

Artigo

A Influência das Temperaturas no Processo COS

Michele Edneide da Costa Leitão ^[1], Zoroastro Torres Vilar ^[2]

^[1] Universidade Federal Rural do Semi-árido, Engenharia Mecânica; aluno; michele.edneidecosta174@gmail.com

^[2] Universidade Federal Rural do Semi-árido; Orientador; zoroastro@ufersa.edu.br

Data da defesa: 20/12/2024;

Resumo: Os processos de fundição e soldagem são aplicados em diversas áreas industriais. Para garantir a qualidade das peças, é essencial compreender como o produto se comporta ao ser submetido a diferentes temperaturas. Nos processos de fundição e soldagem, surgem defeitos decorrentes das temperaturas de trabalho, como bolhas, porosidades e trincas. Dessa forma, este estudo tem como objetivo mapear as temperaturas de entrada do equipamento que favorecem o surgimento de defeitos na solda entre o strap e a orelha da placa, além de propor um perfil de solidificação adequado para a liga de chumbo. Para a elaboração do trabalho, foram empregadas as metodologias PDCA (Plan, Do, Check, Act) e o planejamento de experimentos (DOE). No preparo das amostras, utilizaram-se técnicas de metalografia. O foco principal do estudo é a solda COS, responsável pela produção das conexões de baterias chumbo-ácido, com a análise voltada para os parâmetros de temperatura dos canais e moldes. Por fim, o trabalho conclui identificando as condições em que não ocorrem falhas, como trincas, bolhas ou porosidades, na solda entre a orelha e o strap.

Palavras-chave: Chumbo; Solda; Fundição; Temperatura; Bateria.

1. INTRODUÇÃO

Os processos de fundição e soldagem são aplicados nos setores industriais automobilístico, aeronáutico, mineração, petróleo, entre outros. Diante a diversidade de aplicações, é fundamental compreender as variáveis de entrada dos processos para obter as características e propriedades mecânicas adequada das peças. O processo de fundição pode ser controlado através do regulamento das temperaturas do fundido e molde [1]. Além disso, a soldagem por calor une metais ou condutores elétricos através da fusão parcial ou total das superfícies de contato. Após o resfriamento, a união das peças se torna permanente.

As conexões de uma bateria de chumbo-ácido são produzidas por um processo simultâneo de fundição e soldagem em um molde permanente. Nesse processo, a liga utilizada para as conexões e as placas é composta de chumbo-antimônio, mas com concentrações diferentes, o que resulta em pontos de fusão distintos. O processo responsável pela produção dos elementos de uma bateria chumbo-ácido é conhecido como Cast on Strap (COS). Assim, ao tratar dois materiais que apresentam pontos de fusão diferente, deve-se atentar as condições de temperatura e tempo do processo, englobando a refrigeração para se obter a microestrutura desejada e a ausência de falhas, como por exemplo: Porosidades, trincas, rechupe, solda fria e queima do material.

O estudo apresenta a análise do comportamento da solda COS em diferentes senários de temperatura, foi proposto um perfil de curva de refrigeração para solidificação do material, juntamente com imagens de metalografia. O propósito do estudo é aplicar a metodologia de gestão de projetos PDCA e o planejamento de experimentos (DOE) para mapear as possíveis saídas (defeitos) do equipamento que impactam negativamente a qualidade da solda e podem vir a causar alguma degradação precoce das conexões da bateria por corrosão e como objetivo principal, propor qual o melhor cenário de temperatura que garanta a qualidade da solda entre orelha da placa e strap.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A criação da bateria chumbo-ácido ocorreu em 1859, pelo francês Gaston Plante, que estudou a polaridade entre dois eletrodos idênticos imersos em solução aquosa diluída em ácido sulfúrico. Foram realizadas investigações pelo cientista com eletrodos de diferentes composições, sendo eles de prata, chumbo, estanho, cobre, ouro, platina e alumínio. Como resultado, obteve que a corrente secundária mais alta e que fluía por maior período foi a da célula com placas de chumbo separadas por tiras de borracha e imersas em solução de ácido sulfúrico a 10% [2]. Quando desenvolvida por Gaston Plante, a bateria possuía uso limitado devido a sua baixa capacidade e ao lento processo de fabricação dos eletrodos, somente no ano de 1869, construiu-se a primeira máquina de dínamo de corrente contínua capaz de carregar a bateria de modo prático. [2]

Em 1881, a bateria de chumbo-ácido passa por sua primeira modificação, quando Camille Faure revestiu as placas de chumbo com pasta de óxido de chumbo vermelho, ácido sulfúrico e água, e então as carregou para formar massas ativas de Pb e PbO₂. Essa modificação, proporcionou um aumento de energia específica da bateria para 8 (Wh kg)⁻¹ e uma taxa de descarga de 10h [2]. O eletrodo de chumbo no início, se tratava de uma folha de chumbo puro, a qual foi substituída por uma grade de chumbo por Ernest Volckmar. Em seguida, Scudamore substituiu a grade de chumbo puro por uma grade de liga chumbo-antimônio. [2]

Em 1882, foram divulgadas as reações que ocorrem nos eletrodos positivo e negativo por Gladstone e Tribe, além de proporem a teoria do sulfato duplo. Em 1883, Hermann Aron estabeleceu a correlação entre a densidade específica do eletrólito H₂SO₄ e o tempo de descarga, além disso, foi descrito pela primeira vez os processos de sulfatação da bateria. [2]

2.1 Componentes de uma bateria chumbo-ácido

- Caixa: Composta por material de polipropileno (PP), sendo uma porcentagem de PP virgem e a outra porcentagem de PP reciclado. A caixa é dividida em 6 (seis) compartimentos, onde cada compartimento receberá um elemento, conforme é mostrado na Figura 1.
- Placas: São o ânodo (placa negativa) e o cátodo (placa positiva) da bateria, compostas por material ativo para que exista a reação eletroquímica da bateria.
- Separadores: Envelopes constituídos de polipropileno ou fibra de vidro, são utilizados para envolver as placas negativas ou positivas, evitando o contato entre elas, ou seja, evitando que exista um curto-circuito na bateria.
- Straps: Conecta as placas em paralelo, constituído por ligas de chumbo.
- Polos: Responsáveis por proporcionar a conexão dos elementos da bateria.
- Borne: Também conhecido como terminal, proporciona a conexão da bateria em um circuito externo.
- Tampa: Responsável por separar de forma segura cada compartimento, evitando que o eletrólito passe de uma célula para outra.
- Ácido sulfúrico: Solução aquosa de ácido sulfúrico é responsável por garantir a boa condutividade de íons, ou seja, fundamental para que ocorra a reação eletroquímica.
- Sobretampa: Impede a entrada de sujeira na bateria, como por exemplo, poeira.

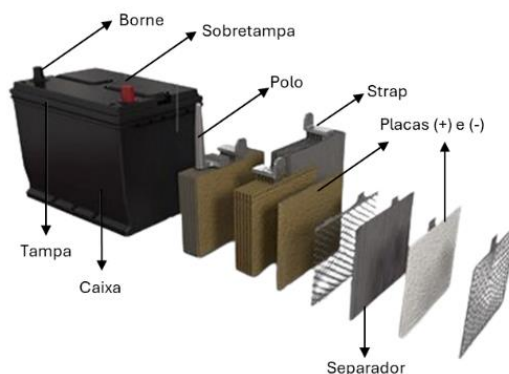


Figura 1. Componentes de uma bateria chumbo-ácido. Adaptado de [3]

2.2. Processo produtivo de montagem de bateria chumbo-ácido

Composto por diversas etapas mecânicas e químicas, o processo produtivo das baterias pode variar conforme as características desejadas, como por exemplo, a quantidade de placas ou massa que compõe a

bateria. Independentemente da etapa, o processo passa por análises de inspeção de qualidade. Essas inspeções abrangem desde procedimentos realizados nas linhas de produção até testes laboratoriais.

2.2.6 Montagem da bateria

Após o processo de cura, as placas positivas e negativas são encaminhadas para as linhas de montagem. A Figura 2 ilustra o processo produtivo na montagem de baterias chumbo-ácido.

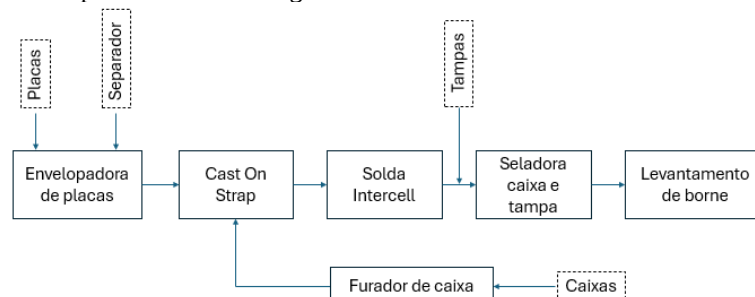


Figura 2. Fluxograma de produção de uma linha de montagem. Autoria própria.

- Envolvimento das placas

Para realizar o envolvimento das placas são utilizados como matérias de entrada do equipamento as placas positivas, negativas e o separador. O separador é utilizado para evitar o contato entre uma placa negativa e positiva. A placa que será envolvida dependerá do modelo da bateria. Ao final do tempo do ciclo da envelopadora, tem-se o elemento formado por placas positivas e negativas, conforme mostrado na Figura 3.

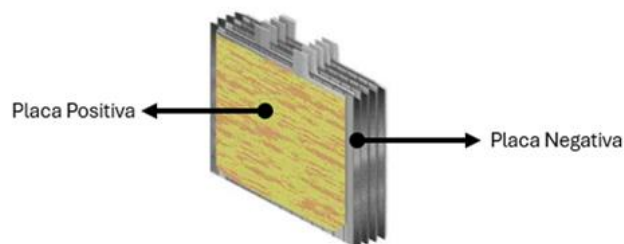


Figura 3. Elemento formado por placas positivas e negativas (sem os straps). Adaptado de [4].

- Processo de fundição e soldagem dos straps (COS)

Os elementos montados seguem para a solda COS, os quais terão as orelhas alinhadas para o processo de fundição e soldagem das orelhas nos straps. A produção dos straps consiste em um processo simultâneo de fundição e soldagem, que são influenciados principalmente pelos parâmetros de temperatura do cadinho, canais de chumbo, moldes e água de refrigeração do molde. A Figura 4 mostra o esquema do equipamento responsável por realizar a produção das conexões de uma bateria chumbo-ácido.

A fundição e soldagem dos straps ocorre em um molde permanente, quando o ciclo da máquina é acionado a bomba encaminha o chumbo líquido do cadinho para o molde através dos canais, que quando cheios transbordam e por gravidade preenchem as cavidades do molde.

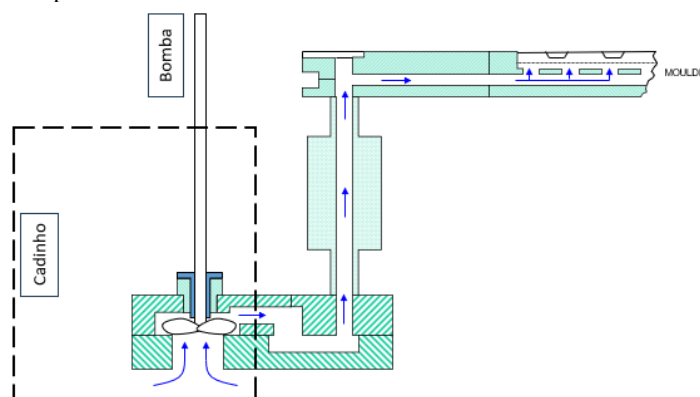


Figura 4. Esquema do equipamento COS. Engenharia de Processos, adaptado.

Com o chumbo ainda no estado líquido no molde, as orelhas das placas são mergulhadas e se inicia o processo de refrigeração, que quando finalizado são extraídos do molde os straps, A Figura 5 ilustra os componentes de um elemento.

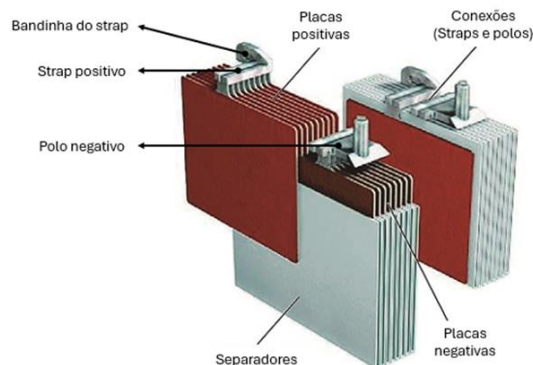


Figura 5. Elemento de uma bateria chumbo-ácido. adaptado de [4].

- Solda Intercell

Como ilustrado na Figura 6, a solda intercell é realizada por um par de eletrodos fixados em uma peça, que pressionam as bandinhas (material a ser soldado), até um contato elétrico para que exista a circulação de corrente. [5]

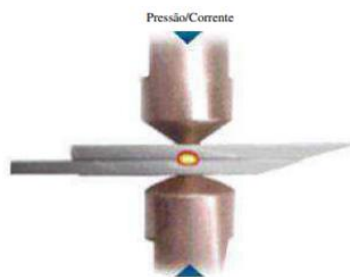


Figura 6. Processo de solda por resistência. [5]

- Selagem da caixa e tampa

Para o processo de selagem, são posicionadas as tampas sobre a caixa. As áreas da caixa e da tampa a serem seladas são aquecidas por uma base de resistência em questão de segundos, ainda com as áreas aquecidas a tampa é pressionada sobre a caixa.

- Levantamento de Borne

Consiste em um processo de fundição e soldagem simultâneo. os polos e as buchas das baterias são aquecidos por um eletrodo em um molde (Caneca), o chumbo derretido toma a forma da caneca e em seguida se inicia o processo de refrigeração.

2.3. Ligas de chumbo

Para a produção contínua de grades, são utilizadas ligas de chumbo com baixo teor de antimônio, sendo de 1,0 a 2,7% wt% Sb, essa faixa de composição apresenta pequenas quantidades de eutético sendo de 1 a 15%. [6]. Para garantir que as grades atendam as demandas de velocidade de produção e aos esforços químicos durante a vida útil da bateria, suas características mecânicas são melhoradas através da adição de outros metais, como por exemplo:

- Arsênio (As): Aumenta a evolução do hidrogênio.[7]
- Prata (Ag) e Cobre (Cu): Aumenta a resistência a corrosão e condutividade do chumbo.[7]
- Bismuto (Bi) e Zinco (Zn): A união desses dois metais na liga retarda a evolução do hidrogênio.[7]
- Cálcio (Ca): Proporciona maior resistência mecânica às placas, reduz deformações, durante os processos de fabricação, torna as fitas maleáveis. O cálcio também possui pontos negativos, um deles é que influencia na corrosão das grades.[7]
- Estanho (Sn): Proporciona resistência a corrosão.[7]

As ligas de chumbo utilizadas na produção das conexões (straps e polos) devem apresentar propriedades mecânicas levando em consideração o processo de fundição e soldagem, bem como os esforços que a bateria

pode vir a sofrer durante a sua vida útil. As principais propriedades mecânicas que a liga de chumbo deve possuir durante o processo produtivo em linha são fundibilidade e dureza.

Para a produção das conexões (straps e polos) de baterias chumbo-ácido são utilizadas ligas de chumbo-antimônio de 2,9 a 4,0 wt% Sb [6]. Essa composição permite a união de peças de chumbo com diferentes teores de antimônio e diferentes pontos de fusão. A presença do antimônio na liga proporciona uma boa característica de fundibilidade, resistência a corrosão e garante propriedades elétricas estáveis. Outro ponto a ser ressaltado, é que o potencial de evolução de hidrogênio no antimônio é muito menor que no chumbo, o que facilita a gaseificação na bateria, dessa forma, aumentando a perda de água na bateria durante a carga e a autodescarga. [6]

Para as ligas utilizadas nos conectores de baterias, também são adicionados outros metais, como por exemplo:

- Prata (Ag) e o cobre (Cu): Garantem a liga uma boa condutividade elétrica e resistência a corrosão.
- Estanho (Sn): Proporciona uma melhor maleabilidade da liga, melhora a resistência mecânica e aumenta a resistência a corrosão.[6]
- Selênio (Se): Utilizado como refinador de grãos (inoculante).[6]
- Zinco (Zn): Retarda a evolução do hidrogênio [6]
- Bismuto (Bi): Reduz a taxa de reação de evolução do oxigênio.[6]

Analisando o diagrama de fases (Figura 7) chumbo-antimônio, é indicada uma transformação eutética a uma temperatura de 252°C, levando em consideração que a liga apresenta outros metais, a temperatura em que ocorre a transformação total do material líquido em sólido (isoterma eutética) pode variar. As linhas vermelhas na Figura 7 representam a porcentagem de antimônio para a liga das conexões de uma bateria de chumbo.

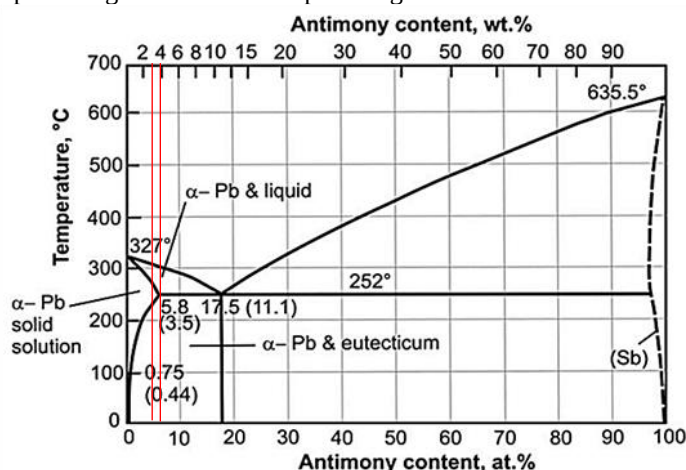


Figura 7. Diagrama de fases chumbo-antimônio.[6]

3. METODOLOGIA E MATERIAL

Esta seção tem como objetivo apresentar a metodologia e métodos utilizados para o desenvolvimento do trabalho, focado na realização de prototipagens em linhas de produção, testes em laboratório e seguindo planejamentos experimentais para a obtenção dos resultados. Para o desenvolvimento do presente trabalho, utilizou-se a metodologia PDCA, visando a melhoria contínua. A Figura 8 mostra o fluxo que foi seguido para a obtenção dos resultados.

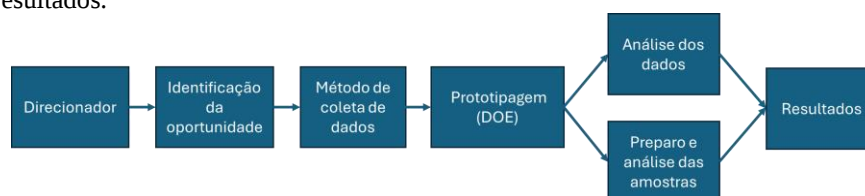


Figura 8. Fluxograma de método. Autoria própria.

3.1. Direcionador

Com base nos relatórios internos da fábrica, é possível observar que, nos dados de retorno de baterias que apresentam falha, o defeito que tem grande incidência é o de baterias que apresentam falha na COS (casto n strap), a falha ocorre no strap negativo, o qual apresenta as orelhas das placas partidas por corrosão [8]. Durante

a análise desse modo de falha, verificou-se que quando existe a presença de bolhas internas na solda ou menisco negativo entre orelha e strap, a propensão a ocorrer a falha é maior.

Dessa forma, a avaliação das temperaturas no processo COS possui como objetivo, verificar em quais cenários é possível garantir um menisco vedado, positivo e uma solda sem a presença de bolhas, trincas ou porosidades. Com o estudo focado na manufatura do produto e conhecimento do processo de fundição e soldagem das conexões das baterias, foi gerado o seguinte direcionador (Gráfico 1), baseado em estudos de capacidade, cartas de controle e controle do equipamento.

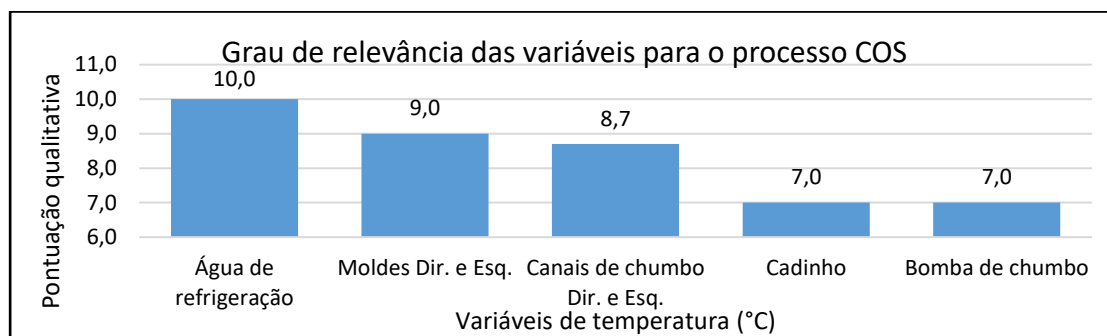


Gráfico 1 - Grau de relevância das variáveis de temperatura para o processo COS. Autoria própria.

De acordo com os estudos realizados, foram atribuídas notas as variáveis, ou seja, foi realizada uma avaliação qualitativa e em seguida gerado o Pareto (Gráfico 1).

3.2. Identificação da oportunidade

Durante as análises em linha, acompanhando a produção e análises do modo de falha, foram verificadas as 3 (três) características para o menisco da solda entre orelha e strap, de acordo com a Figura 9.

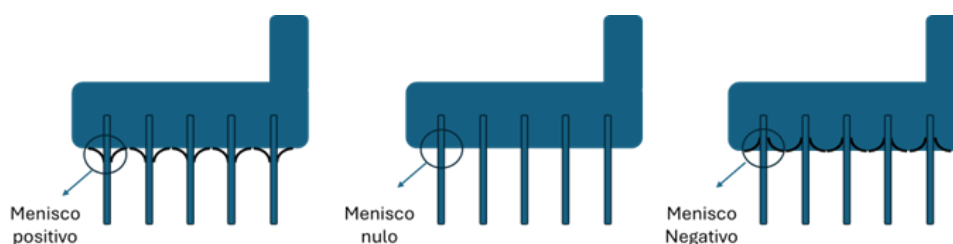


Figura 9. Menisco positivo, nulo e negativo. Autoria própria.

A característica do menisco positivo é quando o chumbo adere a orelha sem deixar espaço para a penetração do ácido sulfúrico, essa característica dificulta que durante a vida útil da bateria, a corrosão avance com facilidade e parta a orelha. A Figura 10, representa o menisco negativo, que é caracterizado por deixar espaços abertos entre a orelha e o strap.

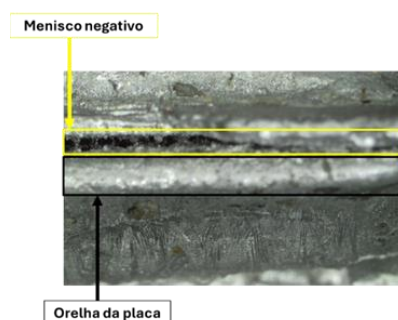


Figura 10. Menisco negativo. Autoria própria.

Outras características que foram avaliadas são mostradas na Figura 11. A presença de bolhas na solda COS e micro trincas, o que proporcionam a penetração do ácido sulfúrico e conseqüentemente tornam o meio viável para a corrosão.



Figura 11. Defeitos solda COS. Autoria própria.

3.3. Processo COS (Cast on Strap)

A COS consiste em 4 (quatro) etapas, a primeira é responsável por realizar o alinhamento das placas, a segunda etapa realiza o lixamento e decapagem da orelha, proporcionando que a maioria das impurezas presentes na orelha sejam retiradas, a terceira etapa realiza a fundição e soldagem das peças, onde estudo é focado e a quarta etapa consiste na montagem da bateria. Como mencionado anteriormente, a COS realiza o processo de fundição e soldagem simultaneamente e apresenta variáveis de temperatura que trabalham em conjunto para obter a qualidade das peças. Durante o Gemba na linha de produção, foram realizadas as análises da curva de refrigeração dos straps. O molde, como pode ser visto na Figura 12, é dividido em duas partes, molde direito, responsável por soldar as orelhas das placas positivas e o molde esquerdo, que realiza a solda das orelhas negativas. O molde apresenta dois canais de chumbo (direito e esquerdo) e um sistema de refrigeração de entrada e saída. O equipamento apresenta controle de todas as temperaturas em estudo e um fluxostato na entrada do sistema de refrigeração que realiza a medição da temperatura da água e vazão.

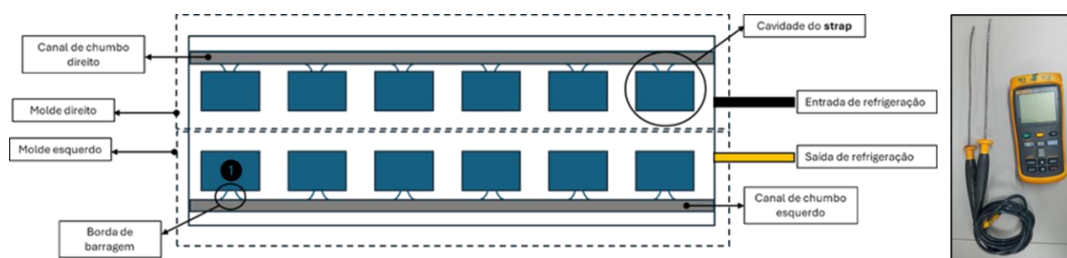


Figura 12. Esquema de medição no molde permanente. Autoria própria.

3.4. Método de coleta de dados

Para a coleta de dados, utilizou-se o Fluke 54 II B THERMOMETER (Figura 12), com uma frequência de coleta de informações de 1 dado por segundo. Para a coleta de dados, posicionou-se os dois termopares no canal do molde e foi aferida a temperatura com o valor mostrado no painel da IHM da COS, em seguida o ciclo é acionado, os canais enchem de chumbo e transbordam pela borda de barragem para dentro da cavidade do molde por gravidade, durante o processo de enchimento da cavidade, um dos termopares é retirado do canal de chumbo e inserido na cavidade do molde. Esse procedimento proporciona saber quando o sistema de refrigeração é acionado, pois a temperatura do canal se mante constante, enquanto a temperatura do chumbo na cavidade do strap está resfriando.

Durante cada experimento coletou-se 1 (uma) curva de solidificação do material e 1 (uma) amostra de strap para realizar metalografia. As curvas de refrigeração foram coletadas nas posições 1 mostrada na Figura 12.

3.5. DOE das variáveis estudadas

As saídas (Y) de respostas a serem analisadas são menisco, micro trincas e presença de bolhas, além disso, durante as análises também foi verificada a microestrutura da solda (orelha e strap). Tomando o direcionador (Gráfico 1), foi elaborado um DOE fatorial sem replica. O Planejamento experimental foi composto de 3 (três) níveis e 2 (fatores), o que corresponde a 9 (nove) experimentos, porém, levando em consideração a praticidade

e a obtenção de resultados mais rápidos, foram realizados apenas 6 (seis) experimentos, conforme mostrado na Tabela 1.

Experimento	Temperatura dos canais (°C)	Temperatura dos moldes (°C)
01	Nível Elevado (+1)	Nível Elevado (+1)
02	Nível Elevado (+1)	Nível Inferior (-1)
03	Nível médio (0)	Nível Elevado (+1)
04	Nível médio (0)	Nível Inferior (-1)
05	Nível Inferior (-1)	Nível Elevado (+1)
06	Nível Inferior (-1)	Nível Inferior (-1)

Tabela 1 - Primeiro experimento DOE. Autoria própria.

As variáveis de temperatura da água de refrigeração do processo, cadinho e bomba de chumbo foram fixadas para que os testes fossem realizados de forma controlada.

3.6. Análise de dados

O Fluke, equipamento utilizado para medição de temperatura, apresenta uma baixa frequência de coleta dos dados, com isso, para obter mais informações das curvas de solidificação, os dados foram interpolados no Matlab e a taxa de extração de calor (°C/s) foi calculada através da derivada primeira de cada curva de solidificação.

4.6. Preparo e análise das amostras

As amostras dos straps foram coletas e levadas para laboratório físico, onde é realizado o procedimento de tratamento das amostras, descrito a seguir:

Separação das orelhas do strap: Com os elementos formados, as orelhas são cortadas com uma tesoura ou serra de forma que o menisco fique intacto, a linha vermelha mostrada na Figura 13, representa onde deve ser realizado o corte.

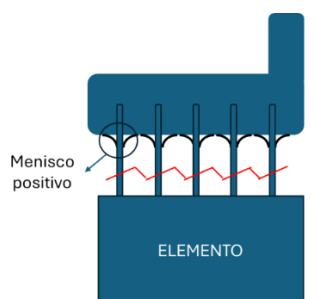


Figura 13. Esquema de separação da orelha do strap. Autoria própria.

1. Embutimento da amostra: Para o embutimento da amostra é realizada uma mistura de resina e catalizador. A quantidade de catalizador a ser adicionado equivale a 10% do peso da quantidade de resina que será utilizada. Após realizar a mistura homogênea, a peça é posicionada em um pequeno pote (molde) e é adicionada a mistura de resina mais catalizador, a Figura 14 mostra como fica o strap após o embutimento.



Figura 14. Amostra embutida. Autoria própria.

1. Usinagem da peça: Como chumbo é um material mole, não é adequado realizar o corte da seção transversal na serra, pois pode danificar o menisco ou a orelha da placa. Dessa forma, a peça após ser desembutida, vai para o processo de usinagem, onde a peça será faceada até a seção transversal desejada. Dessa forma, a peça fica isenta de defeitos.
2. Identificação da amostra: A identificação da amostra é gravada na peça, para que durante o processo de lixamento não seja perdida a informação ou misturada com outras amostras.
3. Processo de lixamento: O procedimento é realizado em uma politriz automática, mostrada na imagem a seguir.
Como o chumbo é um material mole, o procedimento de preparo das amostras requer um procedimento mais detalhado, onde as amostras passam por 3 (três) lixas e 3 (três) panos de polimento.
1ª etapa: Lixa D'água de grão 320, com o sistema de água ligado em uma vazão constante.
2ª etapa: Lixa D'água de grão 500, com o sistema de água ligado e vazão constante.
3ª etapa: Lixa D'água de grão 4000, com o sistema de água ligado e vazão constante.
4ª etapa: Pano de polimento em microfibras para pasta de diamante Mol R3 de 3µm, sendo a aplicação da pasta de diamante em gotejamento.
5ª etapa: Pano de polimento em microfibras para pasta de diamante Nap R1 de 1µm, sendo a aplicação da pasta de diamante em gotejamento.
6ª etapa: Procedimento realizado de forma manual utilizando o pano de polimento flocado sintético para sílica coloidal.
4. Ataque químico: Com a amostra totalmente espelhada, aplique ácido sobre a região a ser revelada por 1 segundo, em seguida lave em água corrente, depois com álcool e deixe secar naturalmente. Repita o procedimento de ataque químico se for preciso.
5. Imagens de metalografia: As imagens foram feitas no microscópio OLYMPUS BX51, utilizando o software OLYMPUS Stream Essentials.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

De acordo com o diagrama de transformação de fase chumbo-antimônio (Figura 7), para uma concentração de estanho de 2,9 a 4% wt% Sb, a primeira transformação de fase ocorre numa faixa de temperatura de 300 a 310° C, já a segunda transformação de fase que é representada no diagrama pela linha isoterma eutética, ocorre em 245 a 255°C. O Gráfico 2 mostra todas as curvas de refrigeração dos experimentos realizados, bem como onde ocorre as transformações de fase.

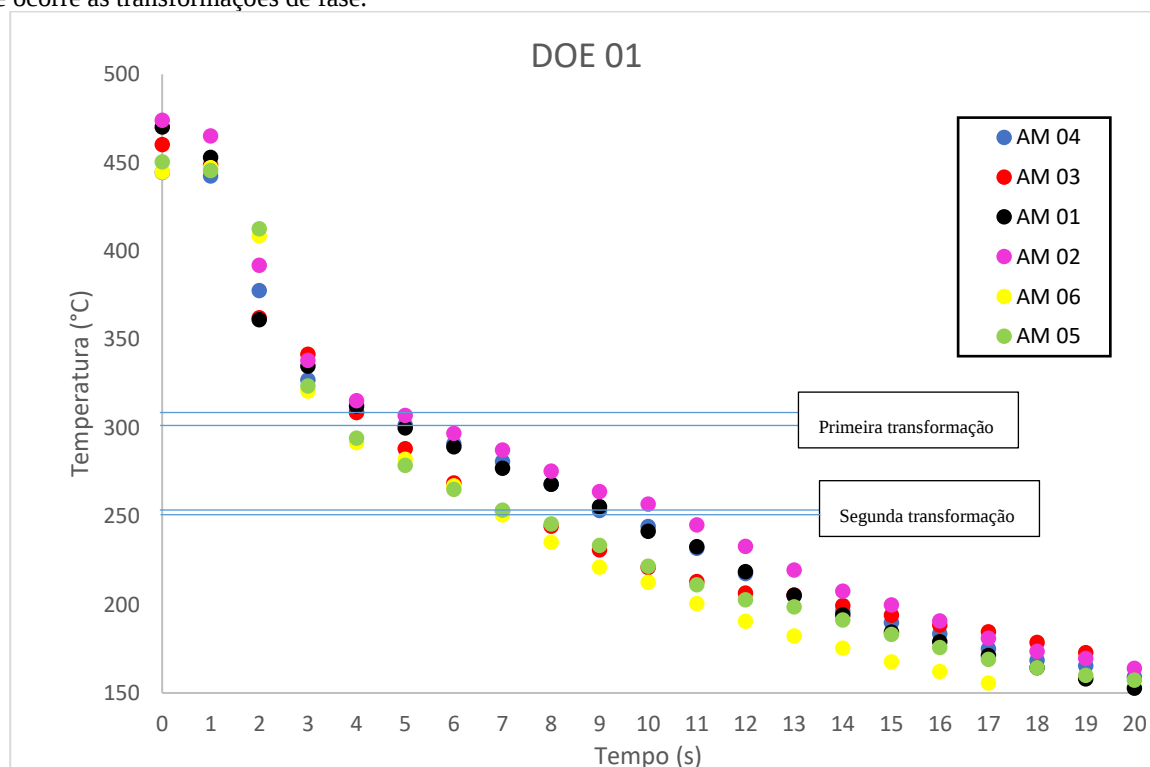


Gráfico 2 – Curva de solidificação da liga de chumbo. Autoria própria.

O processo de fundição dos straps é caracterizado por uma curva com ausência de super-resfriamento, caracterizado pelo perfil mostrado na Figura 15 (a).

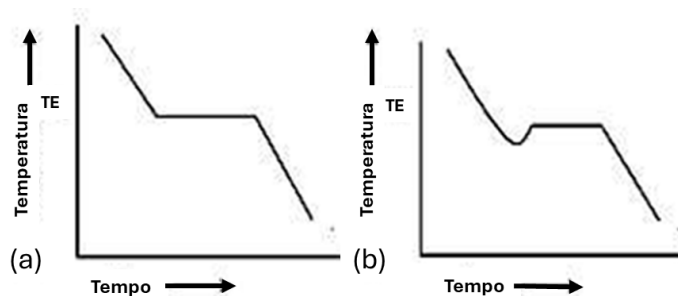


Figura 15. (a) Curva com ausência de super-resfriamento. (b) Curva com super-resfriamento. [9]

Calculando a primeira derivada para cada curva, obteve-se como resultado a Tabela 2.

Código	Taxa de troca de calor Zona 1 (°C/s)	Taxa de troca de calor Zona 2 (°C/s)	Velocidade média de refrigeração (°C/s)
AM 01	-36,7	-11,5	-19,1
AM 02	-33,4	-10,2	-18,3
AM 03	-36,9	-10,5	-17,7
AM 04	-30,6	-11,0	-17,0
AM 05	-39,3	-11,5	-17,8
AM 06	-22,6	-9,9	-13,9

Tabela 2 – Resultado DOE 01. Autoria própria.

A taxa de transferência de calor da zona 01, corresponde a temperatura inicial em $t = 0$ até a faixa de temperatura de 300 °C e 310°C. A taxa de transferência de calor da zona 2 inicia na faixa de temperatura de 300 °C a 310°C e finaliza na temperatura de 252°C. A Figura 16, mostra os resultados de metalografia para cada experimento realizado.

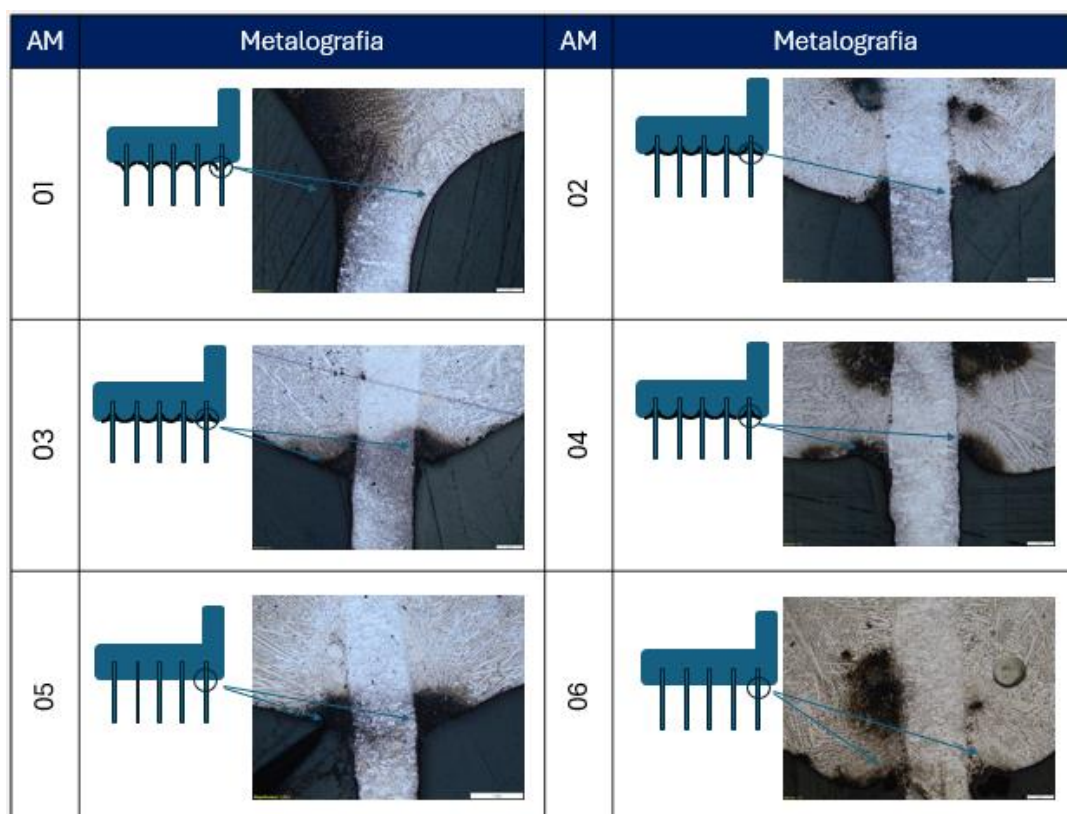


Figura 16. Imagens de metalografia. Autoria própria.

As combinações entre temperaturas de canais e moldes elevadas, proporcionam um menisco bem vedado, conforme a temperatura dos moldes vão baixando, o menisco passa a ficar nulo ou negativo. Mantendo a temperatura dos moldes e reduzindo a temperatura dos canais, o defeito de bolhas na solda entre orelha e strap aparecem. Para a combinação de temperaturas dos canais e moldes baixos, verificou-se a presença de porosidades e micro trincas no menisco.

De acordo com os dados coletados para gerar o gráfico de refrigeração, as temperaturas dos canais causam maior influência na taxa de extração de calor da zona 01. O Gráfico 3, mostra o perfil da curva de refrigeração padrão e que apresentou melhores resultados tanto de microestrutura quando de ausência de defeitos.

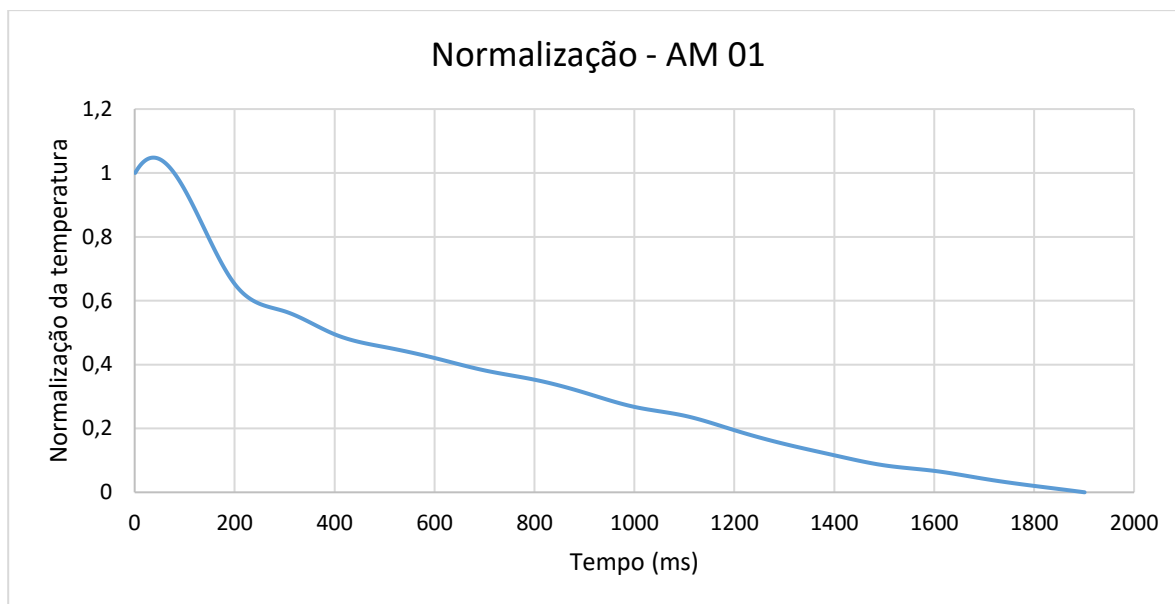


Gráfico 3 - Curva de solidificação padrão AM 01. Autoria própria.

A AM 01 foi obtida através do experimento 01, utilizando as combinações de Nível elevado (+1) para as temperaturas dos canais e Nível elevado (+1) para as temperaturas dos moldes. No Gráfico 3, para a escala de normalização da temperatura 1 representa a temperatura setada no equipamento e 0 representa a menor temperatura coletada pelo equipamento.

6. CONCLUSÃO

As amostras que apresentaram soldas sem a presença de bolhas, trincas ou porosidades foram as obtidas no experimento 01. Observou-se também que as temperaturas dos moldes possuem maior influência no menisco, sendo este positivo para temperaturas mais elevadas e negativo para temperaturas mais baixas. Além disso, as temperaturas dos canais influenciam a presença de bolhas nas soldas e têm maior impacto na taxa de troca de calor na zona 01. Temperaturas de trabalho mais altas garantem um maior refino da microestrutura, como resultado de uma maior velocidade de extração de calor.

7. AGRADECIMENTOS

Agradecimentos: Primeiramente, agradeço a Deus, pois conforme está escrito em Josué 1:9: “Não fui eu que ordenei a você? Seja forte e corajoso! Não se apavore nem desanime, pois o Senhor, o seu Deus, estará com você por onde você andar.” Agradeço à minha mãe, Welia Oliveira, por sempre me apoiar e amparar nos momentos mais difíceis. Sou grata também aos amigos que fiz ao longo do curso e aos professores que me orientaram, em especial ao professor Zoroastro Torres Vilar. Agradeço pela disponibilidade de ensino e pelo espaço cedido no laboratório físico do Grupo Moura. Por fim, sou grata aos meus gestores do Grupo Moura, que contribuíram de forma significativa para a profissional que me tornei.

6. REFERÊNCIAS

- [1] D. Berndt, SC Nijhavan, J. Fontes de energia 1 (1976/77) 3.
- [2] PAVLOV, D. Baterias de chumbo-ácido: ciência e tecnologia. 1. ed. Amsterdã: Elsevier, 2011. Cap. 4, p. 11-13.
- [3] QUALIBAT. Componentes das baterias automotivas: conheça cada detalhe. Disponível em: <https://www.qualibat.org.br/blog/componentes-das-baterias-automotivas-conheca-cada-detalhe/>. Acesso em: 15 dez. 2024.
- [4] MECÂNICA PARA LEIGOS. Conheça uma bateria. Mecânica para Leigos, 16 mar. 2016. Disponível em: <https://mecanicaparaileigos.blogspot.com/2016/03/conheca-bateria.html>. Acesso em: 8 dez. 2024.
- [5] PIMENTEL, Renan Accioly. Estudo de um sistema de controle de potência em baterias de chumbo-ácido. 2014. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2014. p. 6.
- [6] PAVLOV, D. Baterias de chumbo-ácido: ciência e tecnologia. 1. ed. Amsterdã: Elsevier, 2011. Cap. 4, p. 154-155.
- [7] East Penn Manufacturing Co., Inc. *H7 AGM Grid Alloy DOE Life Report*. Departamento de Engenharia, ARD-3.6.43, 15 de março de 2023, p. 3.
- [8] BASTOS, Maria Eugênia Piuvezam de Albuquerque. Redução do índice de orelha oxidada em placas de baterias automotivas: um estudo de caso em uma estufa industrial sem controle. 2022. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Química) – Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2022. P 26-29.
- [9] GARCIA, A. Solidificação: fundamentos e aplicações. Campinas, SP: UNICAMP, 2001. 399p. (Coleção Livro-Texto). ISBN 85-268-0523-1