

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE ENGENHARIA ELÉTRICA E INFORMÁTICA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA**



Universidade Federal
de Campina Grande

JANDILSON ALMEIDA BANDEIRA

RELATÓRIO DE ESTÁGIO SUPERVISIONADO

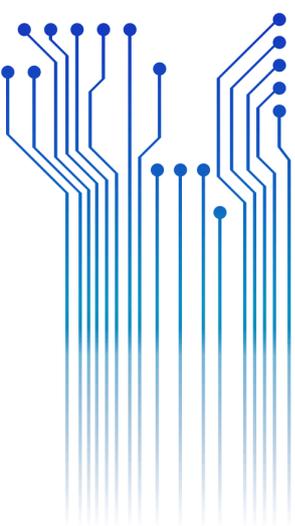


Centro de Engenharia
Elétrica e Informática

**ATIVIDADES DESENVOLVIDAS DURANTE ESTÁGIO
SUPERVISIONADO NA ACUMULADORES MOURA S.A.**



Departamento de
Engenharia Elétrica



Campina Grande

2019

JANDILSON ALMEIDA BANDEIRA

**ATIVIDADES DESENVOLVIDAS DURANTE ESTÁGIO
SUPERVISIONADO NA ACUMULADORES MOURA S.A.**

Relatório de Estágio supervisionado realizado na empresa Acumuladores Moura S.A. submetido à Coordenação de Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Campina Grande como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Engenheiro Eletricista.

Orientador:

Professor Leimar de Oliveira, D.Sc.

Campina Grande
2019

JANDILSON ALMEIDA BANDEIRA

**ATIVIDADES DESENVOLVIDAS DURANTE ESTÁGIO
SUPERVISIONADO NA ACUMULADORES MOURA S.A.**

Relatório de estágio supervisionado realizado na empresa Acumuladores Moura S.A. submetido à Coordenação de Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Campina Grande como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Engenheiro Eletricista.

Aprovado em / /

Professor Avaliador

Universidade Federal de Campina Grande

Avaliador

Professor Leimar de Oliveira, D.Sc.

Universidade Federal de Campina Grande

Orientador, UFCG

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer aos meus pais, Maria de Lourdes por todo seu apoio, por sempre acreditar em mim, por fazer sacrifícios incalculáveis para que eu pudesse estudar e realizar meu sonho e José Bandeira que me ensinou a diferenciar o certo do errado e que o maior bem de um homem é seu caráter, me ensinou também que perseverança e trabalho duro são apenas degraus para se alcançar os sonhos.

A minha noiva Tamires dos Santos por me ajudar em todos os momentos difíceis, por ser uma companheira tão atenciosa e me trazer paz nos momentos mais nebulosos ao longo do curso, por ser minha orientadora pessoal e ser essa pessoa tão maravilhosa que me faz tão feliz.

A minha prima Maria Hildanete por resolver grande parte dos meus problemas pessoais e por estar sempre ao lado dos meus pais quando eu não pude estar por perto. Meu primo Washington Bandeira por me acolher e sempre me ajudar quando precisei nessa caminhada tão árdua.

Agradeço a Dona Nazaré que me acolheu em Belo Jardim, sendo a pessoa que alegrava minhas manhãs e fins de tarde, além de cuidar de mim como uma mãe sempre atenciosa e disposta a me ajudar.

Ao meu supervisor de estágio Bruno Sobel pela compreensão da minha ausência no trabalho quando se fez necessário, pela disposição em conseguir componentes para o projeto e por me inspirar como engenheiro.

Ao meu orientador Leimar de Oliveira pela disponibilidade e dicas valiosas para conclusão deste trabalho.

“Se eu vi mais longe, foi por estar sobre ombros de gigantes”

(Isaac Newton)

RESUMO

A bateria automotiva é um acumulador elétrico que acumula energia sob a forma química, e posteriormente a converte em energia elétrica. Para que esse processo funcione com eficiência, é muito importante conhecer a qualidade dos seus componentes e o seu processo de fabricação. Estes fatores são determinantes e diferenciam a qualidade entre uma bateria e outra no mercado. A Moura é uma das maiores empresas de baterias da América do Sul, equipando hoje mais de 50% dos carros novos que circulam no Brasil. As atividades desenvolvidas no estágio supervisionado foram realizadas na Acumuladores Moura S.A. – Unidade 01, localizada na cidade de Belo Jardim – PE, distante 180 km da capital Recife. O estágio ocorreu no período compreendido entre maio de 2018 e fevereiro de 2019. Na Engenharia de Processos da Moura Matriz, foi possível utilizar conhecimentos adquiridos durante o curso de Engenharia Elétrica na aplicação em indústria de produção de baterias chumbo-ácido. Conheceu-se o processo de fabricação de baterias, com foco no processo de formação e acabamento de baterias. A experiência prática diária durante o período de estágio contribuiu de forma bastante significativa para formação profissional, atuando como apoio à produção de baterias e desempenhando, dentre várias funções: a elaboração e a modificação de documentos, a busca por oportunidades que possam reduzir custos e/ou aumentar os lucros e a produtividade, projetos de melhoria dos processos, utilizando-se da metodologia do WCM e aplicando ferramentas como o PDCA, acompanhamento de padrões de processos, padronização de processos produtivos, controle de parâmetros de processo, adequando-os às necessidades exigidas para o produto e às limitações impostas pelo meio produtivo, além de garantir a excelência da qualidade do produto, de modo a satisfazer o cliente.

Palavras-chave: Baterias Chumbo-Ácido; Engenharia de Processos; Formação e acabamento de baterias; Acumuladores Moura; Grupo Moura.

ABSTRACT

The automotive battery is an electric accumulator that accumulates energy in the chemical form, and later converts it into electrical energy. For this process to work efficiently, it is very important to know the quality of its components and its manufacturing process. These factors are decisive and differentiate the quality between one battery and another in the market. Moura is one of the largest battery companies in South America, currently equipping more than 50% of the new cars circulating in Brazil. The activities carried out in the integrated internship were carried out at Acumuladores Moura S.A. - Unit 01, located in the city of Belo Jardim - PE, 180 km from the capital Recife. The internship took place in the period between May 2018 and February 2019. In Moura Matriz Process Engineering, it was possible to use knowledge acquired during the course of Electrical Engineering in the application in the lead-acid battery industry. The process of battery manufacturing was known, focusing on the process of charging and finishing batteries. The daily practical experience during the internship period has contributed significantly to professional training, The daily practical experience during the traineeship period contributed significantly to professional training, working to support battery production and, among several functions: the preparation and modification of documents, the search for opportunities that can reduce costs and increase profits and productivity, processes improvement projects, using the WCM methodology and applying tools such as PDCA, monitoring of process standards, standardization of production processes, control of process parameters, adapting them to the needs required for the product and the constraints imposed by the productive environment, ensuring the excellence of product quality in order to satisfy the customer.

Keywords: Lead-Acid Batteries; Process Engineering; Charging and finishing of batteries; Acumuladores Moura; Grupo Moura.

LISTA DE FIGURAS

Figura 01 – Histórico da Acumuladores Moura S.A.....	19
Figura 02 - Unidades gerenciais básicas da Acumuladores Moura S.A.....	21
Figura 03 - Setores da área de apoio da Acumuladores Moura S.A.....	21
Figura 04 - Setores unidade 05 da Acumuladores Moura S.A.....	22
Figura 05 – Estimativas de produção e vendas de baterias e acumuladores para veículos automotores no Brasil de 2014 a 2016 em mil unidades.....	28
Figura 06 – Estimativas de do valor de produção e vendas de baterias e acumuladores para veículos automotores no Brasil de 2014 a 2016 em mil reais.....	28
Figura 07 - Componentes da bateria automotiva.....	30
Figura 08 – Planos de conexão das células da bateria.....	31
Figura 09 - Fluxograma do processo de fabricação de baterias de chumbo-ácido.....	35
Figura 10 - (a) Imagem do sistema completo para produção de óxido de Barton. (b) Imagem com foco no reator para produção de óxido de Barton.....	36
Figura 11 - Fluxograma dos moinhos UGB 01.....	39
Figura 12 - Fluxograma da produção de grades.....	41
Figura 13 - Imagem ilustrativa da (a) grade e (b) placa.....	43
Figura 14 - Principais modelos de empastadeira: (a) MAC, (b) FOP, (c) Tambor (Cominco), (d) Tambor (Properzi), (e) Steel Belt, (f) Frimax.....	44
Figura 15 - Fluxograma de empastamento e cura.....	46
Figura 16 - Principais componentes de uma bateria montada.....	47
Figura 17 - Fluxograma da montagem da bateria.....	48
Figura 18 - Fluxograma da formação e acabamento de baterias.....	52
Figura 19 - Organograma da Engenharia de Processos da UN 01.....	54
Figura 20 – Temperatura com diferentes densidades de enchimento.....	55
Figura 21 - Gráficos de formação.....	56
Figura 22 - Seladora da linha 2 de acabamento.....	59
Figura 23 - Espelhos de selagem da linha 2 de acabamento.....	60
Figura 24 - Sobretampa mal selada.....	60
Figura 25 - Máquina de encher e nivelar da linha 2 de acabamento.....	61
Figura 26 - Estudo de capacidade da máquina de encher e nivelar da linha 2 de acabamento.....	62

Figura 27- Sistema de leds para detecção de furos em separadores.....	63
Figura 28- Furo na lateral do separador.....	64
Figura 29- Furo na costura do separador.....	64
Figura 30- Principais Kaizens.....	66

LISTA DE TABELAS

Tabela 01 - Valores médios de densidade de enchimento e densidade final após formação.....	50
Tabela 02 – Resultados de PbO ₂ das amostras.....	57
Tabela 03 – Resultado de C20 das amostras 1 a 5.....	58
Tabela 04 - Resultado de C20 das amostras 6 a 10.....	58

LISTA DE QUADROS

Quadro 01 – Empresas da Acumuladores Moura S.A.....	20
Quadro 02 - Principais fabricantes de baterias automotivas instalados no Brasil.....	26
Quadro 03 - Principais fabricantes de baterias automotivas instalados no Brasil (continuação).....	27
Quadro 04 - Plano de ação para seladora da linha 2 de acabamento.....	61
Quadro 05 - Plano de ação para a máquina de encher e nivelar da linha 2.....	63

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

%- Porcentagem

°C- Graus Celsius

3SB- Cristais tribásicos

4SB- Cristais tetrabásicos

A- Ampere

ABS- *American Bureal of Shipping*

ANATEL- Agência Nacional de Telecomunicações

BNDES- Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social

CCA- Corrente de partida a frio

Cm- Centímetros

DEMAI- Departamento de Manutenção e Instalação

DMZ- Desmineralizador

EUA- Estados Unidos da América

g- Grama

GM- *General Motors*

GQT- Gestão da Qualidade Total

H- Hidrogênio

h- Hora

H₂O- Água

H₂SO₄- Ácido sulfúrico

IBGE- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IMPLA- Injeção de plásticos

ISO- Organização Internacional para Padronização

ITEMM- Instituto de Tecnologia Edson Mororó Moura

J- Joule

k- Quilo

Kg- Quilograma

L- Litro

LVB- Lavagem e acabamento de polos

m- Metro

MAN- Máquina Automática de Nivelar

mg- Miligrama

MG- Minas Gerais

MLB- Máquina de Lixar Bornes

MLS- Máquina de Lavagem e Secagem

MRT- Máquina de rotular

NAM- Material Negativo Ativo

NiCd- Níquel-Cádmio

NiFe- Níquel-Ferro

NiMH- Níquel metal hidratado

O₂- Oxigênio

OEM- *Original Equipment Manufacturing*

Pb- Chumbo

Pb(OH)₂- Hidróxido de chumbo II

PbO- Óxido e chumbo

PbO₂- Dióxido de Chumbo

PbSO₄- Sulfato de chumbo

PCP- Planejamento e Controle de Produção

PDCA- Planejar Fazer Checar Agir

PE- Pernambuco

pH- Potencial hidrogeniônico

PIA- Pesquisa Industrial Anual

PLT- Plastificação de baterias

PP- Polipropileno

PQT- Programa de Qualidade Total

RDM- Rede de Depósitos Moura

REPLA- Reciclagem de plásticos

RJ- Rio de Janeiro

RSM- Rede de Serviços Moura
S.A.- Sociedade Anônima
SIMA- Segurança Industrial do Meio Ambiente
SLR- Seladora
SO₄²⁻- Ânion sulfato
SP- São Paulo
TAD- Teste de Alta Descarga
TCC- Teste de Curto Circuito
TN- Teste de Nivelamento
TV- Teste de Visão
TVZ- Teste de vazamento
UGB- Unidade de Gerenciamento Básico
UN- Unidade
V- Volt
VRLA- *Valve Regulated Lead Acid*
WCM- Classe de manufatura mundial
α- Alfa
β- Beta

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	16
2. REFERENCIAL TEÓRICO.....	23
2.1 História da bateria.....	23
2.2 A indústria brasileira de baterias automotivas.....	26
2.3 Funcionamento da bateria automotiva.....	29
2.4 Processo de produção de baterias na Acumuladores Moura S.A.....	34
2.4.1 Moinhos.....	35
2.4.2 Grades.....	39
2.4.3 Empastamento.....	41
2.4.4 Cura e secagem.....	45
2.4.5 Montagem.....	46
2.4.6 Formação e acabamento.....	48
3. MATERIAIS E MÉTODOS.....	53
3.1 Projeto máxima eficiência da formação de baterias.....	55
3.2 Projeto de melhorias do processo de selagem de sobretampa no acabamento.....	59
3.3 Projeto para redução da variação do nível das baterias no acabamento.....	61
3.4 Dispositivo detector de furos em separadores.....	63
3.5 Outras atividades desenvolvidas no estágio.....	65
3.5.1 Elaboração de Kaizens.....	65
3.5.2 Atividades de rotina e treinamentos.....	66
4. CONCLUSÕES.....	68
REFERÊNCIAS.....	69

1. INTRODUÇÃO

A origem da palavra bateria é anterior à invenção da pilha de Volta. Quem introduziu o termo nos estudos de eletricidade foi Benjamin Franklin, em 1748, referindo-se a uma série de capacitores conectados formando uma bateria (no sentido de conjunto). O termo bateria foi extrapolado para a eletroquímica e é usado hoje para identificar células voltaicas interconectadas, como a bateria de automóvel e a bateria de 9V.

No início do século XX, as baterias automotivas fizeram parte de uma revolução, constituindo-se em uma das diversas indústrias que se estabeleceram com a crescente difusão dos automóveis. Uma das características de uma inovação radical, como foram os automóveis no início do século XX, é possibilitar a criação e o desenvolvimento de novas indústrias, alterando *o status quo* e pondo a indústria tradicional em xeque. No caso, a indústria ameaçada era a de carruagens, bem como sua cadeia produtiva (BNDES, 2014).

Uma bateria é um acumulador, que transforma energia química em energia elétrica e vice-versa, normalmente por meio de uma reação de oxirredução. O polo negativo é denominado anodo, no qual ocorre a oxidação, enquanto o positivo é o catodo, em que ocorre a redução. Os elétrons correm do anodo para o catodo, gerando energia elétrica (BNDES, 2014).

A principal função de uma bateria automotiva é fornecer energia elétrica ao motor de partida e ao sistema de ignição do veículo, além de alimentar todo o sistema elétrico do veículo quando o motor não estiver em funcionamento. Atua auxiliando o alternador, na alimentação de todo o sistema elétrico do veículo, por tempo determinado, se por algum motivo, o alternador não conseguir fornecer a totalidade da corrente elétrica, como por exemplo, em baixas rotações estabilizando a tensão do sistema elétrico como um todo.

Existem especificações que descrevem todas as características desejáveis para uma bateria, como alta descarga a frio e a quente (descarga a correntes elevadas por curto período de tempo), capacidade (quantidade de eletricidade armazenada quando medida sob condições de descarga lenta e prolongada), vida cíclica (é o tempo de vida que um acumulador possui em função do número de ciclos de carga e descarga a que o mesmo é submetido), entre outras (FLAMARION, 1994).

Em resumo, de acordo com Flamarion (1994), uma bateria para aplicação automotiva deve ser capaz de fornecer correntes elétricas elevadas por vários segundos, repetidas vezes; possuir carga armazenada suficiente para manter em funcionamento aparelhos elétricos de baixo consumo e manter o veículo operando por várias horas, em caso de pane do gerador; sofrer diversos ciclos de carga e descarga; sofrer baixa taxa de descarga durante armazenagem;

ser recarregada rapidamente após descarga exagerada; requerer baixa ou nenhuma manutenção; operar em diversas temperaturas; não deve constituir fonte potencial de risco; além de resistir a fortes vibrações mecânicas.

A empresa Acumuladores Moura S.A. foi fundada em 1957 por Edson Mororó Moura, recém-formado em química naquela data, seu pai, seu cunhado, um primo e um amigo na cidade de Belo Jardim (PE), distante 180 km de Recife.

O primeiro nome da empresa foi Indústria e Comércio de Acumuladores Moura Ltda. As instalações iniciais eram simples com máquinas rudimentares, feitas de madeira de baraúna e ferro. A referência básica inicial para a produção das primeiras placas de baterias já em 1958 foi o livro do Professor George Wood Vinal: *Storage Batteries*.

No início da década de 60, a Moura adotou um intenso programa de transferência de tecnologia junto ao maior fabricante mundial de baterias da época, a inglesa Chloride.

Em 1979, iniciou-se a formação da Rede de Depósitos Moura (RDM). A RDM é responsável pela distribuição de baterias a nível nacional e internacional, tonando-se a maior do país na área de baterias automotivas.

No início da década de 90, a Moura adquiriu outro importante parceiro tecnológico: a Moll Batteries, considerado pela Volkswagen AG e Audi, o seu melhor fornecedor de baterias do mundo. Por conta desta parceria, a Moura pôde começar a fornecer para a Volkswagen do Brasil em 1991. Outro importante parceiro tecnológico é a multinacional GNB Technologies, fornecedor da Ford Inglaterra e Ford EUA e detentora da patente mundial para a fabricação de baterias com a chamada “Liga Ag”, tendo a Acumuladores Moura S.A. exclusividade no Brasil. As suas mais recentes parceiras são a Exide Corporation e a East Penn Manufacturing Company.

Em 1992, a Moura, com o objetivo de atender plenamente às necessidades do consumidor final e de se tornar a empresa mais competitiva do setor através da plena participação dos seus funcionários, implantou o seu Programa de Qualidade Total (PQT). Como consequência, em 1994, ela obteve a Certificação ISO 9001 e a vem mantendo até os dias atuais. Em 1999, obteve o certificado QS 9000, que é constituído pelas normas da série ISO 9000 acrescidas de exigências da indústria automotiva. Em dezembro de 2000, o American Bureau of Shipping Quality Evaluations (ABS) concedeu o certificado para a Acumuladores Moura S.A., que garante a qualidade total desde o projeto até a assistência técnica. Além desses certificados, a Moura também possui: Certificado Duns Number D&B 2008, Certificação ANATEL, Certificação de qualidade UMC, Excelência em Qualidade – Certificação Q1 da Ford Motor Company, ISO/TS 16949, ISO 14001.

Como resultado da fabricação e distribuição de baterias ao longo de vários anos, a Moura conseguiu evoluir e se destacar entre as principais montadoras do cenário mundial, aumentando a cada ano a sua produção de baterias, assim como as plantas industriais em diversas cidades. Dentre os principais acontecimentos de sua história destacam-se os eventos apresentados na Figura 01.

Figura 01 – Histórico da Acumuladores Moura S.A.



Fonte: Baterias Moura, 2019.

A Moura encontra-se dividida em diversas unidades, tanto no Brasil quanto em países da América do Sul, onde cada unidade é responsável por um processo distinto para a obtenção final do produto. A empresa conta também com diversos distribuidores comerciais e mais de dois mil funcionários. A estrutura organizacional do Grupo Moura pode ser observada no Quadro 01.

Quadro 01 – Empresas da Acumuladores Moura S.A.

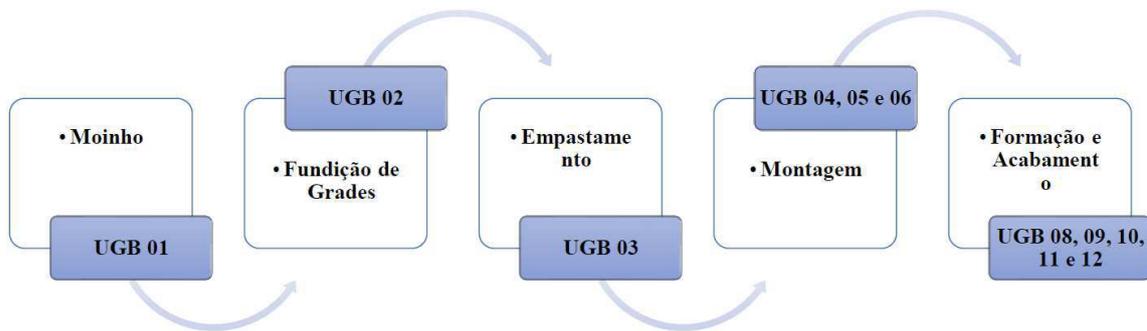
UNIDADE	PRODUTOS	LOCALIZAÇÃO
Un 01 – Acumuladores Moura matriz	Baterias sem carga para Itapetininga e baterias para o mercado de reposição, montadoras, especiais e exportação	Belo Jardim – PE
Un 10 – Acumuladores Moura filial	Baterias para o mercado de reposição	Belo Jardim – PE
Un02 – Unidade administrativa	Centro administrativo	Jaboatão dos Guararapes – PE
Escritório São Paulo	Centro administrativo	São Paulo –SP
Escritório Rio De Janeiro	Centro administrativo	Niterói – RJ
Un 03 – Depósito Fiat e Iveco	Baterias para a Fiat e Iveco em Minas Gerais	Betim – MG
Un 04 – Metalúrgica	Reciclagem de baterias e ligas de chumbo	Belo Jardim – PE
Un 05 – Indústria de plástico	Caixa, tampa e pequenas peças para baterias	Belo Jardim – PE
Un 06 – Unidade de formação e acabamento	Baterias para montadoras, reposição e especiais	Itapetininga – SP
Un 08 – Moura Baterias industriais	Baterias tracionárias e de moto	Belo Jardim – PE
Basa – Depósito Argentina	Baterias para montadoras e reposição na Argentina	Pilar
Wayotek – Depósito Porto Rico	Baterias para montadoras e reposição no Porto Rico	Carolina
Radesca – Depósito Uruguai	Baterias para montadoras e reposição na Uruguai	Montevideú
Rios Respuestos – Depósito Paraguai	Baterias para montadoras e reposição na Paraguai	Assunção

Fonte: Baterias Moura, 2019.

Mesmo diante de um cenário de crise no país, a Moura tem conseguido crescer, e com isso uma nova fábrica, a Unidade 10, está sendo construída para atender à crescente demanda de venda prevista para os próximos anos. A mesma foi projetada para ser uma réplica da Unidade 01, com capacidade de produzir mais de 7 milhões de baterias/ano.

Na área fabril desta UN-01 são montadas, formadas e acabadas baterias automotivas, náuticas e estacionárias. Estas são destinadas para dois tipos de mercados: carros novos e reposição em carros usados. Esta unidade é dividida basicamente em duas partes: área fabril e áreas de apoio administrativo. A área fabril é subdividida nas seguintes unidades gerenciais básicas (UGBs) conforme a Figura 02.

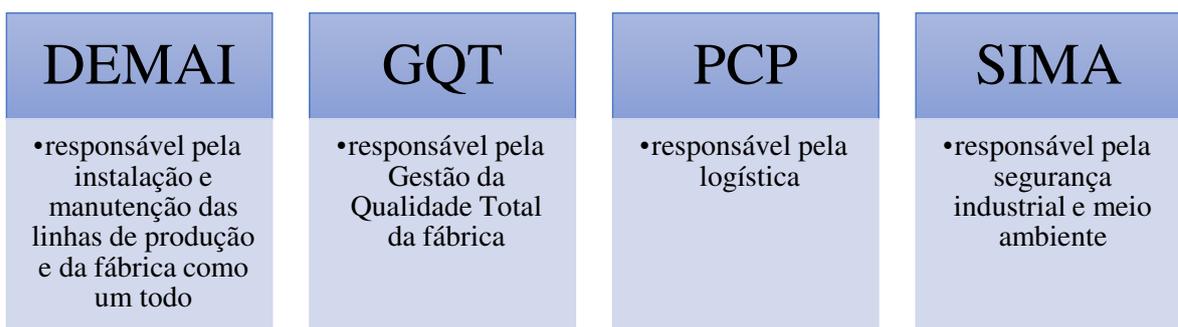
Figura 02- Unidades gerenciais básicas da Acumuladores Moura S.A.



Fonte: Baterias Moura, 2019.

A área de apoio engloba setores como engenharia, logísticos e toda a parte administrativa e financeira da unidade, tais como ilustrado na Figura 03.

Figura 03- Setores da área de apoio da Acumuladores Moura S.A.



Fonte: Baterias Moura, 2019.

A Unidade 04 (UN-04), também localizada em Belo Jardim – PE, é dividida em três UGBs: UGB - MA, UGB – Fornos e UGB - Refino. A UGB – MA é a responsável pela quebra de sucata de bateria e pela separação do material após a quebra em óxido, polipropileno (PP),

metal e ácido. Trata-se da principal fornecedora de PP para a Unidade 05 (UN-05). Já a UGB – Fornos é a responsável pela acomodação dos óxidos e metais gerados em galpão de estocagem e pela geração de chumbo bruto a partir do processo de operação de fornos rotativos. E, finalmente, a UGB – Refino é responsável pela operação de refino do chumbo bruto até chegar às especificações determinadas, com mexedores e aplicação de determinados insumos para purificação do mesmo.

As ligas de chumbo produzidas na UN-04 são o produto final, sendo repassadas para a UN-01 e para o setor de pequenas peças da UN-05.

A UN-05 é a unidade responsável pela reciclagem do plástico das baterias, pela fundição de buchas, que é a base de encaixe dos terminais, e produção de caixas e tampas. Ela é subdividida conforme a Figura 04.

Figura 04- Setores unidade 05 da Acumuladores Moura S.A.



Fonte: Baterias Moura, 2019.

A unidade responsável pela produção das baterias industriais é a Unidade 08 (UN-08). Além de iniciar a fabricação de baterias para moto em março de 2015.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 História da bateria

A primeira bateria que se tem notícia foi encontrada perto de Bagdá durante a construção de uma ferrovia em 1936. Acredita-se que essa bateria foi construída há 2.000 anos. Trata-se de uma jarra de barro, que provavelmente era preenchida com uma solução de vinagre, onde se colocava uma haste de ferro dentro de um cilindro de cobre (MICHELINI, 2017).

Este artefato era um jarro selado que continha uma barra de ferro no centro, envolta numa chapa de cobre. As suas dimensões eram um pouco superiores às das pilhas atuais (altura - 15 cm; diâmetro - 4cm; comprimento - 12 cm). A partir desta descoberta realizaram-se inúmeros ensaios de réplicas e estas produziram desde 1,5V a 2V entre os dois metais, tendo ficado denominada por pilha de Bagdad. Os cientistas acreditam que essas baterias, se essa foi a sua função correta, foram usadas para galvanização, como por exemplo, colocar uma camada de um metal (ouro) na superfície de outro (prata), um método ainda praticado hoje (MICHELINI, 2017).

A eletricidade já era conhecida desde os tempos antigos, mas somente a partir de 1800 é que se começou a entender os mecanismos de como produzi-la e utilizá-la de maneira adequada. As pilhas e baterias foram sendo desenvolvidas ao longo do tempo com a contribuição de diversos cientistas. Somente a partir da descoberta de Volta, de que dois metais diferentes ligados eletricamente por uma solução eletrolítica serviam como fonte de tensão, que se começou a buscar pelos melhores eletrodos que tornavam as pilhas e baterias mais eficientes e práticas.

Segundo Michelini (2017), o crédito pela invenção da bateria elétrica é dado ao cientista italiano Alessandro Volta, em 1800. Volta observou que quando duas sondas de metais diferentes são colocadas em certas soluções químicas, ocorre a produção de eletricidade. Em homenagem a Volta é que a unidade de medida de tensão elétrica chama-se volt.

Volta colocou camadas de zinco e cobre juntas, separadas por um pano embebido em salmoura. Mas apesar de entregar correntes consistentes, a sua invenção não era capaz produzir eletricidade por muito tempo. Uma das principais falhas em sua invenção foi o vazamento de salmoura entre as placas metálicas, causando curto-circuito.

Volta também descobriu que ligando várias baterias em série se obteria a soma das tensões de cada bateria. Descobriu também que metais diferentes, têm comportamentos diferentes numa bateria elétrica. Os metais determinam a tensão da bateria.

Em 1802, Willian Cruickshank projetou a primeira bateria para produção em massa. Ele cortou várias chapas quadradas de zinco e cobre de igual tamanho. Essas chapas foram colocadas dentro de uma caixa selada de madeira e foram soldadas entre si. Depois a caixa de madeira era preenchida com uma solução ácida.

Em 1836, John F. Daniell, um químico inglês, inventou uma bateria capaz de produzir eletricidade de forma mais estável que as anteriores. O funcionamento da pilha de Daniell é semelhante a pilha de Volta já que possui eletrodos feitos de cobre e zinco. Porém, na pilha de Daniell os eletrodos estão em compartimentos separados e se utiliza uma ponte salina para fechamento do circuito elétrico. Os eletrodos de cobre e zinco são imersos numa solução de sulfato de cobre e sulfato de zinco, respectivamente. A pilha de Daniell foi uma das baterias antigas mais bem-sucedidas, sendo usada para alimentar dispositivos de comunicação.

Em 1865, o engenheiro francês Georges Leclanché inventou uma bateria que pode ser considerada a precursora das pilhas comuns que são usadas hoje em dia. A pilha de Leclanché é formada por um cilindro de zinco metálico que forma o anodo ou polo negativo e um cilindro de grafite que forma o catodo ou polo positivo. O cilindro de grafite é coberto por uma camada de dióxido de manganês e carvão em pó. Esta pilha tem característica ácida por causa do cloreto de amônia. A pilha de Leclanché não é recarregável, pois a reação química que ocorre em seu interior é irreversível. Com isso a pilha cessa seu funcionamento quando não há mais dióxido de manganês para ser consumido.

Em 1859, o físico francês Gaston Planté inventou a primeira bateria recarregável à base de chumbo e ácido, que se tornou o primeiro tipo de bateria recarregável a ser comercializado, sendo constituída de dois eletrodos, um de chumbo e o outro de dióxido de chumbo, ambos mergulhados em uma solução de ácido sulfúrico. Esta célula é capaz de produzir 2 volts. Associando-se várias células em série conseguem-se tensões maiores, como por exemplo, 12V que é a tensão mais comum nas baterias de carros.

Para recarregar a bateria, conecta-se uma fonte de corrente contínua nos dois eletrodos o que resulta na inversão das reações químicas. Neste processo o ácido sulfúrico é recuperado.

Com o passar do tempo a bateria de chumbo ácido evoluiu e hoje temos as baterias de chumbo seladas - VRLA (*valve-regulated lead acid* – bateria de chumbo-ácido regulada por válvula) ou bateria de gel que é um tipo de bateria de chumbo-ácido livre de manutenção.

Por ser selada pode estar em ambientes fechados, pois não libera gases nocivos. É muito utilizada em *nobreaks*, sistemas de alarme, geração de energia eólica, luz de emergência, telecomunicações e brinquedos elétricos.

Em 1899, Waldmar Jungner, da Suécia, inventou a bateria recarregável de níquel-cádmio (NiCd) que usava níquel como eletrodo positivo (catodo) e cádmio como negativo (anodo). O alto custo do material em comparação com o chumbo limitou seu uso.

Dois anos depois, Thomas Edison substituiu o cádmio por ferro, inventando a bateria de níquel-ferro (NiFe). Problemas tais como baixa energia, mau desempenho em temperaturas baixas ou elevadas e autodescarga excessiva limitaram o sucesso dessa bateria.

Com o passar dos anos a bateria NiCd evoluiu, conseguindo-se correntes mais elevadas, maior longevidade bem como se conseguiu produzir células seladas e pequenas. Durante muitos anos, o NiCd foi a única bateria recarregável para aplicações portáteis, porém essa bateria causa danos ao meio ambiente quando não é descartada adequadamente. Na década de 1990, os ambientalistas na Europa começaram a trabalhar para que o uso dessa bateria fosse bastante limitado. Hoje a comercialização dessas baterias é restrita em vários países por questões ambientais.

A alternativa é a bateria de níquel-hidreto metálico - NiMh, uma bateria mais ecológica e que tem características semelhantes à bateria de NiCd, porém com melhor desempenho em termos de energia específica.

A bateria de níquel-hidreto metálico causa muito menos dano ao meio ambiente do que as baterias de níquel-cádmio. As baterias de níquel-hidreto metálico são uma espécie de continuação das baterias de níquel-cádmio.

Essa tecnologia consiste na substituição do eletrodo à base de cádmio por um eletrodo negativo que absorve hidrogênio, aumentando a capacidade da bateria para um determinado peso e volume e elimina o cádmio que polui o meio ambiente. No restante, as baterias de níquel-hidreto metálico são bastante semelhantes ao produto de níquel-cádmio. Muitos parâmetros de aplicação são pouco alterados entre os dois tipos de bateria.

Atualmente, a maioria das pesquisas gira em torno das baterias de lítio, comercializadas pela primeira vez pela Sony em 1991. Além de alimentar telefones celulares, *laptops*, câmeras digitais, ferramentas elétricas e dispositivos médicos, o lítio também é usado para veículos elétricos e satélites apresentando uma série de benefícios, tais como sua alta energia específica, carga simples, baixa manutenção e causa menores danos ao ambiente.

Todos os veículos automotores contêm baterias, elas foram introduzidas em 1912, quando assumiram um papel semelhante ao atual, substituindo a manivela de ignição e servindo para acionar as luzes. Atualmente, elas servem como fonte de energia para os sistemas auxiliares, que cresceram em quantidade, e para tarefas pontuais, como a ignição (BNDES, 2014).

2.2 A indústria brasileira de baterias automotivas

A indústria brasileira de baterias automotivas é totalmente concentrada na produção de baterias de chumbo-ácido. Embora algumas empresas trabalhem com tecnologias mais modernas, que melhoram o desempenho de seus produtos, não há empresas que produzam baterias de níquel-metal hidreto (NiMH) ou de íon-lítio (BNDES, 2014).

Ainda segundo o BNDES (2014), essa indústria constitui-se em um claro exemplo de indústria de auto-peças que sobreviveu ao processo de abertura comercial ocorrido no Brasil nos anos 1990, havendo acentuada presença de empresas de capital nacional, que respondem por cerca de 75% do mercado.

O Brasil possui amplo parque industrial de fabricação de baterias. Os estados de São Paulo e do Paraná concentram as atividades no Brasil. A Moura, maior empresa de capital nacional no setor, produz baterias automotivas em Pernambuco e, portanto, o estado também tem participação relevante na produção do país. Os Quadros 02 e 03 expõem os principais fabricantes e suas respectivas marcas, trazendo ainda informações como as aplicações dos produtos e os mercados de atuação das empresas.

Quadro 02 - Principais fabricantes de baterias automotivas instalados no Brasil

Empresa	Marcas ¹	Origem do capital	Localização	Aplicações das baterias	Mercados de atuação	Porte estimado ²
Moura	Moura e Zetta	Brasil	Belo Jardim (PE) e Itapetininga (SP)	Veículos, motos, barcos, estacionárias e tracionárias	OEM, reposição e exportação	Grande
Johnson Controls	Heliar, Bosch, Optima, Varta, Freedom	EUA	Sorocaba (SP)	Veículos, motos, barcos, estacionárias e tracionárias	OEM, reposição e exportação	Grande
Ajax	Ajax	Brasil	Bauru (SP)	Veículos, motos, barcos, estacionárias e som automotivo	Reposição e exportação	Médio
Cral	Cral	Brasil	Bauru (SP)	Veículos e tracionárias	Reposição e exportação	Médio
Tudor	Tudor	Brasil	Bauru (SP) e Governador Valadares (MG)	Veículos, motos, estacionárias, tracionárias e som automotivo	Reposição e exportação	Médio
Baterax	Baterax, Woltrax e Energex	Brasil	Umuarama (PR)	Veículos e som automotivo	Reposição	Pequeno
Camarotto	Camarotto	Brasil	Marmeleiro (PR)	n.d. ³	Reposição	Pequeno
Eletran	Eletran	Brasil	Apucarana (PR)	Veículos, tracionária e som automotivo	Reposição	Pequeno

Fonte: BNDES, 2014.

Quadro 03 - Principais fabricantes de baterias automotivas instalados no Brasil (continuação)

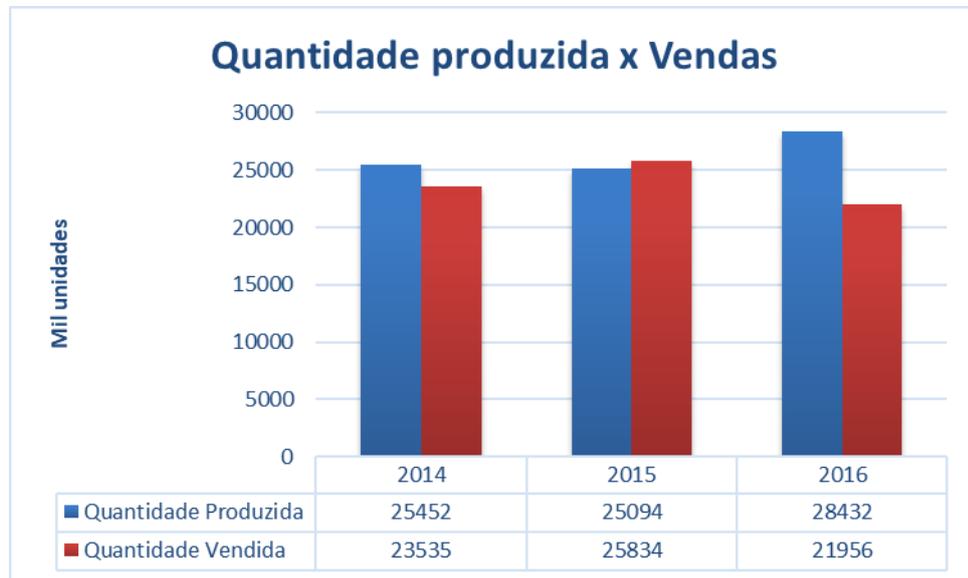
Enerbrax	Route	Brasil	Bauru (SP)	Motos e <i>jet ski</i>	Reposição e exportação	Pequeno
GNB	Reifor, Herbo e Yokohama	Brasil	Londrina (PR)	Veículos, estacionária, tracionária e som automotivo	Reposição e exportação	Pequeno
Inbracell	Excell	Brasil	Cachoeirinha (RS)	Veículos e tracionária	Reposição e exportação	Pequeno
Júpiter	Júpiter	Brasil	Cianorte (PR)	Veículos, estacionária, tracionária e som automotivo	Reposição	Pequeno
Kania	Kondor, Fort Light e Dutra	Brasil	Rafard (SP)	Veículos e tracionária	Reposição	Pequeno
Newpower	Fulguris	Brasil	Guarulhos (SP)	Estacionárias, tracionárias e industriais especiais	Reposição e exportação	Pequeno
Pioneiro	Pioneiro, Piovox, Conectiva e Arazzo	Brasil	Treze Tílias (SC)	Veículos, motos, estacionária e som automotivo	Reposição	Pequeno
Ranger	Extranger	Brasil	Apucarana (PR)	Veículos, tracionária e som automotivo	Reposição	Pequeno
Rondopar	Max, Fox, Impact e Prac	Brasil	Londrina (PR)	Veículos, motos, barcos, estacionárias e som automotivo	Reposição e exportação	Pequeno

Fonte: BNDES, 2014.

A produção e as vendas de baterias têm como drivers os mercados de *Original Equipment Manufacturer* (OEM) – no caso, as montadoras de veículos, de reposição e de exportação.

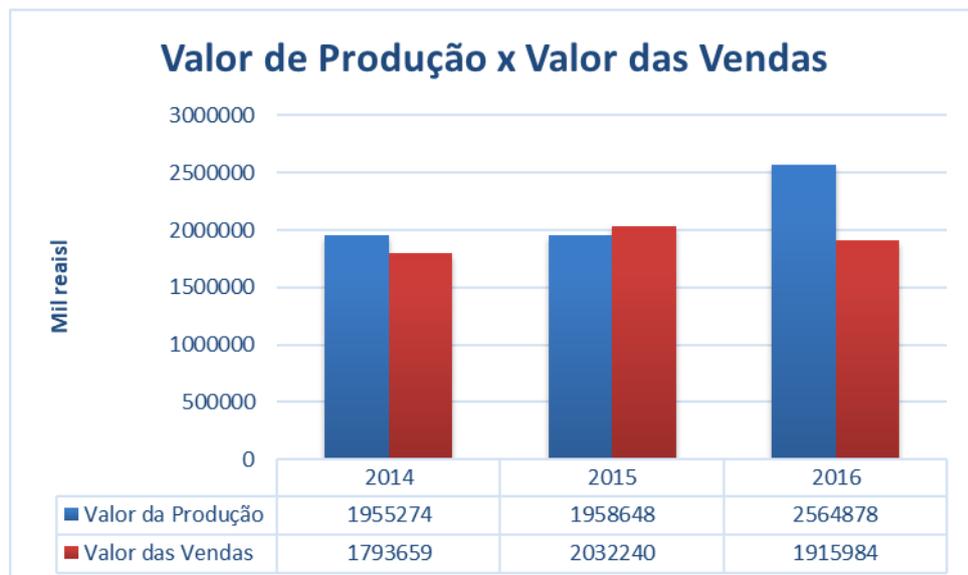
Através dos dados do IBGE com a Pesquisa Industrial Anual Produto – PIA-Produto, que insere-se no Programa de Modernização das Estatísticas Econômicas com o objetivo de atender à crescente demanda por informações estatísticas sobre bens e serviços industriais produzidos no país é possível acompanhar as estimativas de produção e vendas de baterias e acumuladores para veículos automotores, os dados mais recentes disponíveis encontram-se dispostos nas Figuras 05 e 06.

Figura 05 – Estimativas de produção e vendas de baterias e acumuladores para veículos automotores no Brasil de 2014 a 2016 em mil unidades.



Fonte: IBGE, 2019.

Figura 06 – Estimativas de do valor de produção e vendas de baterias e acumuladores para veículos automotores no Brasil de 2014 a 2016 em mil reais.



Fonte: IBGE, 2019.

2.3 Funcionamento da bateria automotiva

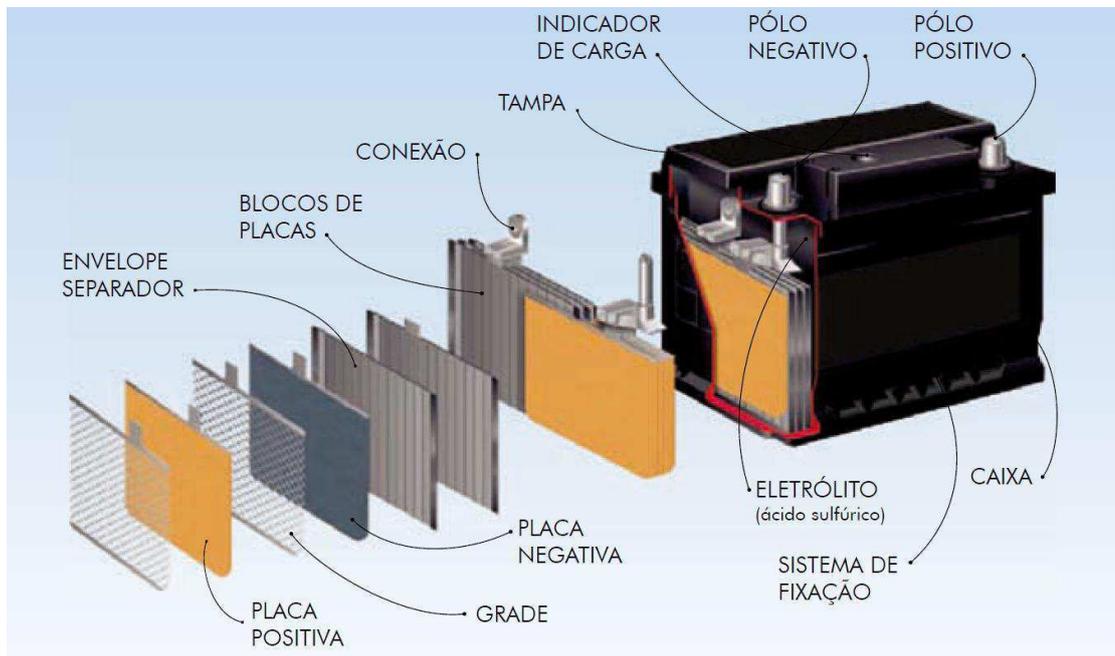
Em um veículo, a bateria desempenha o papel de uma unidade de armazenamento químico para a energia elétrica gerada pelo alternador quando o veículo está em funcionamento. Essa energia deve estar disponível para dar partida no motor depois que este tenha sido desligado. Por esse motivo, a bateria também é chamada de “bateria de partida”.

Por um lado, quando o motor estiver parado (e, portanto, o alternador também), a bateria deve ser capaz de fornecer uma alta corrente por um tempo limitado para dar partida no motor, o que é especialmente crítico em baixas temperaturas. Por outro lado, quando o motor estiver funcionando sem marcha, desligado ou quando o alternador não produz energia suficiente para cobrir a necessidade de todos os consumidores, a bateria deve conseguir fornecer uma parte da energia elétrica aos outros componentes importantes do sistema elétrico do veículo.

A bateria também absorve os picos de voltagem do sistema elétrico do veículo para que eles não danifiquem os componentes eletrônicos sensíveis.

Na bateria cada célula contém um elemento (bloco de células) que é composto por um bloco de placas positivas e negativas. Por sua vez, o bloco é composto por placas de chumbo (grade de chumbo e massa ativa) e material microporoso de isolamento (separadores) entre as placas de polaridade oposta. O eletrólito é ácido sulfúrico diluído que permeia os poros das placas e separadores e que enche os espaços livres das células. Os terminais, as conexões das células e das placas são feitas de chumbo. As aberturas das conexões das células nas divisórias são seladas. Um processo de vedação em alta temperatura é usado para selar a tampa permanentemente à caixa da bateria, o que resulta na selagem superior da bateria. Nas baterias convencionais, cada célula possui seu próprio bujão de enchimento. Ele é usado para o enchimento inicial da bateria e a saída de gás oxí-hidrogênio durante o processo de recarga. Em muitas vezes, as baterias sem manutenção parecem estar totalmente seladas, mas elas também possuem furos de ventilação e, às vezes, tampas roscadas, mas estas não podem ser acessadas. A Figura 07 ilustra os componentes da bateria automotiva.

Figura 07 - Componentes da bateria automotiva.

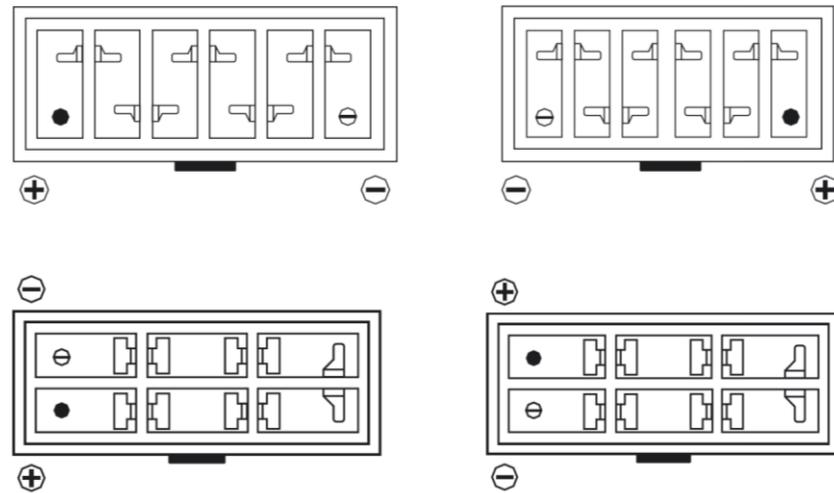


Fonte: Baterias Moura, 2019.

A caixa de uma bateria é composta por vasos e tem função de acomodar os blocos formados pelas placas. Normalmente uma bateria automotiva é constituída por 6 vasos/elementos e cada um apresenta 2,1 volts, que ligados em série totalizam 12,6 volts (no caso das baterias totalmente carregadas), sendo feita de material de isolamento resistente a ácido (polipropileno). Normalmente, ela possui trilhos na parte inferior externa, que são usados para a sua montagem. As paredes de separação dividem a caixa da bateria em células, que representam o elemento básico de uma bateria. Elas contêm os blocos de células, com as placas positivas e negativas e seus separadores.

As células são conectadas em série por meio de conexões de células, que estabelecem a conexão através dos orifícios encontrados nas paredes de divisão. As caixas das baterias de partida modernas não são mais equipadas com nervuras. Dependendo do espaço disponível e do layout do equipamento no veículo, baterias com diferentes dimensões e configurações de terminais são exigidas. Esses requisitos podem ser cumpridos através do arranjo apropriado das células (instalação longitudinal ou transversal) e de suas interconexões.

A Figura 08 fornece uma visão geral dos planos de conexão mais comuns. Conseqüentemente, o desenho técnico da caixa da bateria varia de modo correspondente.

Figura 08 – Planos de conexão das células da bateria

Fonte: Baterias Moura, 2019.

A tampa tem a função de manter os vasos selados, impedindo a saída de eletrólito do interior da bateria para o ambiente externo ou a entrada de substâncias estranhas. As tampas podem ser de dois tipos: convencionais ou seladas.

As tampas convencionais apresentam rolhas com orifício para saída de gases gerados no interior da bateria e permitem acesso ao eletrólito e as tampas seladas contêm câmara de condensação com saída de gases direcionada através de respiros canalizados, rolhas estanques não removíveis, pastilhas antichamas e indicador do estado de carga.

A pastilha antichamas permite a saída dos gases produzidos durante o uso, protegendo-a contra a entrada de faíscas que causam danos como a explosão.

O indicador de carga fica embutido na tampa e tem a função de indicar o estado de carga em que a bateria se encontra. Uma esfera que está dentro do indicador irá elevar-se de acordo com a densidade do eletrólito, tornando visível no centro do indicador um tom de cor, que poderá ser: verde, escuro ou claro, conforme o estado de carga da bateria.

O bloco de placas é formado pelo conjunto de placas positivas, negativas e separadores que interligados por conexões fica armazenado dentro dos vasos da bateria. A quantidade e área de superfície dessas placas são o fator essencial que define a capacidade Ah da célula. A espessura das placas depende do campo de aplicação da bateria.

A composição de cada bloco produz 2,1volts em circuito aberto e com plena carga, portanto, numa bateria de 6 vasos estes blocos totalizam em média 12,6 volts. A formação dos blocos de placas das baterias é totalmente automatizada, desde o envelopamento das placas,

agrupamento, até a solda das conexões. A padronização deste processo rende melhor desempenho elétrico e resistência mecânica ao produto.

Pode-se ainda detalhar, separadamente, as características de cada componente do bloco de placas:

Grade: As grades são feitas de liga de chumbo e possuem a função de condução elétrica na bateria e suporte da massa ativa. As grades das baterias são fabricadas com liga de chumbo de alta pureza resultando numa grade mais homogênea, diferencial que permite excelente condutividade elétrica a uma bateria. Na sua fabricação a grade recebe adição de cálcio e prata em quantidades que realmente melhoram o rendimento elétrico, a resistência às altas temperaturas do veículo e à corrosão, promovendo menor taxa de auto-descarga e perda d'água favorecendo a durabilidade do produto.

Massa ativa: A massa é o material ativo responsável por armazenar a energia na bateria, sendo a parte da placa da bateria que se altera quimicamente quando a corrente flui durante os processos de carga e descarga. A massa é porosa e, por isso, possui uma grande área de superfície. Quanto maior a quantidade de massa, maior a quantidade de energia que a bateria pode armazenar. O material ativo da placa positiva é o dióxido de chumbo (PbO_2), e da placa negativa é o chumbo puro esponjoso (Pb).

Placa: Chama-se placa o conjunto da grade mais a massa ativa. As placas positivas e negativas têm composições diferentes e estão intercaladas no bloco, separadas através de um material isolante denominado "separador". A montagem das placas das baterias é realizada por empaste automático trazendo inúmeros benefícios ao produto. Devido à homogeneidade da massa e a uniformidade da sua disposição nas grades, o produto apresenta melhor regularidade no desempenho elétrico e menor incidência de desagregação.

Separadores: Os separadores têm a função de isolar as placas positivas das negativas, impedindo o curto-circuito através do contato entre elas. As baterias utilizam separadores de polietileno de alto desempenho, tipo envelope, que oferecem maior resistência mecânica às vibrações, menor resistência elétrica e maior proteção a ações químicas do ácido.

Uma vez que as considerações acerca do peso e da economia do espaço são importantes para o desenvolvimento das baterias de automóvel, as placas positivas e negativas são posicionadas muito próximo umas das outras. Elas não podem encostar umas nas outras, nem quando são dobradas e nem quando partículas se desprendem de suas superfícies. Caso contrário, a bateria é imediatamente destruída pelo curto-circuito resultante.

Divisórias (separadores) são instaladas entre as placas individuais dos elementos para garantir que há espaço suficiente entre as placas da polaridade oposta e que elas permanecem

eletricamente isoladas umas das outras. Porém, esses separadores não devem impedir a migração dos íons, devem ser resistentes ao ácido e serem feitos de material poroso pelo qual o eletrólito possa circular livremente. Esse tipo de estrutura microporosa impede que as fibras de chumbo muito finas penetrem nos separadores e causem curtos-circuitos.

É utilizado uma folha de polietileno que não oxida e que resiste ao ácido é usada como material separador. Ela vem em forma de bolso e envolve (e separa) as placas negativas e positivas. Ela impede que o material ativo se desprenda das placas e impede os curtos-circuitos na parte inferior e nas bordas laterais das placas. O diâmetro médio dos poros é 10 vezes menor do que aquele dos separadores convencionais, o que é uma medida eficiente para impedir curtos-circuitos através do separador, reduzindo também a resistência elétrica.

Conexões: As conexões são responsáveis por interligar as placas de mesma polaridade dentro de um mesmo bloco e de interligar cada bloco com seu subsequente, em série, formando as baterias de 12 volts. Ou seja, têm a função de interligar as placas de mesma polaridade dentro de um mesmo bloco e interligar cada bloco com o seu subsequente, em série. Isso permite que a tensão gerada em cada bloco (aprox. 2 volts por bloco) seja somada com a do bloco seguinte até que completem 12 V (6 blocos). As conexões que ligam um bloco ao outro têm o nome de “straps”.

Polos Terminais: Os polos das baterias são responsáveis pela entrada e saída da energia acumulada na bateria, através da carga e descarga. Os polos são de extrema importância, já que fazem o contato final da bateria com o sistema elétrico do veículo. O processo de fabricação das buchas dos polos das baterias resulta numa superfície mais lisa e homogênea, com menos porosidade. Este processo impede a migração de ácido sulfúrico para fora da bateria, evitando o azinhavre.

A conexão de placa das placas positivas da primeira célula é conectada ao polo terminal positivo, e aquela das placas negativas da última célula ao polo terminal negativo. Os polos terminais são fabricados de uma liga de chumbo e formados conicamente para causar uma baixa resistência de contato com as conexões dos cabos. Entre esses dois polos terminais, existe uma voltagem terminal de aproximadamente 12 V.

Os cabos da bateria são fixados aos polos terminais através de terminais especiais de cabos. Para evitar confundir o polo positivo com o negativo, eles estão marcados com a sua polaridade. Além disso, o polo terminal positivo possui um diâmetro exterior maior do que o terminal negativo.

Eletrólito: O eletrólito é uma solução de ácido sulfúrico com densidade que varia conforme a sua aplicação. A faixa de variação da massa específica (densidade) do eletrólito de

baterias para aplicação em clima tropical deve ser de 1.280 g/L e para aplicação em clima frio deve ser de 1.270 a 1.290 g/L.

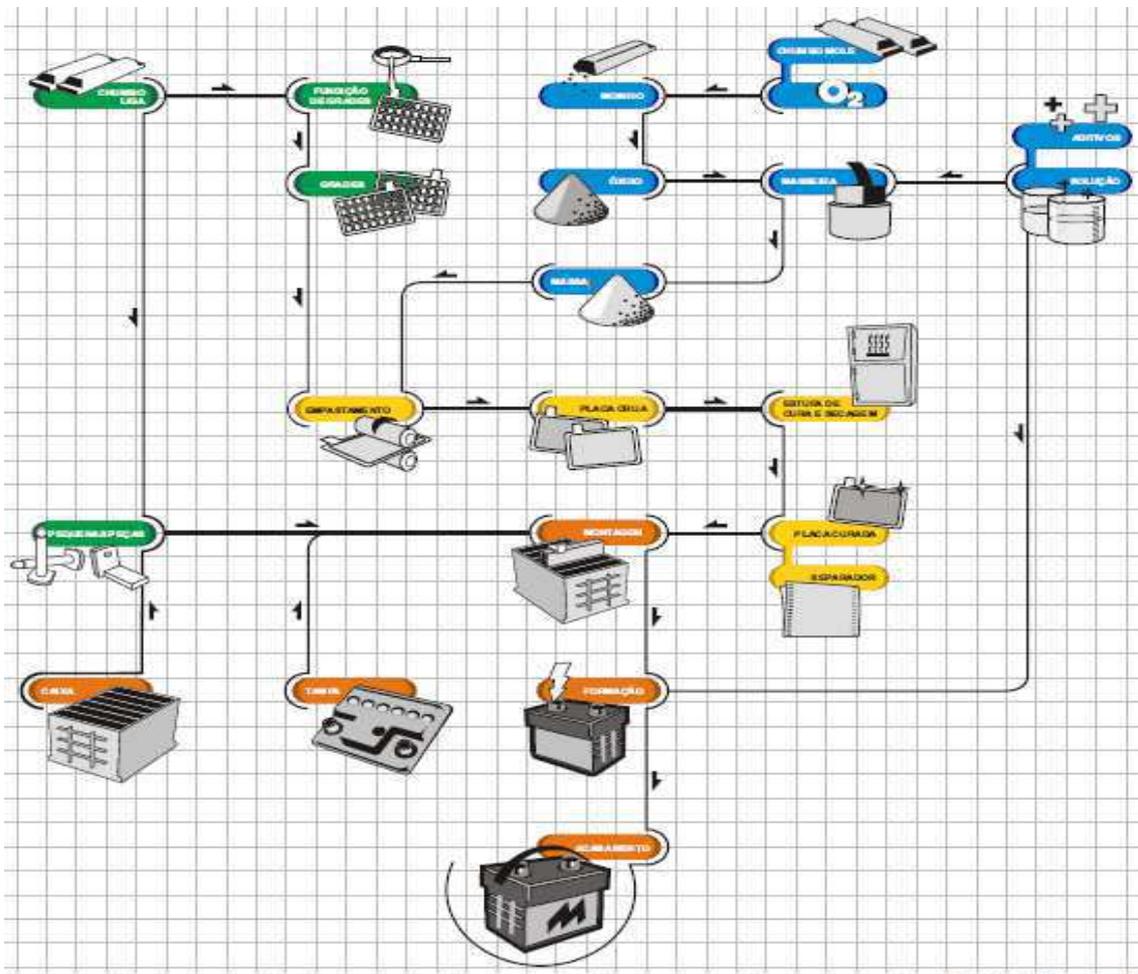
O eletrólito permeia os poros das placas e dos separadores e preenche os espaços vazios das células. Portanto, o óxido e as partículas de chumbo da massa ativa estão sempre em contato com o eletrólito. Quando o ácido sulfúrico é diluído em água, as moléculas do ácido se dividem em íons de hidrogênio carregados positivamente (H⁺) e em íons de resto de ácido carregados negativamente (SO₄²⁻). Essa divisão é necessária para tornar o eletrólito condutivo e para possibilitar a reação química durante o processo de carga e descarga.

CCA ou Corrente de Partida a Frio: A principal função da bateria é fornecer energia ao motor de arranque e conseqüentemente fazer o motor principal do veículo funcionar. Em baixas temperaturas, o sistema elétrico como um todo requer maior energia nas partidas, ou seja, uma grande descarga em ampères. O número CCA de uma bateria é a capacidade que ela tem de fornecer uma determinada corrente de partida ao veículo, a uma determinada temperatura, obedecendo a uma tensão final em condição normalizada.

2.4 Processo de produção de baterias na Acumuladores Moura S.A.

As matérias-primas básicas para a produção de acumuladores chumbo-ácido são: chumbo (em diferentes composições, a depender do uso), ácido, água, aditivos, separadores e plástico. A Figura 09 apresenta um fluxograma simplificado para o processo de fabricação de baterias. Posteriormente, cada processo é apresentado, com detalhes para a produção do material ativo das placas.

Figura 09 - Fluxograma do processo de fabricação de baterias de chumbo-ácido.



Fonte: Baterias Moura, 2019.

2.4.1 Moinhos

Na UGB 01, onde encontram-se os moinhos, o processo é iniciado com o recebimento dos lingotes de chumbo, que após uma série de etapas finaliza-se com o armazenamento do monóxido de chumbo (pó). A UGB 01 possui 2 Moinhos CAM com capacidade de produção de 27 ton./dia de pó, cada, e 4 Moinhos Barton com capacidade de 18 ton./dia, cada.

Para a produção de óxido de Barton, o chumbo derretido (450°C) é alimentado, por meio de uma bomba, na grande panela de reação (reator) equipada com uma pá de alta rotação para agitar o chumbo. O reator é aquecido e o chumbo derretido é agitado e continuamente pulverizado. Um vapor de ar umidificado oxida o chumbo e transporta as partículas de óxido de chumbo para o classificador, onde os grãos grosseiros são separados das partículas finas e depois retornam para o reator. Estas partículas grosseiras são oxidadas, dispersas e voltam para

o classificador. Um sistema de limpeza (coletor de pó) para a saída de ar garante baixos níveis de emissão de pó para a atmosfera. Na Figura 10.a tem-se uma fotografia do esquema de produção de óxido de Barton e na Figura 10.b tem-se uma visão do reator para produção mesmo.

Figura 10 - (a) Imagem do sistema completo para produção de óxido de Barton. (b) Imagem com foco no reator para produção de óxido de Barton.



(a)

(b)

Fonte: Baterias Moura, 2019.

Como a oxidação do chumbo é uma reação exotérmica, quantidades consideráveis de calor são produzidas na panela de reação. A temperatura da reação deve ser controlada com muito cuidado, uma vez que esta variável é determinante para o tipo de óxido de chumbo produzido. A panela do reator deve ser mantida entre 460°C e 470°C. Nestas condições, pequenas quantidades (menor que 15%) de β -PbO são formadas e parâmetros subsequentes da bateria são virtualmente não afetados.

A temperatura no reator depende da quantidade e velocidade do fluxo de ar umidificado na panela. Além de funcionar como catalisador da reação de oxidação, a água abaixa a temperatura na panela e fornece oxigênio adicional para a câmara de reação. Os fluxos de chumbo derretido e ar garantem a geração de energia suficiente durante a oxidação do chumbo.

O óxido de chumbo obtido com partículas suficientemente pequenas e composição de fases aceitáveis passa através de uma série de ciclones separadores e de um coletor de pó para remover o pó da corrente de ar e então é transportado para o silo. O processo é inteiramente monitorado por sensores e controlado por computador (PAVLOV, 2011).

Já o processo do moinho de bolas (óxido de atrito), CAM, é baseado em reações em fase sólida, e operando com uma faixa de temperatura entre 70 e 180°C. No processo de moinho de bolas, pequenos cilindros de chumbo são sujeitos à oxidação. Estes cilindros são alimentados

em um grande tambor de aço que gira em torno de seu eixo horizontal. Dentro do tambor que gira, as peças de chumbo friccionam-se e batem umas contra as outras.

A energia gerada pelo atrito entre as peças de chumbo é suficiente para iniciar a reação de oxidação na superfície. Como esta reação é exotérmica, o calor envolvido (983 kJ.kg^{-1}) sustenta a temperatura de oxidação e o excesso de energia é dissipado pelo resfriamento do tambor, por meio da aspersão de ar frio e de água através do reator. A temperatura do tambor é mantida a um valor no qual a superfície de chumbo oxide facilmente. O fluxo de ar aspirado através do moinho tem mais duas funções: fornecer oxigênio para o processo de oxidação e para arrastar o pó de óxido de chumbo obtido. O ar é geralmente fornecido por duas fontes: através do orifício de entrada utilizado para alimentar o chumbo no moinho e de uma alimentação direta de ar frio.

A taxa da reação exotérmica deve ser cuidadosamente monitorada e controlada, ajustando os fluxos de água e de ar. Após a separação, as partículas de óxido de chumbo grosseiras são devolvidas ao moinho para maior moagem e oxidação. Os ciclones separadores e o coletor de pó são utilizados para recolher o pó de óxido de chumbo com um tamanho das partículas determinadas. O ar é recirculado e parte dele sai por meio de um filtro de modo a manter a concentração de emissões de chumbo na exaustão abaixo de $1\text{-}2 \text{ mg/m}^3$.

A taxa de produção do processo de moinho de bola é proporcional à velocidade de rotação do tambor. A energia necessária para a produção de uma tonelada de óxido de chumbo é relativamente constante quando o moinho opera entre 55 e 90% da sua velocidade de rotação crítica. Esta corresponde à velocidade de rotação de tambor em que os cilindros de chumbo aderem às paredes sob a ação de forças centrífugas e não friccionam umas contra as outras.

As etapas realizadas no decorrer do processo na UGB 01, conforme visto na Figura 11, onde inicialmente ocorre a fusão do chumbo, onde os lingotes de chumbo, também chamados de chumbo mole, são transportados até uma máquina denominada cadinho, que aquece o chumbo até torná-lo líquido. Após a fusão, o chumbo derretido passa por uma máquina chamada cilindradeira, que é responsável por moldar o chumbo para tomar o formato cilíndrico, chamado de tarugo.

Na moagem do chumbo o tarugo é transportado por meio de elevador e esteira até o moinho (Moinho CAM/Atrito ou Moinho Barton), onde reage com O_2 e H_2O , que funciona como catalisador, formando o monóxido de chumbo (PbO) em forma de pó. A reação é exotérmica, ou seja, a energia é transferida do meio interior para o exterior ocorrendo liberação de calor, assim, o resfriamento é realizado por meio de tubulações de água que trocam calor com o meio aquecido logo após o monóxido de chumbo é transportado por meio de um exaustor

e separado do ar por um filtro de manga. Um exaustor é utilizado para conduzir o monóxido de chumbo até o filtro, que retém o óxido nas mangas filtrantes e em seguida, por meio de jatos pulsantes, desprende o monóxido de chumbo. Após a filtragem e separação do monóxido de chumbo, o mesmo é armazenado em silos e passa por uma maturação de aproximadamente 48 horas para que possa ser utilizado nas demais etapas do processo de fabricação das baterias.

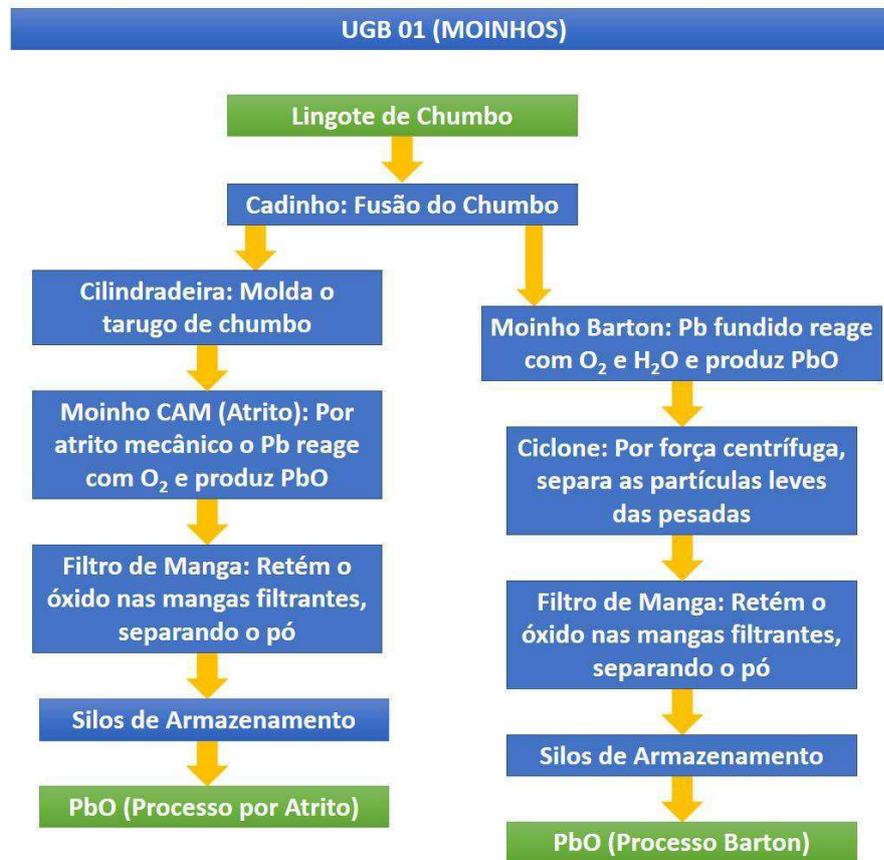
O óxido de chumbo deve satisfazer alguns critérios de qualidade para garantir a capacidade e a vida das baterias e satisfazer os requisitos industriais de processo.

Dentre os principais parâmetros que devem ser monitorados apresenta-se o teor de chumbo livre que corresponde ao regente (chumbo metálico) que não sofreu oxidação e praticamente não reage com o ácido acético diluído, enquanto que o óxido de chumbo (ambas as modificações) é facilmente dissolvido. Essa propriedade destes dois componentes é a base do método de determinação. O teor de chumbo metálico livre é uma característica que deve ser acompanhada continuamente. A amostra deve ser representativa do material produzido ou armazenado. Entretanto, isso se mostra complicado na prática, uma vez que o chumbo e o óxido de chumbo tendem a se separar durante o processo de produção, além de conteúdos de bateladas anteriores podem vir a contaminar a amostra. Para tomada de forma mais homogênea são utilizados dosadores, os quais são programados para coleta da amostra ao longo do tempo. Variações de $\pm 4\%$ são aceitáveis.

Outro parâmetro monitorado é a absorção de ácido, já que a reação do óxido com o ácido sulfúrico é um importante fator para o posterior empastamento e processo de produção da bateria. Então a quantidade deste ácido que pode ser consumido por uma amostra sob certas condições definidas torna-se um significativo critério de qualidade. De um grão muito fino de óxido de chumbo deve-se esperar transformar-se totalmente em sulfato de chumbo em excesso de quantidade de ácido sulfúrico. Para um óxido puro, isto deverá significar uma absorção de ácido de 440 mg/g e para 70% de óxido uma absorção de aproximadamente 310 mg/g.

A capacidade de absorção de água também é monitorada por se tratar de uma importante propriedade de um óxido para formar uma massa de fácil processabilidade, sendo comprovada pelo teste de absorção de água. Neste caso, o óxido é misturado com água pura e a consistência do resultado da pasta determinado por um penetrômetro. Este é em forma de cone e a queda de um peso alcança uma definida profundidade da pasta a certa altura de queda. O óxido tem que ser misturado com uma quantidade de água onde uma boa profundidade é obtida.

Figura 11 - Fluxograma dos moinhos UGB 01



Fonte: Baterias Moura, 2019.

2.4.2 Grades

Na UGB 02 são produzidas tanto grades para placas positivas quanto para negativas, que se diferem de acordo com a quantidade dos elementos de cada liga.

Dois processos distintos são utilizados para a fabricação das grades: grades enfitadas e grades laminadas, conforme visto na Figura 12.

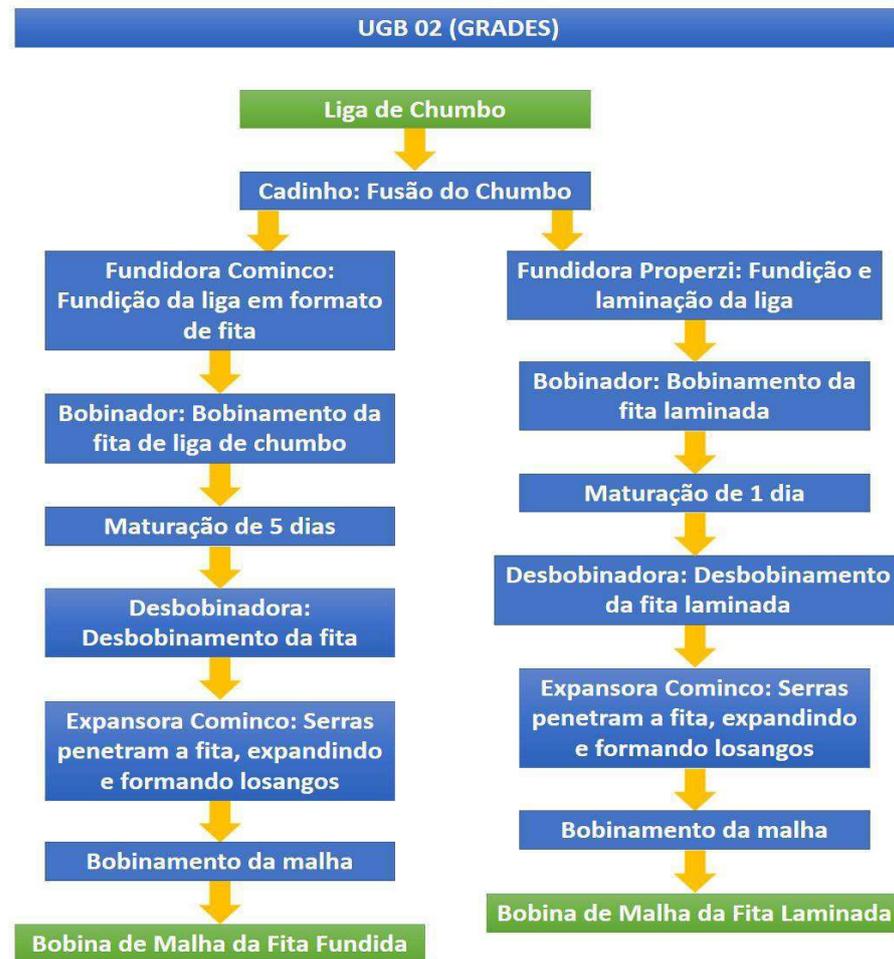
O processo das grades enfitadas é formado pela fusão da liga de chumbo onde a fusão é feita no Cadinho, que aquece e derrete a liga com temperaturas em torno de 450°C. Após a fundição e o enfitamento são realizadas na fundidora cominco, na qual o chumbo é resfriado para se obter o formato de fitas no estado sólido. No corte e bobinamento, após a fundição, a liga torna-se fita e passa por um bobinador responsável por enrolá-la em bobinas e fazer o corte.

Depois de produzidas, as fitas fundidas não têm resistência mecânica suficiente e ficam estocadas por 5 dias para maturação, ocorrendo a migração dos elementos de liga para o contorno de grão.

Após a maturação, as fitas passam pela desbobinadora e a expansão das fitas é feita pela expansora cominco, na qual serras penetram a fita, expandindo e formando losangos, passando a se chamar Malha e em seguida é realizado o bobinamento da malha.

Para as grades laminadas, a fusão é feita no cadinho e a fundição e a laminação são realizadas na Fundidora Properzi. Depois de produzidas, as fitas laminadas não têm resistência mecânica suficiente e ficam estocadas por 1 dia para maturação. Feito isso, o controle da largura e da espessura é realizado pela laminadora, em seguida, ocorre o corte e o bobinamento da liga no formato de lâmina.

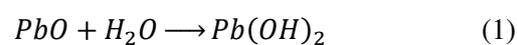
Após a maturação, as fitas laminadas passam pela desbobinadora, a fita deve estar bem alinhada, então, ocorre a furação. Em seguida, a fita passa pela expansora Roche, na qual serras penetram a fita laminada, expandindo e formando losangos, passando a se chamar malha, e por fim, ocorre a planificação da grade e o corte da “orelha” e o bobinamento da malha.

Figura 12- Fluxograma da produção de grades.

Fonte: Baterias Moura, 2019.

2.4.3 Empastamento

Na fabricação de placas positivas e negativas para as baterias chumbo-ácido são utilizadas massas de óxido de chumbo saturada com água e sulfatada. Normalmente, a água é adicionada ao óxido antes do ácido H_2SO_4 (densidade em torno de 1.400 g/L) e é adsorvida na superfície do óxido com formação de $Pb(OH)_2$, de acordo com a seguinte reação conforme a Equação 1:



A adição de água é requerida antes da adição de ácido porque a o óxido precisa estar altamente alcalino (pH entre 8 e 10), antes de reagir com o ácido. A mistura de óxido e água é

muito mole e flui facilmente. Com a adição de H_2SO_4 , energia é liberada e a pasta torna-se cada vez mais dura. Este deve ser adicionado lentamente de modo a evitar uma excessiva elevação da temperatura na mistura, além de evitar a formação de “massa queimada”, os quais são grumos (torrões) de $PbSO_4$.

A mistura de $Pb(OH)_2$ e H_2SO_4 na massa caracteriza-se como uma reação neutralizadora. À medida que o $Pb(OH)_2$, o qual age como um álcali fraco, reage com H_2SO_4 , $PbSO_4$ é formado, o qual se comporta como um sal de ácido no início. Este continua a reagir com o PbO remanescente para formar uma série de sulfatos básicos de chumbo, começando em $PbO.PbSO_4$ para $3PbO.PbSO_4.H_2O$ (3SB) na pasta úmida. Caso, elevadas temperaturas ($>73^\circ C$) sejam mantidas durante longos tempos de mistura, os cristais tribásicos (3SB) transformam-se em tetrabásicos, ou 4SB ($4PbO.PbSO_4$). A formação deste termina a reação de neutralização. Se a reação continuar quando os cristais 4SB tiverem crescido muito, a pasta não terá um “rangido”, nem boa consistência para empaste. Este problema é mais evidente nas pastas com conteúdo maior de $PbSO_4$ e ácido.

As temperaturas da massa são controladas para não excederem $48^\circ C$, antes da liberação para o empastamento, com o propósito de limitar a perda de umidade. Nos picos de temperatura, a pasta contém principalmente 3SB, α - PbO residual e 16-18% de chumbo livre, caso tenha sido utilizado um óxido com 22% de Pb livre. A concentração de 3SB dependerá da quantidade de H_2SO_4 adicionada.

As principais fontes de energia adicionadas e removidas durante o processo são o calor de umidificação pela água adicionada ao sistema; calor de hidratação; calor da diluição prévia que é perdido antes da mistura, criando um efeito resfriador depois da reação; calor da diluição por água da massa sendo adicionado ao sistema, mas subtraído após a reação; calor da reação e trabalho mecânico convertido em calor.

Os principais aditivos utilizados na massa negativa são: vanisperse, negro de fumo, sulfato de bário e fibra sintética. Enquanto que apenas esta última e o perborato de sódio são utilizados na massa positiva.

As funções mais importantes destes são da vanisperse atuando como aditivo orgânico; aumentando a vida útil da bateria; conferindo maior capacidade para partida a frio; além de aumentar a capacidade de reserva.

Já o negro de fumo que é composto principalmente de carbono aumenta a condutividade elétrica da massa ativa de chumbo no final da descarga, quando aumentam substancialmente os cristais de $PbSO_4$ no material ativo negativo (NAM) além de aumentar a área superficial da

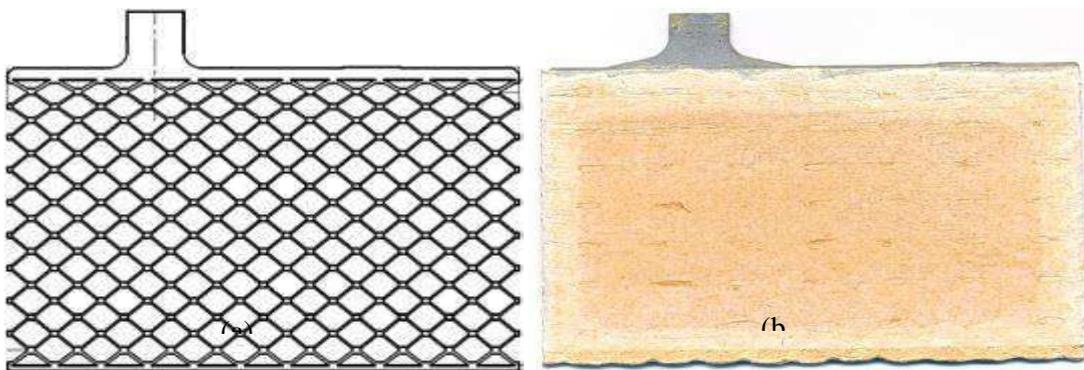
NAM eletroquimicamente, aumentando a aceitação de carga nas placas negativas durante a ciclagem.

O Sulfato de Bário serve como centro de nucleação para crescimento dos cristais de PbSO_4 . Assim a adição de BaSO_4 reduz a supersaturação da solução nos poros da massa ativa negativa; pela facilitação do processo de cristalização, reduz a deposição de uma contínua camada de passivação de PbSO_4 , o qual impede o processo e reduz a capacidade da placa. Portanto, aumenta a vida útil da bateria por meio de processos de cristalização.

A fibra sintética contribui para as características físicas da massa, com ausência da mesma, a pasta ficaria com aspecto esfarelado, além de contribuir para a adesão massa-massa e estrutura física da placa.

Uma vez com a pasta preparada, é possível a criação da placa propriamente dita pela sobreposição desta na grade de chumbo. Existem vários tipos de grades diferenciados: fundida, estampada, laminada, expandida, etc. Dentre essas tecnologias, esta última é a mais utilizada recentemente. O empaste consiste nesse espalhamento da massa sobre a grade, conferindo estrutura física mais rígida e proporcionando uma forma de conectar placas entre si, por meio de soldas. Na Figura 13 tem-se uma ilustração da grade e da placa.

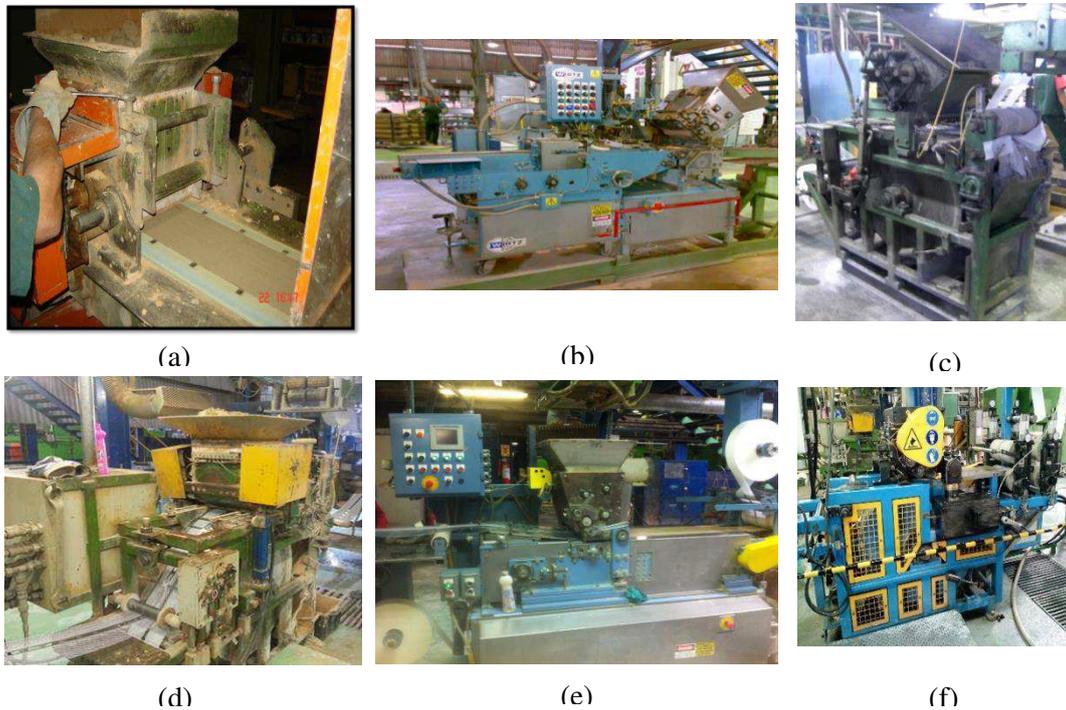
Figura 13 - Imagem ilustrativa da (a) grade e (b) placa.



Fonte: Baterias Moura, 2019.

A principal função da empastadeira (Figura 14) é aplicar a massa na grade e é composta principalmente por (i) Alimentador de grade, (ii) Cabeçote, (iii) Túnel de secagem, (iv) Final de Linha.

Figura 14 - Principais modelos de empastadeira: (a) MAC, (b) FOP, (c) Tambor (Cominco), (d) Tambor (Properzi), (e) Steel Belt, (f) Frimax



Fonte: Baterias Moura, 2019.

As etapas (Figura 14) podem ser descritas da seguinte maneira: inicialmente, os rolos com fitas de chumbo são expandidos e há a formação das orelhas e da grade de diamantes; em seguida, o espalhamento da massa sobre a grade com a aplicação de papel em ambos os lados, há uma divisão da malha empastada, obtendo-se assim as placas para posterior secagem e empilhamento para que sejam direcionadas para o processo de cura e secagem.

Na masseira ocorre a mistura dos aditivos respectivos de cada placa e do óxido de chumbo, além do ácido sulfúrico (H_2SO_4) e da água desmineralizada (H_2O). Cada masseira utiliza cerca de 1000 Kg de óxido por batelada. Em seguida, as grades passam por uma máquina que faz o desbobinamento das bobinas de grades. Após desbobinadas, as grades passam pelo Cabeçote, onde ocorre o empastamento. A massa pronta é depositada sobre um cabeçote que a comprime contra as grades, formando as placas.

As placas passam então pelo Divider, que faz o corte para tomar o formato desejado, após empastadas e cortadas passam agora por um túnel de secagem com o objetivo de diminuir a umidade de cada placa, que deve estar em torno de 9 a 12%, e por fim, as placas devem passar por um processo de cura que ocorre em estufas com temperatura e umidade controladas. Após o processo de cura, elas serão utilizadas na Montagem.

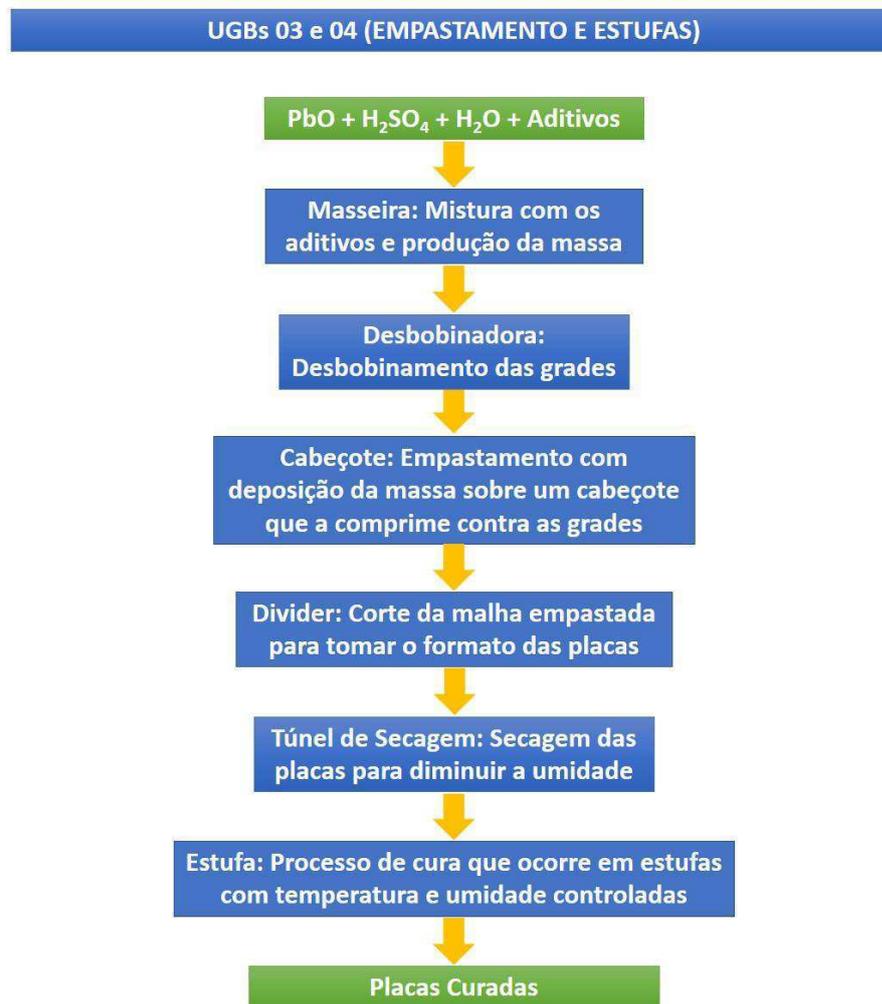
2.4.4 Cura e secagem

O processo de cura de placas é um processo crítico para fabricação de baterias, o qual afeta a qualidade e a vida, bem como a produtividade da empresa. Durante o processo de cura, as partículas da massa estão interligadas para formar uma forte massa porosa ininterrupta (esqueleto) que, por sua vez, está firmemente ligada à rede.

Tipicamente, após serem parcialmente secas no túnel de secagem, as placas são dispostas em pilhas (empilhados) e arranjadas em paletes. Em seguida, são encaminhadas com uma empilhadeira para um sistema de cura em estufas, tipicamente do tipo batelada. Os paletes são dispostos horizontalmente e/ou verticalmente. Deve haver espaço vazio suficiente em torno dos paletes para permitir a livre circulação do ar e favorecer um processo de cura e secagem mais homogêneo. Essa livre circulação de ar ao longo da estufa é tão essencial quanto temperatura e umidade para uma cura uniforme das placas em todas as partes da câmara. A distribuição uniforme do fluxo de ar dentro da câmara é complicada pelo carregamento irregular da câmara.

Melhor circulação de ar pode ser conseguida quando o ar é introduzido pela lateral da câmara, forçado a fluir em toda a sua altura e comprimento e levado para fora da câmara através da saída no lado oposto. Neste caso, o ar fluirá quase uniformemente sobre os paletes com placas empilhadas. Tipicamente, as câmaras de cura possuem ventiladores ou exaustores montados no teto de modo a favorecer a renovação do ar interno. A umidade e temperatura são controladas ao longo da cura e secagem e perfis podem ser implementados de modo a otimizar o processo, considerando a carga da estufa, tipos de placa, sua disposição na câmara entre outros parâmetros. Além disso, é possível utilizar água atomizada ou na forma de vapor para aumentar a umidade relativa no interior da estufa (NAPOLEON, 1987).

De acordo com Pavlov (2011), dentre os principais fenômenos que ocorrem durante o processo de cura pode ser observado a massa porosa rígida da placa que é formada nesta etapa, onde os cristais presentes na massa crescem em tamanho. A água contida em finas lâminas de líquido entre as partículas evapora como consequência da ligação dos cristais 3SB ou 4SB e partículas PbO em um esqueleto rígido; Quando a cura é conduzida a temperaturas acima de 80°C, a pasta 3SB é convertida em massa curada 4SB; chumbo livre residual na pasta é oxidado e está presente no óxido de chumbo que permaneceu sem sofrer oxidação durante o processo de produção da massa; e a liga da grade é oxidada e uma camada de corrosão forma na superfície da grade que a torna fortemente ligada à pasta curada.

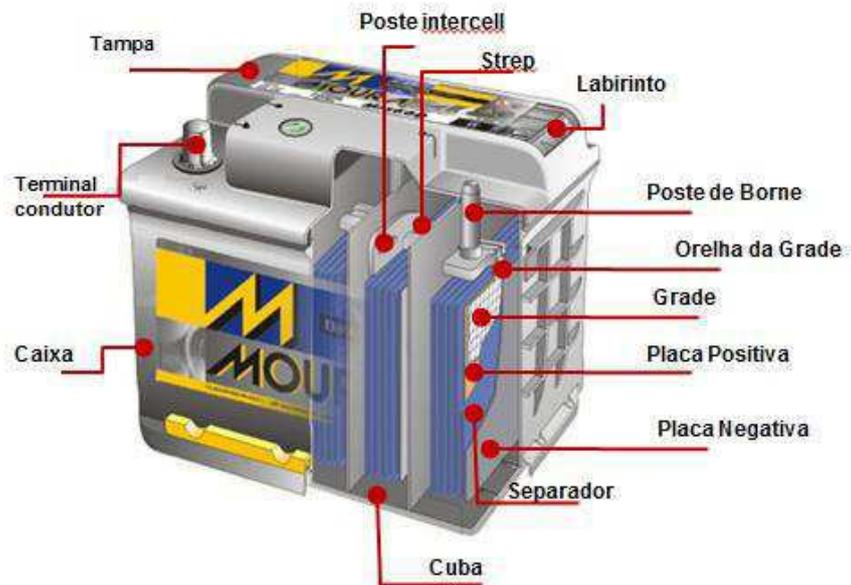
Figura 15 - Fluxograma de empastamento e cura.

Fonte: Baterias Moura, 2019.

2.4.5 Montagem

Após o processo de secagem, as placas dispostas em cavaletes são direcionadas para o estoque e, em seguida, para o processo de montagem. Este consiste na organização das placas positivas e negativas de modelos especificados para cada bateria, juntamente com um separador microporoso em elementos. Estes são dispostos em cubas presentes no interior de uma caixa de polipropileno. São realizadas conexões, conhecidas por soldas *intercell* entre elementos. Por fim, a tampa é selada e as baterias montadas são dispostas em paletes para o transporte. Os principais elementos da bateria montada são apresentados na Figura 16.

Figura 16 - Principais componentes de uma bateria montada.

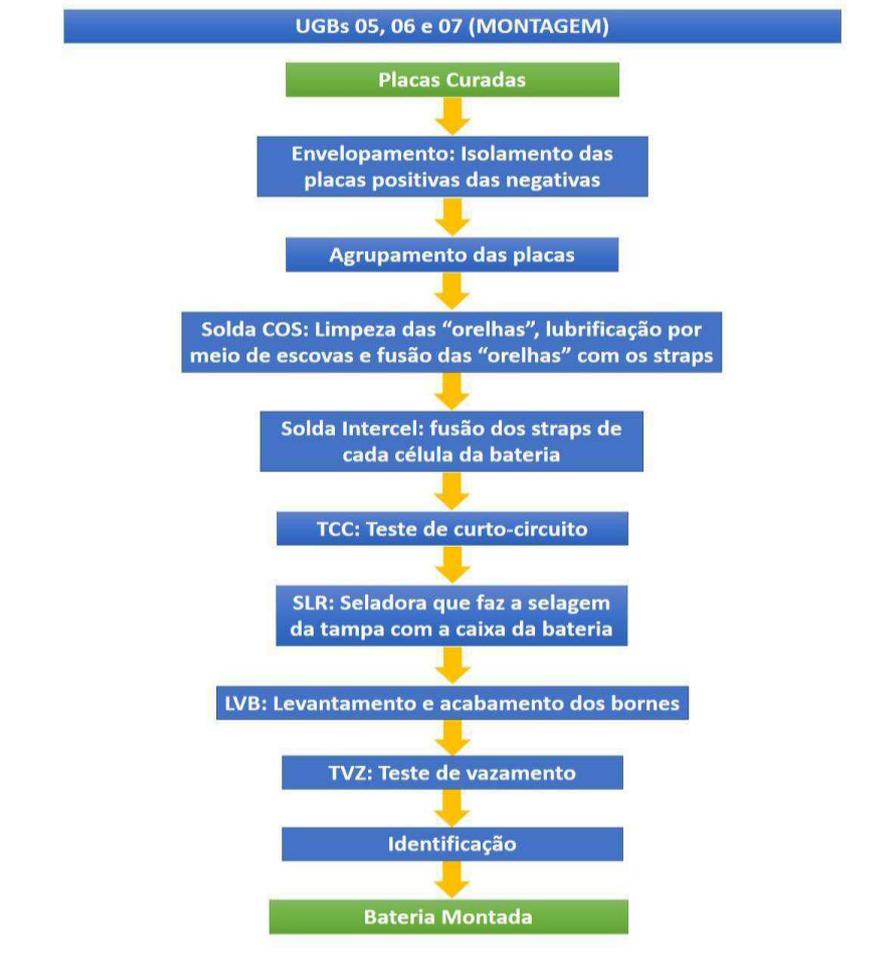


Fonte: Baterias Moura, 2019.

A Montagem é realizada nas UGBs 05, 06 e 07, consistindo das seguintes etapas, conforme pode ser visualizado na Figura 17.

Com as placas positivas e negativas já finalizadas, é realizado o envelopamento das placas negativas com o objetivo de isolar as placas positivas das negativas. Após o envelopamento, as placas positivas e negativas são distribuídas de acordo com uma ordem para cada tipo de bateria e passam pela Solda COS, onde ocorre a limpeza das “orelhas” e a lubrificação por meio de escovas, a fusão das “orelhas” forma os *straps* por meio de moldes e em seguida são colocadas na caixa da bateria. Testes da fusão das orelhas com os *straps* são realizados em determinados intervalos de tempo. Em seguida, é realizada a fusão dos *straps* de cada célula da bateria. Em determinados intervalos de tempo são feitos testes da fusão dos *straps*. Realiza-se então o teste de curto-circuito, para verificar se as células estão em curto e em seguida, as baterias passam pela Seladora (SLR), que faz a selagem da tampa com a caixa da bateria. Testes são feitos para verificar a qualidade dessa selagem. Faz-se então o levantamento e o acabamento dos polos pela LVB ou de forma manual em algumas linhas, após isso, é feito o teste de vazamento TVZ, que verifica vazamentos na caixa da bateria e por fim, faz-se a identificação das baterias na caixa.

Figura 17 - Fluxograma da montagem da bateria.



Fonte: Baterias Moura, 2019.

2.4.6 Formação e acabamento

O processo de formação consiste na conversão do material ativo presente nas placas, PbSO_4 , em dióxido de chumbo (PbO_2) nas placas positivas, e chumbo metálico esponjoso (Pb) nas placas negativas. Para tanto, as baterias montadas são preenchidas com solução de ácido sulfúrico, $\text{H}_2\text{SO}_4(\text{aq})$, e dispostas em bancos para o processo de injeção de carga (formação). As baterias no interior dos bancos são circundadas de água de modo a auxiliar a dispersão do calor gerado durante as reações de formação. As baterias são dispostas em circuitos e a quantidade destes depende do tamanho do banco de formação. Em seguida, uma fonte externa transfere energia elétrica para as baterias de forma monitorada e controlada. Nesse momento iniciam-se as reações de carga, e o material ativo das placas é eletroquimicamente transformado.

A Formação é o processo que tem como objetivo formar eletroquimicamente a bateria, dando a carga inicial. As baterias são enchidas com uma solução de ácido sulfúrico (H_2SO_4) e em seguida são carregadas sob correntes e temperaturas controladas. Nesse processo, ocorre a conversão do monóxido de chumbo (PbO), precursor, em dióxido de chumbo (PbO_2), placa positiva, e em chumbo esponjoso (Pb), placa negativa.

Os elementos necessários para a realização da formação são a bateria crua (montada), a solução ácida, energia e programação/demanda. O processo inicia-se com a desmineralização da água para utilização no preparo de solução. Utilizam-se desmineralizadores para retirar os sais da água, que passa por filtros como o Filtro de Areia (filtra partículas maiores), o Filtro de Carvão (retira o odor da água), o Filtro de Resina Catiônica (retém íons positivos) e o Filtro Aniônico (retém íons negativos). Para verificar a qualidade da desmineralização, realizam-se periodicamente testes de condutividade da água, se a condutividade for acima de $20 \mu\text{S}$ significa que há um excedente de sais, portanto, a água deve continuar no processo de desmineralização para evitar a formação de pilhas de íons nas placas.

Na formação, as placas irão sofrer transformações que irão produzir o material ativo do acumulador (chumbo e bióxido de chumbo). Nessa etapa, a bateria será enchida com uma solução de ácido sulfúrico e em seguida seus terminais serão ligados a um retificador que irá passar uma corrente elétrica contínua que produzirá as transformações eletroquímicas. A reação entre a solução de ácido sulfúrico com as placas cruas durante a etapa de enchimento, é chamada de sulfatação, e ocorre com bastante desprendimento de calor (reação exotérmica).

É necessário aguardar que todo o interior da placa crua da bateria esteja umedecido (sulfatado) para que a formação propriamente dita seja iniciada. Durante este período a densidade da solução diminui. A formação propriamente dita, consiste na passagem de uma corrente elétrica entre as placas, de modo que a placa negativa irá se converter em chumbo e a positiva em bióxido de chumbo e o ácido sulfúrico será produzido. Nos estágios iniciais da formação, a densidade da solução está baixa, assim como sua condutividade elétrica. As placas também são pouco condutoras nesse estágio de modo que existe uma perda de energia elétrica que é convertida em calor.

A formação das placas negativas é um processo eficiente e ocorre sem dificuldade, no entanto, as placas positivas são difíceis de formar. Assim, em uma bateria, as placas negativas se formam primeiro que as positivas. Quando as placas negativas já estão formadas, a passagem de eletricidade pela mesma provoca outra reação, que é a formação de gás hidrogênio sobre a mesma, com mais desprendimento de calor. A formação é encerrada, quando a placa positiva está formada e isso ocorre quando a bateria recebe toda a carga programada. A densidade final

é aumentada atingindo o valor especificado, e este também pode ser um critério de encerramento da formação.

A concentração de ácido sulfúrico exerce influência no processo de sulfatação das placas durante o enchimento e formação, e por consequência na estrutura e na composição de fase dos materiais ativos. Por isso, a densidade da solução tem importantes efeitos sobre a performance do acumulador. Ela tem influência direta na tensão final da bateria e na condutividade da solução, que é importante para as descargas. A escolha da densidade inicial deve levar em consideração a densidade final requerida pelo cliente.

É bastante comum o enchimento da bateria com solução de densidade elevada com o propósito de se atingir uma densidade final elevada. Caso o objetivo seja uma densidade final mais baixa, o enchimento escolhido deve optar por uma com solução de densidade evidentemente mais baixa. A solução de ácido sulfúrico deve ter uma tolerância máxima de ± 10 g/L em relação ao especificado conforme a Tabela 01:

Tabela 01 - Valores médios de densidade de enchimento e densidade final após formação

Densidade inicial (g/L)	Densidade final (g/L)
1200	1250
1220	1270
1240	1280

Após o processo de formação, o nível de eletrólito é reduzido e torna-se mais concentrado do que no momento do enchimento. De modo que as baterias sejam entregues ao cliente com uma solução homogênea e de nível e densidades controladas, no processo de acabamento, há um nivelamento com eletrólito de concentração conhecido. Em seguida, as baterias são lavadas, passam por testes, são seladas com uma sobretampa e recebem um acabamento final. Após receberem o rótulo, garantia e serem paletizadas, são direcionadas para o centro de distribuição.

As etapas do processo de acabamento de baterias, conforme Figura 18, são:

- ✓ MAN: Máquina Automática de Nivelar responsável pelo nivelamento da solução bateria.
- ✓ TN: Teste de Nivelamento.
- ✓ MLS: Máquina de Lavagem e Secagem da bateria.
- ✓ SLR: Colocação da sobretampa e selagem na Seladora.
- ✓ TVZ: Em seguida, é feito o Teste de Vazamento na bateria.

- ✓ MLB: Máquina de Lixar Bornes que faz a fixação e o polimento dos bornes ou polos da bateria.
- ✓ TAD: Teste de Auto Descarga, no qual medem-se a tensão de circuito aberto (TCA) de ≈ 13 V e a tensão de circuito fechado (TCF) de ≈ 8 V.
- ✓ DIE: Teste de Dielétrico com aplicação de 6 kV no borne da bateria para verificar a fuga de corrente.
- ✓ Pesagem da Bateria
- ✓ MRT: Máquina de Rotular que faz a rotulação, a aplicação dos rótulos e do certificado de garantia.
- ✓ TV: Teste de Visão que verifica a conformidade da rotulagem.
- ✓ PLT: Plastificação da Bateria.
- ✓ Identificação: Aplicação de um código de identificação.
- ✓ Aplicação da alça e paletização.

Figura 18 - Fluxograma da formação e acabamento de baterias.



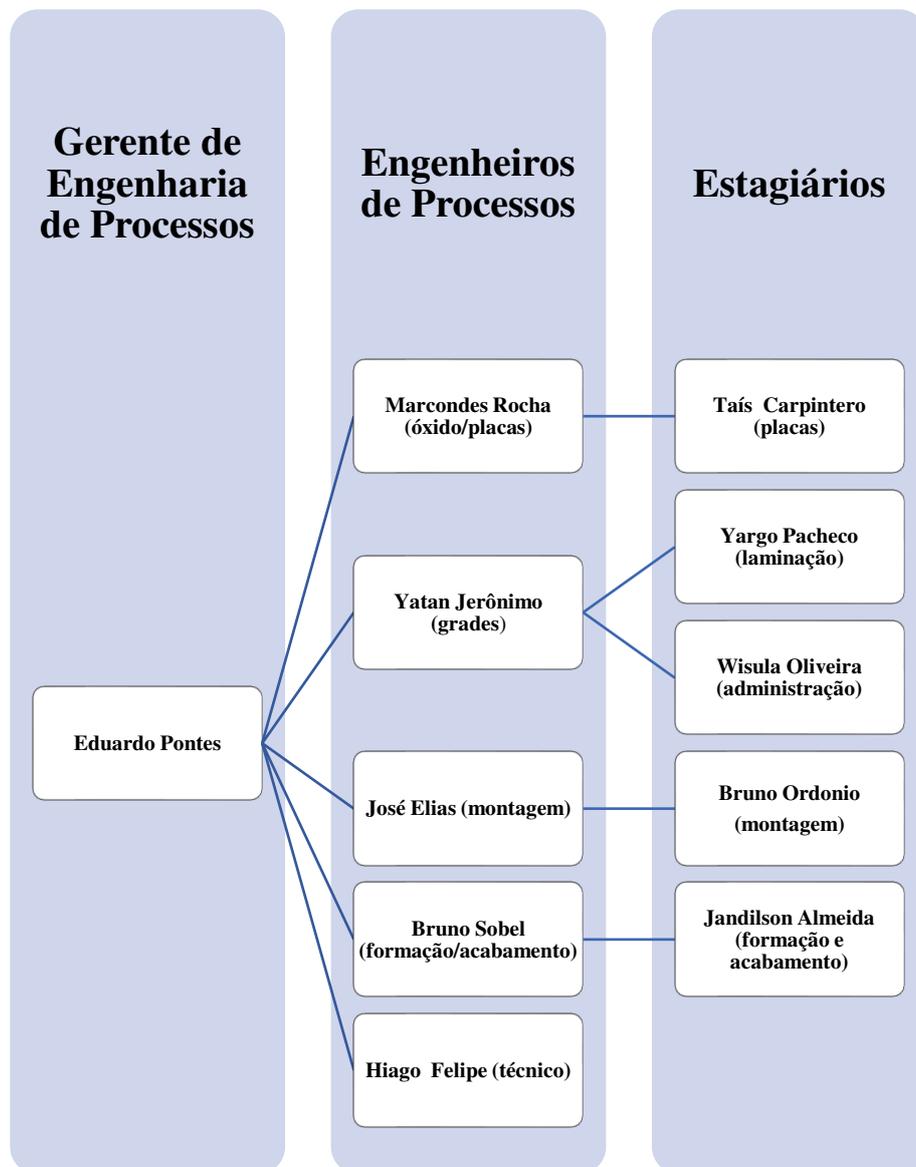
Fonte: Baterias Moura, 2019.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Os trabalhos desenvolvidos no estágio foram realizados na Engenharia de Processos da UN-01 da empresa Acumuladores Moura S.A.. Este setor atua como apoio à produção de baterias e desempenha, dentre várias funções: a elaboração e modificação de documentos, a busca por oportunidades que possam reduzir custos e/ou aumentar os lucros e a produtividade, projetos de melhoria dos processos, utilizando-se da metodologia do WCM e aplicando ferramentas como o PDCA, acompanhamento de padrões de processos, padronização de processos produtivos, controle de parâmetros de processo, adequando-os às necessidades exigidas para o produto e às limitações impostas pelo meio produtivo, além de garantir a excelência da qualidade do produto, de modo a satisfazer o cliente.

O departamento utiliza de conhecimentos técnicos e/ou de engenharia de modo a contribuir para o processo de produção de baterias, o qual apresenta uma grande quantidade de variáveis importantes. É papel também do profissional desse setor intervir na produção caso seja necessário o tratamento de alguma anomalia. O setor está organizado de acordo com o organograma apresentado na Figura 19.

Figura 19 - Organograma da Engenharia de Processos da UN 01.



Fonte: Próprio Autor, 2019.

Com base no organograma apresentado, nota-se que a ênfase dos trabalhos realizados durante o período de estágio foi direcionada às Unidade de Gerenciamento Básicas (UGB) responsáveis pela formação e o acabamento das baterias.

Dentre as atividades realizadas, foram desenvolvidos projetos direcionados principalmente para a qualidade do processo e da bateria, visando otimizar métodos para reduzir os defeitos na garantia e também na criação de novos processos. O principal destes tratou do desenvolvimento de um método para atingir a forma mais eficiente do processo de formação, o desenvolvimento de um equipamento para assistência técnica para detecção de furos nos

separadores, aperfeiçoamento do processo de selagem de sobretampa no acabamento, e trabalhos para redução de variação do nível das baterias no acabamento. Nestes projetos, foi utilizada a metodologia PDCA, a qual estabelece a sequência: Planejar, Executar, Verificar e Agir.

3.1 Projeto máxima eficiência da formação de baterias

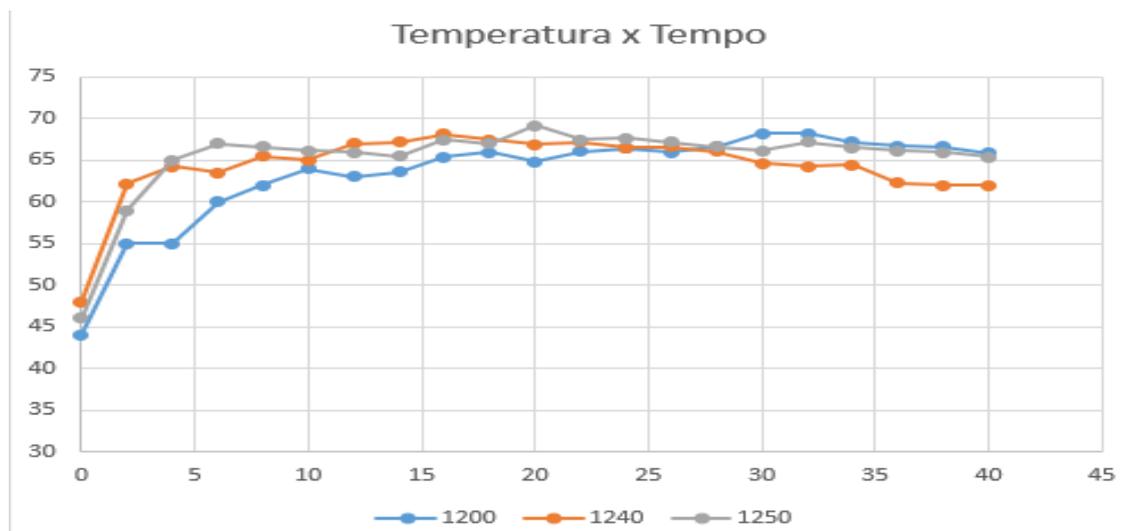
Este projeto tem por finalidade encontrar o melhor Plano de formação, ou seja, especificações de correntes máximas e mínimas nas quais as baterias serão formadas, além de estabelecer qual a melhor densidade de enchimento e a melhor densidade final após a formação para que a bateria não sofra com efeitos corrosivos e consiga ter a melhor aceitação de carga.

Após um levantamento bibliográfico e análise de resultados do processo de formação obtidos pelo Instituto de Tecnologia Edson Mororó Moura (ITEMM), foi iniciado uma série de experimentos afim de alcançar a máxima eficiência na formação.

✓ 1º Passo: Análise de Temperatura

Foi observado o comportamento da temperatura na bateria M60GD após ser enchida com uma densidade de 1200 g/L, 1240 g/L, 1250 g/L. Não houve grandes variações entre as densidades testadas conforme a Figura 20:

Figura 20 – Temperatura com diferentes densidades de enchimento.

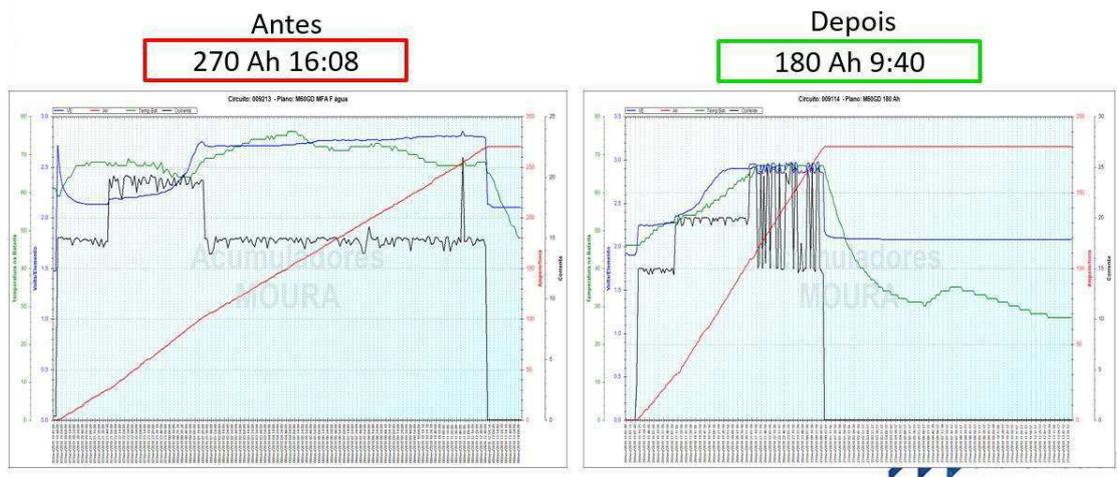


Fonte: Próprio Autor, 2019.

✓ 2º Passo: Teste de Carga

Para o teste de carga foram desenvolvidos alguns protótipos com diferentes densidades de enchimento e com diferentes planos de carga, a partir dos resultados obtidos foi possível verificar que o plano de formação mais eficiente, reduziu o tempo de formação em 35 % e quantidade de energia em 33%, como pode ser observado na Figura 21.

Figura 21- Gráficos de formação



Fonte: Baterias Moura, 2019.

Tendo a bateria modelo M60GD como protótipo, pode ser observado que no gráfico (a) este modelo de bateria recebia 270 Ah para concluir sua formação e gastava em média dezesseis horas para tal. Com o novo plano de formação a mesma bateria atingiu a formação ideal com apenas 180 Ah e gastando apenas nove horas e quarenta minutos.

As referidas amostras foram enviadas para o laboratório químico e para o laboratório físico onde realizaram testes de PbO_2 e testes de C20 respectivamente. O teste de PbO_2 quantifica a porcentagem de material ativo na placa positiva, o resultado das amostras pode ser observado na Tabela 02.

Tabela 02 – Resultados de PbO₂ das amostras.

Característica	% de PbO ₂	Especificação
Amostra 1	90,7	Mín. 80,0%
Amostra 2	90,6	Mín. 80,0%
Amostra 3	89,0	Mín. 80,0%
Amostra 4	89,0	Mín. 80,0%
Amostra 5	86,0	Mín. 80,0%
Amostra 6	88,0	Mín. 80,0%

Fonte: Baterias Moura, 2019.

No decorrer da aplicação do plano de formação escolhido, levaram-se as baterias para serem analisadas no Laboratório Físico, para realização de teste C20.

O teste de capacidade (C20) é um teste que possibilita medir a capacidade das baterias em Ah. Nesse teste, a bateria é descarregada a uma corrente constante até uma tensão de corte de 10,5V (tensão suficiente para realizar a partida de um veículo), a partir do tempo de duração e da corrente calcula-se a capacidade do acumulador. Por exemplo, para uma bateria de 50Ah, descarrega-se a bateria a 2,5A constante até que ela atinja 10,5V. Se a bateria passa 20 horas no teste, significa que ela possui os 50Ah especificados.

Os testes foram realizados para as amostras levadas para o laboratório, e os resultados encontram-se nas Tabelas 03 e 04.

Tabela 03 – Resultado de C20 das amostras 1 a 5.

+Resultados dos Itens Ensaiaados:

Teste	Esp.	Data	Am 01	Am 02	Am 03	Am 04	Am 05
Data de fabricação							
Pesos (kg)			14,376	14,328	14,474	14,327	14,308
Midtronics - SAE	CCA (A)	08/11/2018	534	524	531	526	545
	Tensão (V)		12,75	12,71	12,76	12,69	12,72
	RI (Ω)		6,81	6,60	6,07	6,12	6,12
Carga Inicial 5x120 - 16V - 16h	Ah Carga	09/11/2018	22,80	24,43	24,08	24,49	23,87
1ª Capacidade Nominal - C20 Carga: 5x120 - 16V - 24h	C20 \geq 60 Ah	11/11/2018	61,130	60,150	61,660	60,160	60,580
	Tempo Desc.		20:22:51	20:03:27	20:33:26	20:02:19	20:11:47
	Ah Carga		82,230	83,110	82,430	83,240	81,720
Equip. do ensaio	Equip. / modulo		DIG/78	DIG/81	DIG/84	DIG/88	DIG/89
1º Frio @-18°C I= 440	(V)30s \geq 7,2 V 7,2V \geq 30 s						
Equip. do ensaio	Equip. / módulo						

Fonte: Baterias Moura, 2019.

Tabela 04- Resultado de C20 das amostras 6 a 10.

Teste	Esp.	Data	Am 06	Am 07	Am 08	Am 09	Am 10
Data de fabricação							
Pesos (kg)			14,368	14,349	14,407	14,349	14,377
Midtronics - SAE	CCA (A)	23/11/2018	547	566	537	550	548
	Tensão (V)		12,80	12,74	12,91	12,83	12,83
	RI (Ω)		5,95	5,40	5,72	5,84	6,05
Carga Inicial 5x120 - 16V - 16h	Ah Carga	24/11/2018	23,040	37,080	26,070	24,870	26,420
1ª Capacidade Nominal - C20 Carga: 5x120 - 16V - 24h	C20 \geq 60 Ah	25/11/2018	64,610	62,660	64,730	64,670	64,520
	Tempo Desc.		21:32:21	22:53:23	21:34:37	21:35:20	21:30:34
	Ah Carga		81,540	83,610	82,110	85,680	85,430
Equip. do ensaio	Equip. / modulo		DIG/36	DIG/40	DIG/41	DIG/47	DIG/61
1º Frio @-18°C I=	(V)30s \geq 7,2 V 7,2V \geq 30 s						
Equip. do ensaio	Equip. / módulo						

Fonte: Baterias Moura, 2019.

Com os resultados obtidos até o momento, foi obtido uma eficiência de 352 Ah/Kg, e formar a bateria M60GD em nove horas e quarenta minutos. Dessa forma, com a concretização desse projeto, a empresa pode atingir o *benchmarking* em eficiência na formação de baterias automotivas.

3.2 Projeto de melhorias do processo de selagem de sobretampa no acabamento

Este projeto contemplou a linha dois de acabamento por ser uma linha prioritária devido trilhar essencialmente com baterias de montadoras de veículos.

A Seladora Figura 22 apresenta um sistema de selagem que possui um banco de resistências térmicas que realizam o aquecimento dos espelhos Figura 23. Os espelhos são específicos para cada modelo de bateria, as resistências os aquecem a uma temperatura entorno de 500 °C, a sobretampa é sugada por duas ventosas localizadas na base dos espelhos e em seguida realizam a queima da pista de selagem localizada na tampa e sobretampa da bateria. Após a queima as partes são pressionadas e então a selagem é realizada.

Figura 22- Seladora da linha 2 de acabamento.



Fonte: Próprio Autor, 2019.

Figura 23- Espelhos de selagem da linha 2 de acabamento.



Fonte: Próprio Autor, 2019.

Para que aconteça a selagem de forma adequada alguns fatores são indispensáveis, são eles: O alinhamento entre as peças que serão seladas, o tempo de queima deve ser adequado para cada tipo de material, o tempo total do processo não deve superar 3 segundos, é necessário que toda a queima seja homogênea.

Para uma melhor compreensão de como estava a selagem foram abertas algumas baterias que apresentaram vazamento na sobretampa, notou-se que na maioria dos casos a peça apresentava descentralização, ou apresentava zonas onde não havia uma queima adequada do material (Figura 24). Notou-se também que os parâmetros do teste de vazamento que aplicava uma pressão de 200 mbar e limitava a queda de pressão em 15 mbar durante 5 segundos estava inadequada.

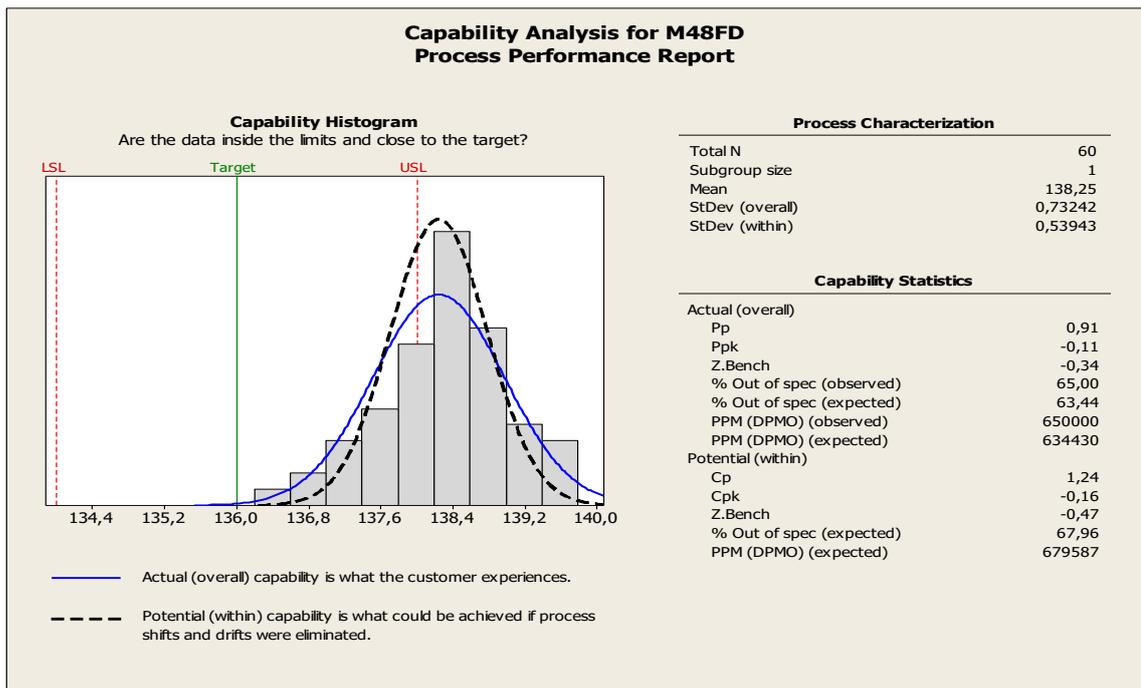
Figura 24- Sobretampa mal selada



Fonte: Próprio Autor, 2019.

Coletando os dados do nível das baterias e usando o software Minitab ® foi possível observar que na linha dois de acabamento o modelo de bateria que apresentou o menor índice de cababilidade foi a M48FD Figura 26.

Figura 26- Estudo de capacidade da máquina de encher e nivelar da linha 2 de acabamento.



Fonte: Próprio Autor, 2019.

Esse modelo de bateria deve apresentar o seu nível de solução de ácido sulfúrico entre 134 e 138 milímetros. Como observado na figura acima os valores ficaram fora da faixa desejada.

Com isso foi listado um conjunto de ações para melhorar a capacidade do processo de nivelamento, sendo elas apresentadas na Quadro 05.

Quadro 05- Plano de ação para a máquina de encher e nivelar da linha 2 de acabamento

PLANO DE AÇÃO

Nº Causa	Ação (O que?)	Responsável (Quem?)	Onde?	Como?
1	Nivelar esteira com cabeçote de enchimento.	Edson	Máquina de encher e nivelar	Reformando as bases da máquina
2	Trocar os bicos danificados.	Orlando	Máquina de encher e nivelar	Substituição por novos bicos
3	Confeccionar novos gabaritos para máquina de encher e nivelar.	Cícero	Ferramentaria	Confeccionando novos gabaritos
4	Confeccionar novos gabaritos para o teste de nivelamento.	Cícero	Ferramentaria	Confeccionando novos gabaritos
5	Trocar o fuso dos testes de nivelamento por um fuso de rosca de menor passo.	Cícero	Linha 2	Substituição do fuso
	Criar procedimento de verificação dos gabaritos da máquina de encher e nivelar, dos bicos de encher e nivelar e do teste de nivelamento.	Jandilson	Engenharia de Processo	Elaboração do documento

Fonte: Próprio Autor, 2019.

3.4 Dispositivo detector de furos em separadores

Para a identificação de separadores furados foi desenvolvido o dispositivo apresentado na Figura 27, devido ao seu contato permanente com solução de ácido sulfúrico o dispositivo teve toda sua estrutura feita de polipropileno evitando assim o rápido desgaste. Esse dispositivo foi muito importante para detecção de pequenos furos que antes passavam por despercebido, tais furos são apresentados nas figuras 28 e 29.

Figura 27- Sistema de leds para detecção de furos em separadores.



Fonte: Próprio Autor, 2019.

Figura 28- Furo na lateral do separador.



Fonte: Próprio Autor, 2019.

Figura 29- Furo na costura do separador.



Fonte: Próprio Autor, 2019.

3.5 Outras atividades desenvolvidas no estágio

Além das atividades descritas anteriormente nos projetos, outras atividades foram desenvolvidas dando apoio e suporte ao gestor Bruno Sobel, em seus projetos para formação e acabamento de baterias.

Entre esses projetos está o de “Reduzir os Índices de Microcurtos nas Baterias Automotivas”, reduzir os defeitos de vazamento de sobretampa e Massa Endurecida. Foi desenvolvido uma rotina de acompanhamento na assistência técnica para análise e melhor entendimento sobre os fenômenos ocorridos nas baterias que podem causar a sua falha. Também foi designado como tarefa realizar um acompanhamento do processo de formação e acabamento da Unidade 10.

3.5.1 Elaboração de Kaizens

A metodologia adotada pela Acumuladores Moura é o WCM (World Class Manufacturing ou Produção de Classe Mundial). Essa metodologia é um conjunto de conceitos, de princípios e de técnicas para a gestão dos processos operativos de uma empresa.

O WCM é um sistema de gestão integrado de redução de custos e visa otimizar Logística, Qualidade, Manutenção e Produtividade para níveis de classe mundial, através de um conjunto estruturado de métodos e ferramentas. Baseia-se em 3 elementos essenciais: no combate sistemático a cada desperdício e perda existente em toda a cadeia (cliente - fornecedor - fornecedores); no envolvimento das pessoas e respectivos desenvolvimento de suas competências e por fim na utilização rigorosa de métodos e ferramentas apropriados para as ineficiências do processo. (MIRANDA, 2016)

Entre as ferramentas utilizadas no WCM, encontra-se o Kaizen de melhoria contínua, estruturado para buscar e eliminar constantemente qualquer tipo de desperdício nas empresas, dos processos produtivos e administrativos à manutenção de máquinas e equipamentos.

Durante o estágio foram elaborados vários Kaizens buscando eliminar perdas e melhorar os processos. Entre os Kaizens elaborados que são apresentados na Figura 30 foi estimado um ganho de aproximadamente nove milhões de reais após suas respectivas conclusões.

Figura 30- Principais Kaizens.

Título	Ganho R\$/Real/Virtual	Fase			
		P	D	C	A
Máxima eficiência na formação de baterias	R\$ 7.5 milhões/ano	✓	X		
Plano rápido montadora	R\$ 1.2 milhão/ano	✓	X		
Redução de vazamento sobretampa	R\$ 210 mil/ano	✓	✓	✓	X
Comparativo entre UN 01 e UN 10	---	✓	✓	X	
Reduzir defeito de microcurto em garantia	R\$ 55 mil/ano	✓	✓	✓	X

Ganho Potencial Total: R\$ 8.965.000,00



Fonte: Próprio Autor, 2019.

3.5.2 Atividades de rotina e treinamentos

Além das atividades em projetos, foram realizadas atividades de rotina como acompanhamento de parâmetros de formação e acabamento, elaboração de instruções de trabalho e *setup* de máquinas no processo, alteração e acompanhamento de processos e melhorias contínuas no processo de formação e acabamento de baterias.

Alguns treinamentos foram realizados durante o período de estágio. Os principais foram:

- ✓ Kaizen Administrativo
- ✓ Tratamento de Anomalia
- ✓ Treinamento Técnico - Formação e Acabamento
- ✓ Introdução ao WCM - World Class Manufacturing
- ✓ Testes Elétricos em Baterias
- ✓ 5S

Além disso, foi realizado a apresentação de um Kaizen no primeiro seminário dos estagiários e mais um Kaizen no segundo seminário dos estagiários onde foram escolhidos os 8 melhores trabalhos para serem apresentados.

4. CONCLUSÕES

A realização do estágio foi de suma importância para a execução prática dos conhecimentos adquiridos ao longo do curso na universidade. A oportunidade de contribuir na engenharia de processos na empresa Acumuladores Moura possibilitou um crescimento como profissional de engenharia e permitiu conhecer o trabalho na indústria.

No projeto máxima eficiência na formação de baterias adquiriu-se experiência no gerenciamento de projetos, definindo uma grande frente de trabalho experimental e análise teórica devido à grande importância e robustez do mesmo, além de desenvolver-se habilidades na execução da metodologia experimental na indústria, planejando alterações nos processos, segregando amostras para análises laboratoriais e acompanhando parâmetros dos processos. Esse projeto possibilita uma redução da quantidade de energia consumida na formação de baterias na ordem de 33% e uma redução no tempo de formação de 35%, além de reduzir problemas de corrosão de grade e reduzir o índice de tensão baixa no acabamento.

O projeto de melhorias do processo de selagem de sobretampa no acabamento possibilitou aprimorar e desenvolver os aspectos do trabalho em equipe, pois foi necessário uma grande equipe multidisciplinar com um curto prazo para conclusão devido ser um tema sensível que pode causar muitos problemas caso a selagem entre sobretampa e caixa não seja de boa qualidade.

Ressalta-se que a elaboração do dispositivo detector de furos para assistência técnica trouxe a oportunidade de desenvolver a criatividade e também apresentar um novo método de análise dos separadores, trazendo uma nova visão sobre a importância da qualidade dos separadores além de melhorar a análise das baterias na assistência técnica, análise esta que serve como direcionador dos trabalhos da engenharia de processos.

Conclui-se que o trabalho desenvolvido ao longo do estágio na Acumuladores Moura foi uma oportunidade única e uma ponte importante entre os conhecimentos teóricos e práticos no campo de trabalho. O estágio trouxe enriquecimento mútuo, através da troca de experiências profissionais e acadêmicas e de conhecimentos técnicos, sem dúvidas, muito importante para o engajamento no mercado profissional.

REFERÊNCIAS

ACUMULADORES MOURA. **Referência interna.**

ARAÚJO, Willy. **Relatório de estágio supervisionado na empresa acumuladores moura s.a..** Campina Grande, 2016.

BNDES- Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social. **Baterias automotivas: panorama da indústria no Brasil, as novas tecnologias e como os veículos elétricos podem transformar o mercado global.** Automotivo: Setorial 37, p. 443-496

FLAMARION, B. Diniz. **Acumuladores de chumbo-ácido automotivos.** Acumuladores Moura. Belo Jardim. 1994.

MAC Engineering and Equipment Company. **The ABC's of oxide production.** Inc. USA, 2001.

MANTELL, C. **Batteries and energy systems. special issue on lead-acid batteries. j. power sources.** McGraw-Hill. 2nd ed. New York. 1983.

MARX, R., **Lead Oxides: developments in the 20th century.** GMDB. Clausthal-Zellerfeld, 2000.

MICHELINI, A. **Baterias recarregáveis para equipamentos portáteis.** S.T.A. – Sistemas e Tecnologia Aplicada Ind. Com. LTDA. 2017.

MIRANDA, E. **WCM – World Class Manufacturing (produção de classe mundial).** LinkedIn, 2016.

NAPOLEON, E. S. **Article 19. Power Sources.** pg. 169. 1987.

PAVLOV, D. **Lead-acid batteries: science and technology. A handbook of lead-acid battery technology and its influence on the product.** Elsevier. Oxford, 2011.