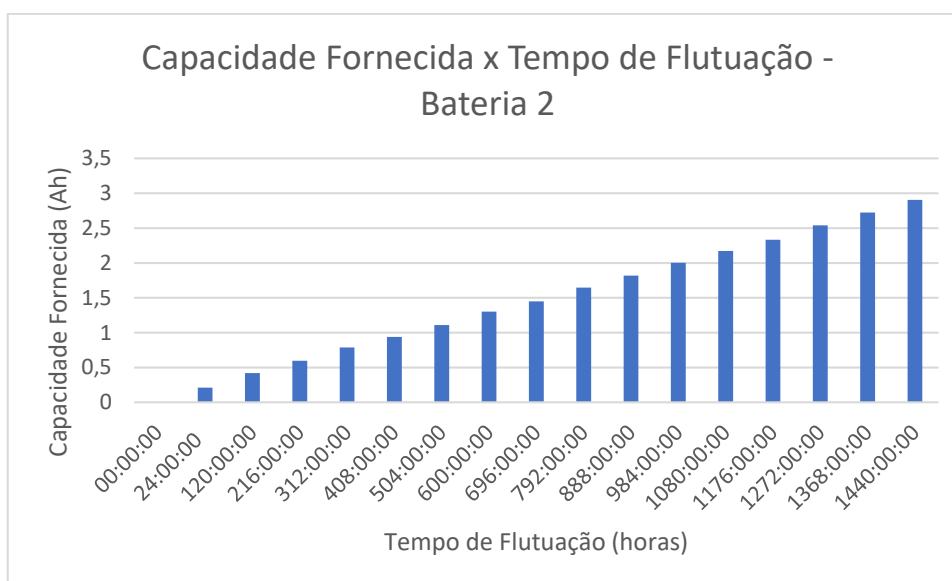
Outro aspecto analisado no ensaio de flutuação foi a capacidade às baterias para que essas não descarreguem, através dos Gráficos 11 e 12.

Gráfico 11 – Capacidade Fornecida x Tempo de Flutuação – Bateria 1



Fonte: Autoria Própria.

Gráfico 12 – Capacidade Fornecida x Tempo de Flutuação – Bateria 2



Fonte: Autoria Própria.

É possível observar um perfil linear, ou seja, durante ao longo de todo o ensaio a dificuldade em manter a carga na bateria foi aproximadamente a mesma, para a Bateria 1 foi necessário fornecer 2 Ah ao longo de dois meses, e para a Bateria 2 necessários aproximadamente 2,9 Ah. Esses valores mostram como está a qualidade da bateria como acumulador energético, onde a Bateria 2 possui uma tendência maior a não manter a carga como a Bateria 1, pois o carregador necessitou fornecer correntes de flutuação maiores, para essa manter a tensão constante esperada de 13,8 V.

Com os dados anteriores é possível notar que a perda de peso e o aumento da resistência interna ocorrem, porém de forma mais sutil e menos acelerada em relação ao ensaio de descarga inicial, inferindo que a corrosão passe a acontecer de forma mais lenta, tornando maior a vida útil e menor a perda de capacidade. Porém, a longo prazo, essa tendência de corrosão continua ocorrendo mesmo que de forma lenta.

Com o ensaio de capacidade de uma descarga e posteriormente recarga de quase 100% da capacidade das baterias e poucos dias, foi possível mensurar uma perda de peso de 8 g para a Bateria 1 e de 14 g para a Bateria 2. Durante o regime da flutuação essa perda de peso das Baterias 1 e 2 foram de apenas 2 gramas.

Comparando o aumento da resistência interna sofrida na Bateria 1, durante o ensaio de descarga inicial, podemos notar uma mudança de 18,8 mΩ para 19,9 mΩ, um aumento de 1,1 mΩ; e para Bateria 2 uma mudança de 12,1 mΩ para 13,7 mΩ, um

aumento de $1,6 \text{ m}\Omega$. Com isso é possível notar que a descarga profunda, apesar de ter sido realizada apenas uma vez, afeta a bateria de forma a se comparar com um longo tempo no regime de flutuação, porém diferentemente do aumento constatado em flutuação, é preciso ter cuidado para que esse aumento de resistência interna não seja enganoso, tendo em vista que as baterias precisam ser aferidas nas mesmas condições de carga conforme foi feito no regime de flutuação, pois a alteração do eletrólito na condição de descarga provoca uma mudança temporária na resistência.

A Tabela 3 e 4, demonstram as variações, nelas estão os dados que as baterias tinham antes dos ensaios.

Tabela 3 – Variação Bateria 1

<i>Bateria 1</i>	<i>Resistência Interna ($\text{m}\Omega$)</i>	<i>Peso (Kg)</i>
<i>Ensaio de Capacidade Inicial</i>	18,8	2,278
<i>Regime de Flutuação</i>	19,9	2,270
<i>Ensaio de Capacidade Final</i>	23	2,268

Fonte: Autoria Própria.

Tabela 4 – Variação Bateria 2

<i>Bateria 2</i>	<i>Resistência Interna ($\text{m}\Omega$)</i>	<i>Peso (Kg)</i>
<i>Ensaio de Capacidade Inicial</i>	12,1	2,723
<i>Regime de Flutuação</i>	13,7	2,711
<i>Ensaio de Capacidade Final</i>	15,8	2,709

Fonte: Autoria Própria.

Como pode ser observado na Tabela 3 e 4 a Bateria 1, tem uma variação de resistência $1,1 \text{ m}\Omega$ após o ensaio de capacidade inicial, em relação a $3,1 \text{ m}\Omega$ de aumento em 2 meses de flutuação, e a Bateria 2, foi possível notar uma variação de $1,6 \text{ m}\Omega$ de aumento o ensaio de capacidade de descarga inicial em comparação aos $2,1 \text{ m}\Omega$ de aumento aos longo dos 2 meses em regime de flutuação, totalizando um aumento total de resistência interna com os dois ensaios de aproximadamente 22,3 % para a Bateria 1, e de 30,57 % para a Bateria 2 (sendo mais afetada pelos ensaios).

Com isso é possível mostrar o quanto a recarga profunda rápida, um evento singular de algumas horas, afeta a bateria em relação a um evento contínuo do regime contra a auto descarga. O aumento de resistência interna em regime de flutuação aferido semanalmente é um parâmetro mais confiável, por ter um controle

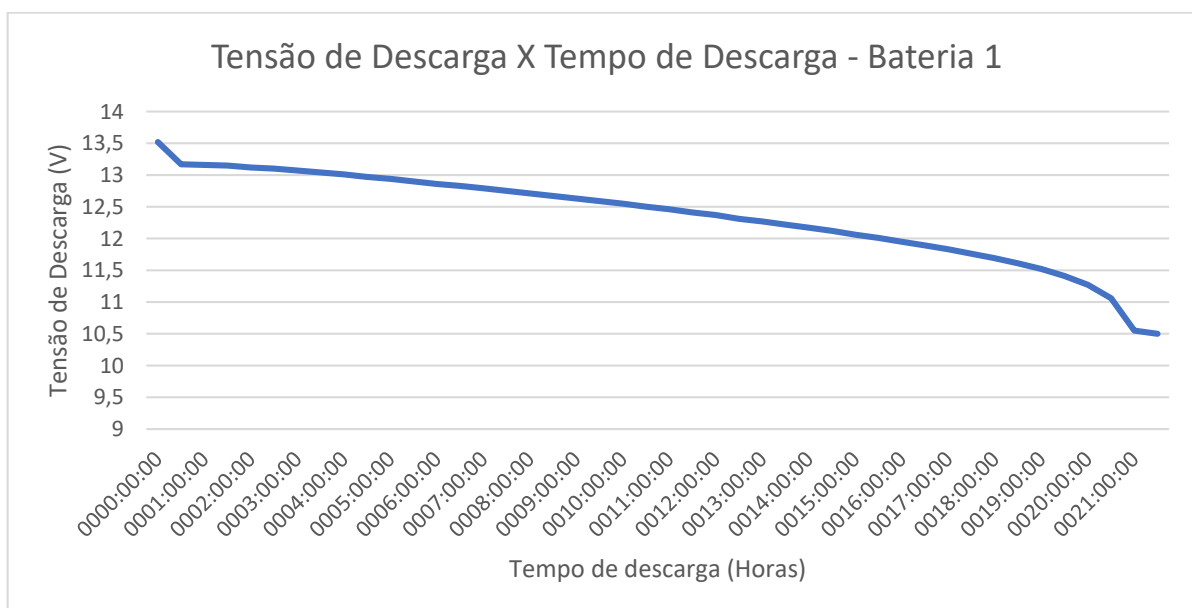
maior a uma carga constante, onde a bateria está totalmente carregada e assim mantida ao longo do ensaio com a mesma condição de carga, sem sofrer alteração significativa do eletrólito.

É difícil prever a curva de aumento da resistência, possuir componentes de pequena grandeza, e sendo um aumento pequeno de resistência na prática, e esses ensaios mostrou que esse aumento ocorre, mesmo que de forma tênue. O regime de flutuação é uma forma de se precaver a auto descarga, mantendo a bateria a plena carga, e conservando a vida útil da bateria. Porém, é preciso ter consciência que o processo de ineficiência ciclo a ciclo ocorre continuamente, o que leva a bateria ao seu esgotamento inevitável.

5.3 CURVA DE CAPACIDADE FINAL DAS BATERIAS

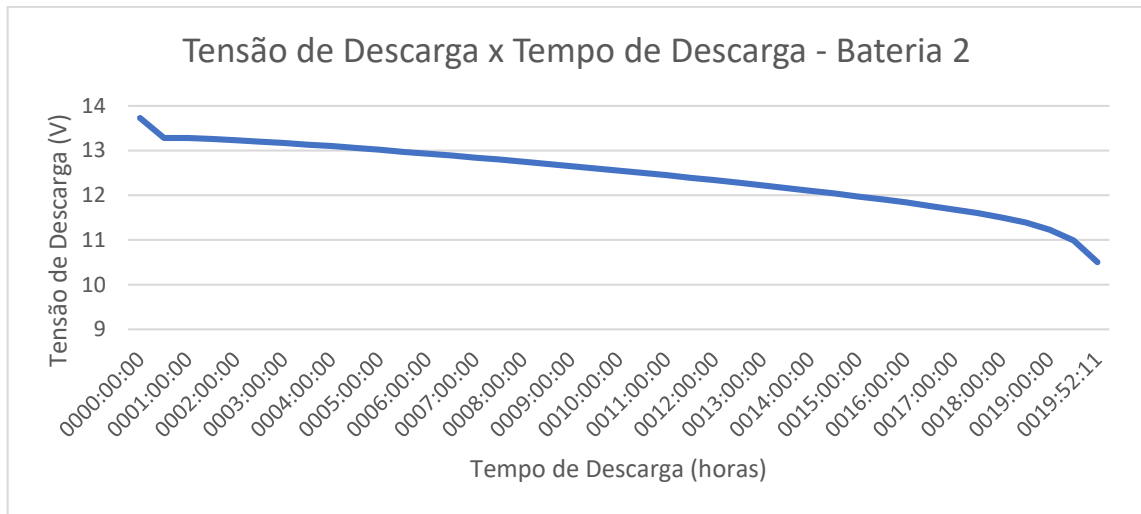
As curvas de descarga finais podem ser observadas nos Gráficos 13 e 14, para a Bateria 1 e Bateria 2.

Gráfico 13 – Tensão de descarga x Tempo de descarga – Bateria 1



Fonte: Autoria Própria.

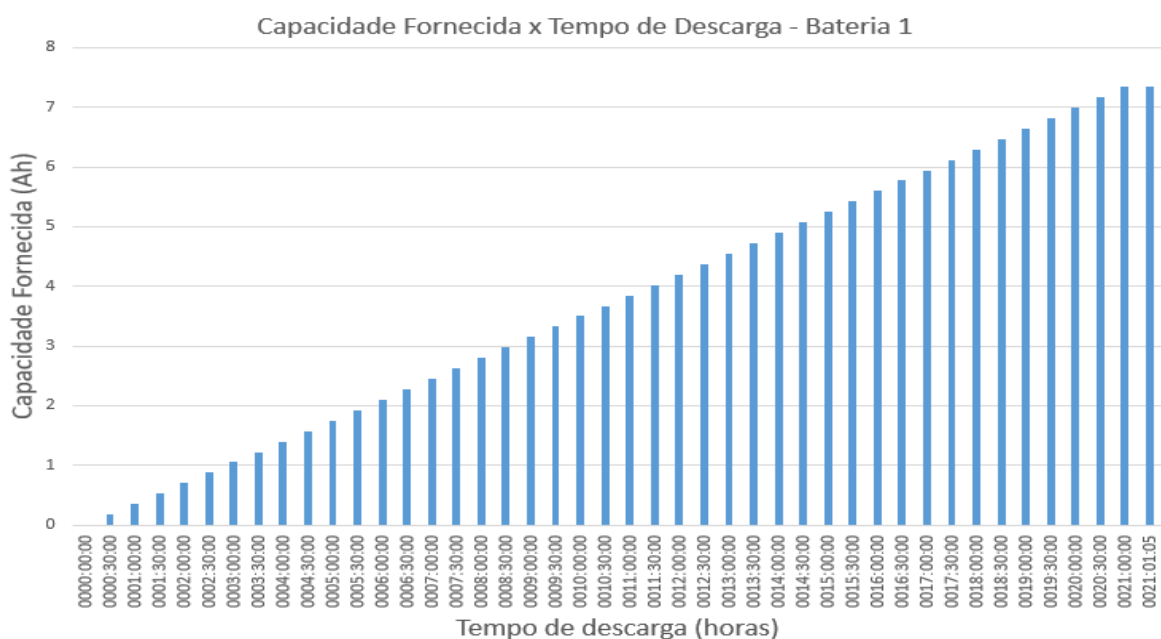
Gráfico 14 – Tensão de descarga x Tempo de descarga – Bateria 2



Fonte: Autoria Própria.

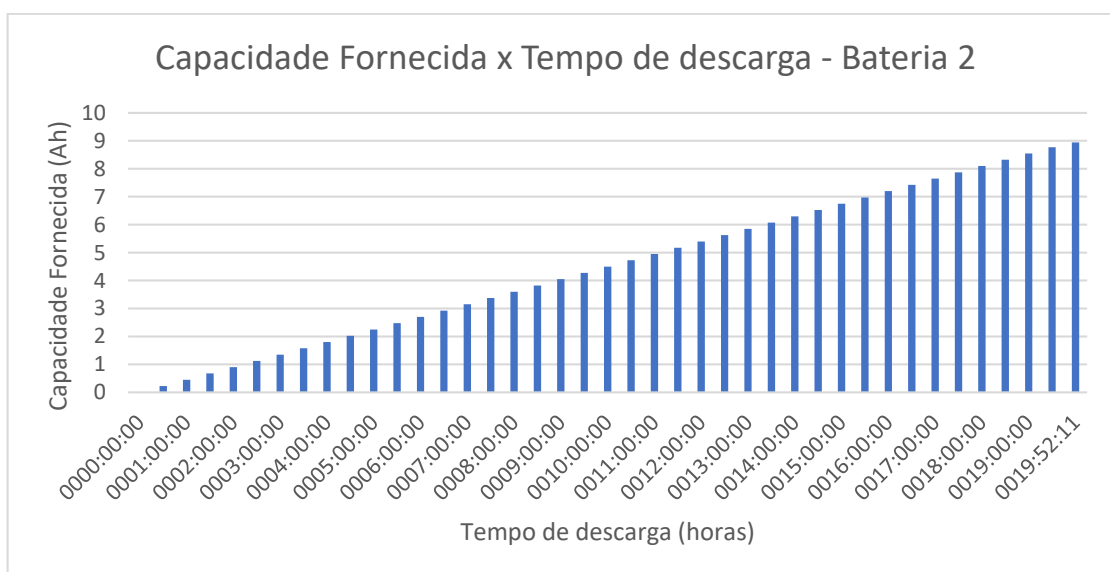
Foi possível constatar pelos ensaios de capacidade antes e depois, que as Baterias 1 e 2 sofreram uma perda de capacidade. A Bateria 1 sofreu uma leve redução de capacidade de descarga de 21 horas, 6 minutos e 2 segundos para 21 horas, 1 minuto e 5 segundos em C_{20} após o regime de flutuação, totalizando uma redução de aproximadamente 0,4 %. A Bateria 2 sofreu uma perda de 21 horas, 10 minutos e 43 segundos para 19 horas, 52 minutos e 11 segundos, de capacidade de fornecimento em C_{20} após o regime de flutuação, totalizando uma redução de aproximadamente 6,59 %. Os Gráficos 15 e 16 mostram a perda de capacidade em relação ao tempo de descarga.

Gráfico 15 – Capacidade Fornecida x Tempo de descarga – Bateria 1



Fonte: Autoria Própria.

Gráfico 16 – Capacidade Fornecida x Tempo de descarga – Bateria 2



Fonte: Autoria Própria.

As baterias sofreram uma redução de sua capacidade, a Bateria 1 sofreu uma redução sutil de 7,37 Ah para 7,35 Ah, apresentando uma redução de aproximadamente 0,27 %, enquanto a Bateria 2 apresentava 9,51 Ah e passou a apresentar 8,93 Ah sofrendo uma considerável redução de aproximadamente 6,49 %.

O regime de flutuação não foi suficiente para anular a tendência de corrosão da grade, ocorrida principalmente pela secagem desta, e a tendência de perdas naturais das baterias, mesmo neste regime, continuam a ocorrer, porém de forma menos intensa.

Os ensaios de capacidade são um parâmetro para analisar a capacidade perdida da bateria de forma irreversível devido à ciclagem. É importante salientar que a resistência interna é um parâmetro útil mas é preciso ser analisado com cuidado, pois pode ser um índice enganoso (é necessário ter consciência do estado de carga para usar esse parâmetro), já que a mesma bateria pode ter resistência diferentes em períodos próximos, de acordo com sua condição de carga. Carregada possui uma resistência interna maior, assim necessita ser analisada em regimes constantes para ser considerado seu aumento permanente de forma confiável, a qual não tenha interferência da alteração de seu eletrólito.

Devido aos efeitos do primeiro ensaio, com uma recarga rápida profunda de quase 100 % da carga das baterias conforme o uso da NBR 16659:2017, pode se constatar entre o ensaio de capacidade e o ensaio de flutuação, um aumento de resistência interna, provocado pelo *dry out* de aproximadamente 5,85 % para a Bateria

1, e de aproximadamente 13,22 % para a Bateria 2, e posteriormente o ensaio de flutuação um aumento total acumulado de 22,3 % para a Bateria 1, e de 30,57 % para a Bateria 2. Onde pode ser observado que para a Bateria 2 há maior sensibilidade do aumento da resistência interna, e isso foi constatado no ensaio de flutuação por atingir uma corrente de flutuação um pouco maior de 0,08 A em relação aos 0,06 A da Bateria 1. A resistência interna nesse regime constante da flutuação, envolve a parte relevante da circulação de corrente, onde é uma medida da dificuldade que a corrente tem que circular pelo circuito da bateria.

O ensaio em regime de flutuação foi capaz de mostrar índices de capacidade fornecidos pelo carregador que mantiveram as baterias a plena carga, quanto maior esse índice de capacidade fornecido à bateria, maior sua dificuldade em segurar a carga, a Bateria 1 apresentou 2 Ah em relação ao 2,9 Ah da Bateria 2, ou seja o índice da Bateria 2 foi 45 % maior de capacidade fornecida pelo carregador.

É preciso analisar de forma cuidadosa porque a Bateria 2 apresentou maior perda de capacidade, dentre os fatores que devemos considerar estão, os resultados do ensaio de flutuação, que mostraram uma maior dificuldade da bateria de 9 Ah manter sua carga, através de uma corrente de flutuação e uma capacidade fornecida pelo carregador maior, constatando assim um menor controle da sua vida útil. Devemos considerar os aspectos construtivos, a Bateria 1 apresenta o mesmo tamanho de caixa e menor número de placas, para um regime menos intenso, conseguindo assumir seu regime nominal mais facilmente, com 7 Ah, um regime de capacidade menor. A Bateria 2, com o mesmo espaço físico e maior número de placas deve executar um regime de trabalho de maior exigência, com 9 Ah em relação ao anterior, constatando que há um espaço menor para o preenchimento do eletrólito e material ativo, resultando em uma capacidade menor de ionização do material ativo em menor volume nesse caso, isso faz com que a Bateria 2, por estar submetida a mesma caixa que a Bateria 1 em regime menos intenso quando comparadas, consegue ter uma capacidade de fornecer maiores correntes, porém perde em qualidade de controle de carga e capacidade, e vida útil, devido aos aspectos construtivos e de dimensionamento, de acordo com a quantidade menor de volume de eletrólito e de material ativo, maior número de placas e separadores ocorrendo de forma mais intensa o efeito *dry out* e perda mais precoce, em relação a Bateria 1, onde se esgota de forma mais rápida, sendo uma bateria em um perfil diferente, que possui

maior capacidade em troca de uma menor vida útil para atender a essa capacidade nominal, com condições construtivas menos favoráveis para isto.

A Bateria 2 foi submetida a uma mesma tensão de flutuação, para uma quantidade menor de material ativo, e possui um número maior de placas positivas afetadas pela corrosão com a acentuação de concentração do eletrólito, uma maior superfície de contato entre ácido e placas, sofrendo de forma mais intensa o efeito da perda de capacidade, e uma corrente de recarga maior da Bateria 2 em relação a Bateria 1, após o primeiro ensaio de capacidade. O aumento de resistência foi de 22,3 % para a Bateria 1, e de 30,57 % para a Bateria 2, mostrando novamente que ao longo do processo a Bateria 2 sentiu de forma mais intensa os efeitos negativos dos ensaios. Esses fatores citados anteriormente explicam a diferença de perda de capacidade de 0,27 % da Bateria 1 em relação aos 6,49 % da Bateria 2.

Essa é uma das explicações confiáveis, duas baterias de tamanhos iguais, é de se esperar que a bateria com menor capacidade cumpra de forma mais confiável e eficiente sua função, porém é preciso ressaltar que outros fatores a se considerar realmente na interferência da capacidade, como condições detalhadas de montagem, apesar de imperceptíveis podem existir; diferença na padronização, possuírem o mesmo processo produtivos, podem apresentar pequenas diferenças, e pela amostragem desse trabalho, onde foram só analisadas duas baterias, caso fossem analisadas mais baterias seria possível traçar uma correlação melhor de perdas de acordo com a submissão de tais ensaios.

É importante salientar que apesar das resistências aumentarem um percentual considerável, tal fato não demonstrou de forma tão intensa a perda de capacidade da Bateria 1, pelo fato da resistência interna para os padrões da bateria terem continuado baixos, e esse efeito prejudicial a sua capacidade seria sentido de forma mais intensa a longo prazo, o processo de concentração do ácido, e sua consequência de corrosão das grades a nível considerável, não ocorreram no tempo de ensaio de forma relevante, sendo constatada uma pequena perda de capacidade, perceptível graças à precisão dos ensaios de descarga. Para a Bateria 2, o aumento percentual foi similar à Bateria 1, bem como a perda de peso, mas o processo das consequências do efeito *dry out* foram mais perceptíveis, pois a bateria obteve uma considerável perda de capacidade com um regime de trabalho mais intenso, a perda e seus efeitos na vida útil podem ser notados anteriormente à Bateria 1, apesar de similaridade quanto à magnitude os dados estudados. Caso a Bateria 2, fosse

dimensionada em uma caixa maior (por espaço similar a Bateria 1) esperariam efeitos de perda de capacidade mais similares.

A análise do peso foi efetuada para a constatação do efeito *dry out*, pois esse é um parâmetro confiável quando as baterias ensaiadas do tipo VRLA perdem seus gases no processo de recarga, devido aos problemas químicos de recombinação de gases, que saem do conjunto sendo um peso não repostado, então conforme ocorrem perda de peso na bateria, pode-se ter a constatação do efeito *dry out*.

Assim foi possível constatar que a Bateria 1 perdeu 8g, apresentando uma perda de peso do conjunto de aproximadamente 0,35 % , a Bateria 2 perdeu 14g, apresentando uma perda de peso do conjunto de aproximadamente 0,51 %, os efeitos do *dry out* novamente mais sensíveis para a bateria com maior capacidade.

As perdas de capacidades constatadas, ocorreram devido ao efeito do ensaio de descarga inicial, bem como o período que as baterias passaram em regime de flutuação, foi possível notar que o ensaio inicial de capacidade, com uma recarga rápida foi responsável por uma perda de gás e intensificação do efeito *dry out* de forma mais acentuada que o período que as baterias passaram em flutuação de acordo com a perda de peso.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O ensaio foi realizado em condições controladas, com equipamentos precisos e regido pela NBR 16659:2017, mesmo nessas condições próximas as ideais foram registradas perdas da capacidade das baterias em um curto espaço de tempo. No uso prático há fatores de difícil controle sobre um banco de baterias, que afetam essas condições de maneira mais intensa, sendo notabilizada a necessidade de operação consciente sobre o banco de baterias, bem como sua integração se está de acordo com as classes determinadas pelo fabricante, para que a vida útil da bateria esteja condizente com a nominal, bem como a necessidade de uso mais durável da mesma, para otimização de processos sustentáveis.

Caso a tensão de flutuação possua valores elevados acima do recomendado, esta passa a ser um agente de sobrecarga que atuará na bateria, fazendo com que a mesma tenha uma perda considerável de vida útil. As condições colocadas de acordo com a NBR 16659:2017 de ensaio, as perdas sejam mínimas, a ocorrência do efeito *dry out*, bem como perdas cíclicas, são minimizados. Em condições reais, onde os índices de tensão de flutuação se encontram em valores incorretos, é possível notabilizar que a tensão de flutuação funciona como um efeito de sobrecarga a longo prazo.

A vida útil das baterias em regime de flutuação está geralmente relacionada à profundidade e quantidades de descargas a que as baterias estão submetidas sendo importante ter as informações de correntes demandadas pelas cargas, para quando o banco precisar ser acionado, não promover uma descarga passando o limite da tensão final de descarga, sendo uma maneira eficiente de se fazer com que a vida útil das baterias consigam ser eficientes por maior tempo.

Com um subdimensionamento de um banco de baterias, e com capacidade aquém do recomendado, um sistema de UPS, possui baterias que sofrem descargas mais profundas em relação à sua capacidade e recargas mais danosas, gerando um efeito *dry out* mais intenso e mais recorrente, bem como desencadeia um efeito de corrosão e degradação, fazendo com que o banco de baterias tenha uma longevidade menor. É importante conhecer o regime de trabalho e operação de um sistema, para que o dimensionamento correto de baterias de forma a se evitar esse tipo de problema.

O presente trabalho se manteve próximo ao limite de conhecimento de baterias, considerando a norma NBR 16659:2017 mais recente, e os manuais técnicos mais completos, bem como trabalhos de alto valor informacional, através da busca de referências de qualidade e estrutura disponibilizada para a realização dos ensaios, foi possível desenvolver uma análise útil e informacional contextualizada com o conhecimento atual sobre os parâmetros da baterias de chumbo ácido.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16659: Baterias chumbo-ácido de pequeno porte, do tipo reguladas por válvula – Requisitos gerais, características funcionais e métodos de ensaios**. Rio de Janeiro, p. 14, 2017.

BATERIAS ROUTE. **Vista tridimensional**. Disponível em: <<http://www.bateriasroute.com.br/site/?page=visao3d>>. Acesso em: 10 nov 2018.

BATERIAS TUDOR. **Defeitos comuns**. Disponível em: <http://tudor.com.br/pt_br/produtos/automotiva-leve/defeitos-comuns>. Acesso em: 15 out 2018.

CAIS BATERIAS. **O que é bateria VRLA?** Disponível em: <<https://caisbaterias.com.br/o-que-e-bateria-vrla/>>. Acesso em: 21 fev 2019.

CARNEIRO, R. L., MOLINA, J. H. A., ANTONIASSI, B., MAGDALENA, A. G., PINTO, E. M. **Aspectos essenciais das baterias chumbo-ácido e princípios físico-químicos e termodinâmicos do seu funcionamento**. Revista Virtual de Química, v. 9, n. 3, p. 899-911, 2017.

C&D TECHNOLOGIES. **Charging Valve Regulated Lead Acid Batteries**. Disponível em: <https://www.cdtechno.com/pdf/ref/41_2128_0212.pdf>. Acesso em: 17 mar 2019.

CHAGAS, M. W. P. **Novas tecnologias para avaliação de baterias**. 97f. Dissertação de Mestrado – Instituto de Engenharia do Paraná, Curitiba, 2007.

CRESTANI, D. **Bateria automotiva vs bateria VRLA vs baterias estacionárias? Qual utilizar? Qual é melhor?** DSM Nobreaks. Disponível em: <<http://www.dsmeleetro.com/blog-da-dsm/nobreaks/baterias-automotivas-vs-bateria-vrla-vs-baterias-estacionarias-qual-utilizar-qual-e-melhor/>>. Acesso em: 21 fev 2019.

ELECTROPAEDIA. **Uninterruptible power supplies UPS**. Disponível em: <<https://electropaedia.blogspot.com/2017/06/uninterruptible-power-supplies-ups.html>>. Acesso em: 17 mar 2019.

FOGAÇA, J. R. V. **Balanceamento por oxirredução**. Disponível em: <<https://brasilecola.uol.com.br/quimica/balanceamento-por-oxirreducao.htm>>. Acesso em: 13 mar 2019.

FUJI ELECTRIC. **Whithout a UPS, your eletric work environment is constantly subject to possible sudden power shutdowns**. Disponível em: <<https://www.fujielectric.com/company/promotion/ups.html>>. Acesso em: 17 mar 2019.

JOHNSON CONTROLS. **Manual Técnico Bateria Estacionária**. Sorocaba – SP, 2008.

KARASINSKI, C. A., DIAS, E. S. **Guia para aplicação e manutenção de banco de baterias**. 193f. Trabalho de Conclusão de Curso – Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná, Curitiba, 2003.

LAZZARIN, T. B. **Estudo e implementação de um carregador de bateria com uma técnica de avaliação de sua vida útil**. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006.

LUCZKIEVICZ, F. R. G. **Determinação do estado de saúde da bateria chumbo-ácido**. 87f. Dissertação de Mestrado – Universidade Estadual do Centro-Oeste, Guarapova, 2011.

MAGAZINE PB S. AMERICA. **Magazine Pb: agora também na versão digital**. Rolândia, v. 22, jun 2017a.

MAGAZINE PB S. AMERICA. **Pesquisa de baterias avançadas em Itaipu**. Rolândia, v. 24, dez 2017b.

MAGAZINE PB S. AMERICA. **Para onde vamos?** Rolândia, v. 25, mar 2018a.

MAGAZINE PB S. AMERICA. **16ª Conferência e exposição europeia de baterias de chumbo**. Rolândia, v. 28, dez 2018b.

MOURA. **Manual Técnico: Baterias Estacionária Clean Nano**. 2016. Disponível em: <https://moura-portal.s3.amazonaws.com/uploads/2017/07/MANUAL_CLEAN_NANO_V13_06_DEZ_16.pdf>. Acesso em: 05 maio 2019.

RAND, D. A. J., MOSELEY, P. T. **Lead-acid battery fundamentals**. Elsevier, p. 97-132, 2017.

REVISTA CHUMBO BRASIL. **A primeira revista brasileira sobre baterias e reciclagem de chumbo**. Rolândia, v. 1, mar 2012a.

REVISTA CHUMBO BRASIL. **Bateria chumbo-ácido presente na maioria dos veículos elétricos**. Rolândia, v. 2, jun 2012b.

REVISTA CHUMBO BRASIL. **Segmento de reciclagem e produção de baterias automotivas e suas recentes mudanças**. Rolândia, v. 3, set 2012c.

REVISTA CHUMBO BRASIL. **Nova liga de grade positiva e a sua aplicação em baterias de longa duração**. Rolândia, v. 5, mar 2013a.

REVISTA CHUMBO BRASIL. **Essa edição marca a primeira etapa da FENIBAT**. Rolândia, v. 7, set 2013b.

REVISTA CHUMBO BRASIL. **Edição especial de 2 anos**. Rolândia, v. 8, dez 2013c.

REVISTA PB BRASIL. **A FENIBAT se consolida como um dos maiores eventos do mundo no segmento.** Rolândia, v. 16, dez 2015.

RTA. **Baterias:** VRLA, estacionárias e ventiladas. Disponível em: <<https://www.rta.com.br/produtos/baterias/>>. Acesso em: 21 fev 2019.

UNICOBA, UNIPOWER. **Bateria de Chumbo-Ácida Selada Regulada por Válvula.** São Paulo – SP, 2019. Disponível em: <<https://www.robocore.net/upload/ManualTecnicoBateriaUnipower.pdf>>. Acesso em: 03 maio 2019.

WEG. **Manual do Usuário Série:** Baterias Seladas. Jaraguá do Sul – SC, 2018.

ZANCONATO, M. D. **Automatização dos processos de formação de bateria de chumbo-ácido.** 69f. Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade do Sagrado Coração, Bauru, 2015.