

ANÁLISE DAS CAUSAS DA VARIABILIDADE DO PESO DAS PLACAS DE BATERIAS CHUMBO-ÁCIDO

¹Fernanda Monica Koch; ¹femonica@hotmail.com; ¹UNOESC – Universidade do Oeste de Santa Catarina;
²Júlio Cesar Ribeiro Lyra; ²julio.lyra@unoesc.edu.br 1; ² UNOESC – Universidade do Oeste de Santa Catarina;
³João Henrique Bagetti; ³joao.bagetti@unoesc.edu.br; ³ UNOESC – Universidade do Oeste de Santa Catarina;

RESUMO: *Este estudo foi desenvolvido em uma empresa fabricante de baterias chumbo-ácido, especificamente no setor que produz placas de baterias automotivas. Para controlar a qualidade das placas uma das características críticas a ser analisada é o peso, portanto o objetivo foi identificar as causas principais que afetam a variação do peso das placas. Placas com peso abaixo do especificado podem ocasionar descarregamento acelerado da bateria e vida útil reduzida, já as placas com peso superior à especificação dificultam o processo de montagem, além de ocasionar perda de matéria-prima por parte da empresa. Para verificar a variabilidade do peso das placas foram aplicadas ferramentas estatísticas, realizando análises das variáveis que poderiam impactar diretamente no peso final da placa. Para isso foi realizado um acompanhamento in loco da fabricação das placas, analisando o processo produtivo e coletando dados para elaboração dos gráficos. Por meio da análise dos dados, identificou-se apenas uma causa principal responsável por esta grande variação sendo a não realização de forma padronizada da regulagem do silo e cilindro da máquina de empaste.*

PALAVRAS-CHAVE: Controle estatístico; Bateria; Qualidade.

ABSTRACT: *This study was developed at a lead acid battery manufacturer, specifically in the industry that produces automotive battery plates. To control the quality of the plates one of the analytical characteristics is the weight, so the objective was to identify the main causes that affect the variation of the plates weight. Plates below the specified weight may lead to accelerated battery discharge and reduced service life. Plates heavier than the specification make the assembly process difficult, as well as loss of raw material by the company. To verify the variability of plate weight, statistical tools were applied, performing analysis of variables that could directly impact the final plate weight. For this, an on-site follow-up of the slab fabrication was performed, analyzing the production process and collecting data for the elaboration of the graphics. Through the analysis of the data, it was identified only one main cause responsible for this great variation being the non-standardization of the regulation of the silo and cylinder of the pasting machine.*

KEYWORDS: Statistical control; Battery; Quality.

1. Introdução

No atual momento econômico, para que as empresas possam prosperar é fundamental que a melhoria contínua esteja presente em seu cotidiano, sendo necessário o comprometimento de todos da organização. Para isso, é preciso que as empresas estejam dispostas a aperfeiçoar e inovar em seus processos, produtos e no seu capital humano.

Em específico, o mercado de baterias automotivas exige dos fabricantes, produtos que possuam qualidade e preço, portanto para que isso seja possível, é preciso que todos os elementos sejam produzidos com cuidado, seguindo as especificações. Um dos elementos principais da bateria são as placas, que são responsáveis pela armazenagem e condução da eletricidade, assim garantindo a corrente de partida do veículo e vida útil da bateria.

Para controlar a qualidade das placas, uma das características utilizadas é o peso. Quando essa característica está controlada, os produtos saem de maneira uniforme, garantindo o bom funcionamento. Caso contrário, isso poderia causar problemas como desperdício de matéria-prima e insatisfação dos clientes quando um produto com baixa qualidade adentra no mercado.

Nesse contexto, o objetivo deste trabalho foi analisar as causas das variações do peso das placas de baterias chumbo-ácido destinado ao segmento automotivo. Para tal, foi realizado um mapeamento das causas no processo produtivo e utilizadas ferramentas do controle estatístico de processo para determinar quão impactante são elas.

2. Referencial teórico

2.1. Baterias automotivas

Conforme CARNEIRO, et al (2017) as baterias automotivas (Figura 1) são dispositivos que armazenam energia e a conduzem até o veículo por meio dos polos, um negativo e outro positivo. Essas polaridades são feitas a partir de diferentes tipos de placas, sendo que cada modelo é projetado para desempenhar uma função diferente, buscando um ponto ótimo entre o fornecimento e armazenagem de energia.



FIGURA 1 - Principais partes que compõem uma bateria automotiva

Fonte: Vilanova (2015)

2.1.1. Placas de baterias

As placas são consideradas a principal parte de uma bateria automotiva, pois geram, armazenam e liberam a carga elétrica, elas são constituídas de duas partes: grade metálica e

massa. A grade (Figura 2 (a)) tem a função de conduzir a corrente elétrica e servir como suporte para a massa que é o material responsável por armazenar energia (CARNEIRO, et al 2017). Para que a bateria gere eletricidade é preciso adicionar massa à grade (Figura 2 (b)), os elementos que formam a massa quando expostos ao ácido geram uma reação química responsável por gerar e armazenar a eletricidade (LORICA 2007).

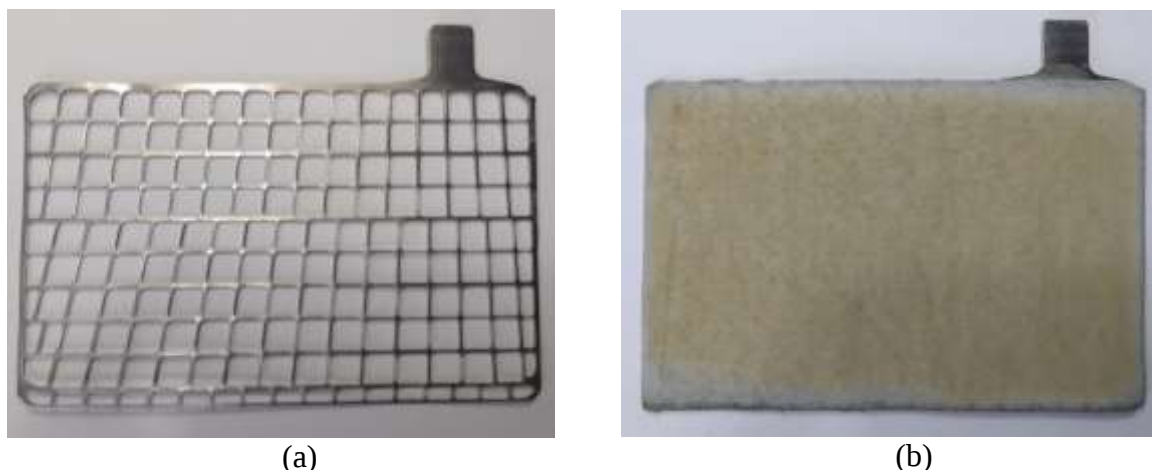


FIGURA 2 – (a) Exemplo de Grade metálica; (b) Exemplo de Placa (Grade metálica e massa)
Fonte: Os autores.

Ambos os processos são de extrema importância para o resultado final. Uma grade espessa pode acarretar peso elevado no produto e não ser aceita pelas especificações de peso do INMETRO, além de prejudicar o processo de montagem da bateria, ocasionando desperdícios de matéria-prima. Já uma placa com pouca massa faz com que a vida útil e desempenho sejam reduzidos, podendo assim a bateria não manter energia e apresentar eletricidade insuficiente para dar partida ao veículo.

2.2. Capabilidade de processo

Para Montgomery (2004), a capabilidade do processo diz respeito a sua uniformidade, mostrando como a variabilidade inerente de um processo se compara com suas especificações ou exigências do produto. Segundo Werkema (2006), é fundamental avaliar se o processo é capaz de atender às especificações e desejos dos clientes. Para processar essas informações, os índices de capabilidade (C_p ou C_{pk}) são calculados podendo resumir a situação em que o processo se encontra. Na Tabela 1, estão expostas as orientações básicas de como interpretar os índices em função dos valores de capabilidade de processo (TOLEDO et al, 2013).

TABELA 1 - Interpretação dos índices

Cp ou Cpk	Interpretação
Maior que 1,33	O processo é capaz e confiável, estando sob o controle estático
Entre 1 e 1,33	O processo é capaz mas é preciso monitoramento
Entre 0,75 e 0,99	Incapaz, possui des controle e perdas
Menor que 0,75	Totalmente incapaz, não possui condições de atender às especificações

Fonte: Adaptado de Toledo (2013).

2.3. Especificações do INMETRO com relação as baterias

O Instituto Nacional de Metrologia (INMETRO) informa na portaria n.º 299/2012 que o peso nominal de cada modelo de bateria chumbo-ácido deve estar dentro do especificado. O fornecedor quando solicita o registro do produto junto ao INMETRO deve realizar as avaliações necessárias contendo informações sobre o peso, devendo estar de acordo com cada modelo. As conformidades devem ser demonstradas por meio de ensaios e inspeção, conforme referenciados no Tabela 2.

TABELA 2 - Ensaios a serem realizados em baterias chumbo-ácido para veículos.

Requisito Técnico da Qualidade	Ensaio	Documento de referencia
5.1	Inspeção visual externa	Item 9 do requisito de atividades críticas
5.2	Peso nominal	Item 5.2 dos requisitos técnicos da qualidade
5.3	Capacidade nominal	ABNT NBR 15940
5.4	Reserva de capacidade	ABNT NBR 15940
5.5	Corrente de partida a frio	ABNT NBR 15940
5.6	Consumo de água	ABNT NBR 15940
5.7	Resistência à vibração	ABNT NBR 15940
5.8	Retenção de eletrólito	ABNT NBR 15940
5.9	Estanqueidade	ABNT NBR 15940
5.10	Teor de mercúrio e cádmio	Resolução CONAMA 401/2008

Fonte: Adaptado INMETRO 2015.

2.4. Massa de placas de baterias

A massa utilizada no empaste das placas é uma mistura de pó de chumbo com aditivos. Para chegar à densidade desejada aos reagentes adiciona-se água e ácido. A massa é fixada na grade oferecendo uma boa condução elétrica e resistência mecânica, utilizando-se duas especificações principais, as quais caracterizam as placas positivas (ânodos) ou negativas (cátodos), conforme especificações internas das empresas (PAVLOV, 2011).

3. Métodos e técnicas

O objeto de análise deste trabalho foram as placas de baterias automotivas de chumbo-ácido. A empresa analisada produz uma grande variedade de baterias e diversos modelos de placas, para o estudo foi selecionado o modelo com o maior volume de vendas. Inicialmente, identificou-se o problema principal, posteriormente, efetuou-se a observação *in loco* e coleta de dados quantitativos, registros internos e diretamente por experimentação; por fim, na análise dos problemas, efetuou-se o teste de consistência das causas, para identificar as causas fundamentais. A coleta dos dados ocorreu nas seguintes etapas do processo produtivo: (1) fabricação da fita (parâmetro analisado: espessura); (2) estampagem da grade (parâmetro analisado: peso e espessura); (3) empaste (parâmetro analisado: peso); e (4) secagem (parâmetro analisado: peso e porcentagem de perda de peso).

Para coleta dos dados na fita e grade coletou-se 120 amostras a cada 20 minutos, totalizando 20 subgrupos de processamento, enquanto para o empaste e secagem coletou-se 20 amostras. Para medida da espessura das fitas foram retiradas amostras de dimensão de 30 centímetros e efetuadas 4 medições em pontos diferentes. As medidas foram efetuadas em balança e micrometro digital calibrados de acordo com plano interno. A coleta de dados foi realizada de julho a setembro de 2019.

4. Resultados e discussões

4.1. Processo produtivo analisado

O processo de fabricação das placas começa com os lingotes de chumbo, esses são derretidos e transformados em fitas pelo processo de laminação, após as fitas serem inspecionadas com relação à especificação da liga e a espessura, elas seguem para o processo de estampagem que modela o desenho e tamanho que a grade deve ter, conforme especificações de projeto. O processo seguinte é o empaste, que consiste em adicionar massa nos dois lados da grade, formando a placa. Após esta etapa, é feita uma secagem por meio de um túnel, assim encerrando o processo de fabricação.

4.2. Situação atual

Para garantir que o processo seja feito adequadamente, a empresa faz o controle de qualidade monitorando algumas variáveis, como o dimensional e o peso das placas. Para melhor compreensão, será feita a descrição das etapas produtivas relevantes (Figura 3).

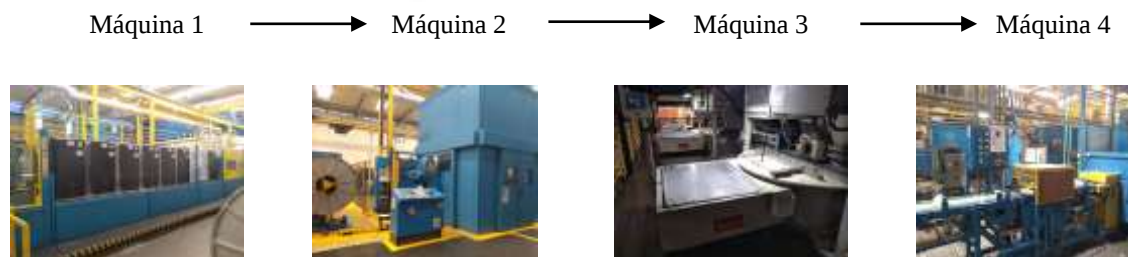


FIGURA 3 - Sequência de máquinas no processo produtivo da empresa analisada.

Fonte: Os autores.

A máquina 1 é responsável pelo processo de laminação do chumbo liga, que é feita a partir de parâmetros determinados pela Engenharia de Produto, durante a fabricação acontecem dois tipos de inspeção: a medição da espessura e a verificação da qualidade superficial. A inspeção da espessura é feita somente no controle inicial, retirando-se amostras com tamanhos médios de 30 centímetros, já a qualidade superficial é inspecionada somente pelo controle visual e de maneira constante, analisando somente se a fita está apresentando ondulações caracterizadas como não conformidades.

O processo realizado na máquina 2 é a estampagem nas fitas, conforme projeto de cada grade. Nessa etapa, é feita a inspeção visual da grade, analisando se está isenta de rebarbas e com o formato compatível do desenho técnico, conforme padrão de gestão visual presente na linha de produção. A inspeção feita pelos operadores é realizada no controle inicial de fabricação, quando se troca o modelo.

A máquina 3 prepara a massa, para esse processo, é preciso que o operador siga atentamente a formulação definida nas especificações. A densidade da massa é o parâmetro de controle de produção utilizado na empresa, pois tem grande influência no peso final da placa.

Na máquina 4 é feita a união da grade com a massa e após é realizado a secagem. O peso é inspecionado para verificação do produto, ressalta-se que o controle inicial do peso é realizado sem utilizar um plano de amostragem definido por norma. Conforme descrito anteriormente, o peso e a espessura são formas de medições quantitativas utilizadas para verificar se o produto em fabricação está aprovado e com a qualidade desejada.

4.3. Problematização

Na empresa analisada o problema principal identificado foi a grande variação do peso das placas prontas, estando algumas fora da especificação técnica. A variação do peso final da

placa está apresentada na Figura 4, onde é possível observar o limite superior de controle (LSC) e limite inferior de controle (LIC) e também o limite superior de especificação (LSE) e limite inferior de especificação (LIE), concluindo que o processo se encontrava instável (fora dos limites de controle) e incapaz (fora dos limites de especificação).

Pode-se notar pontos fora do limite de controle e sequência de 7 pontos ou mais acima da média, além de apresentar vários pontos acima do LSE, não sendo capaz de atender às especificações com um (CP_k) de 0,08. As especificações do peso da placa são 129 ± 2 gramas, tendo a média do processo analisado 131,80 gramas totalizando em média 2,8 gramas a mais por placa fabricada, ocasionando perda de matéria-prima.

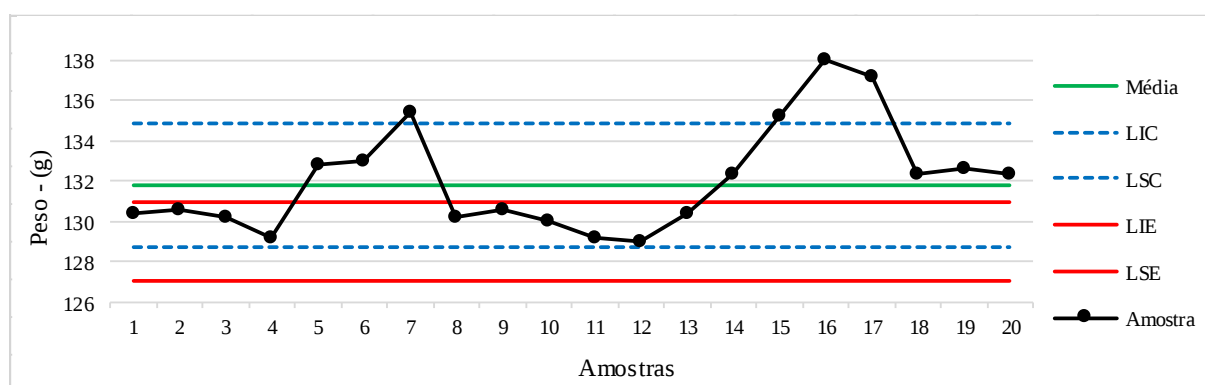


FIGURA 4 - Médias do peso da placa após o empaste e antes da secagem.

Fonte: Os autores.

4.4. Possíveis causas da variação do peso das placas

Por meio do diagrama de causa e efeito (Figura 5) foi realizado um levantamento das possíveis causas da variação no peso das placas.

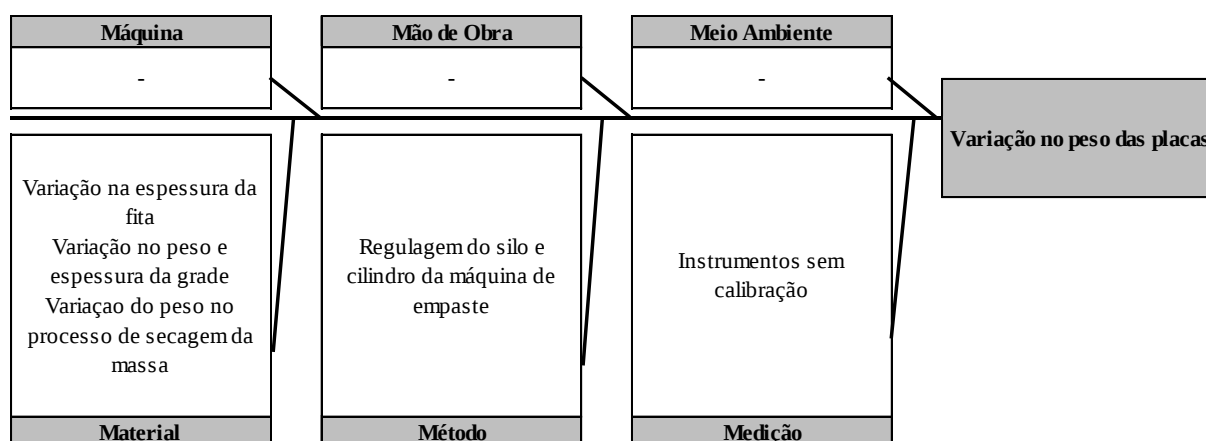


FIGURA 5 - Causas possíveis da variação do peso na placa.

Fonte: Os autores.

O primeiro processo analisado foi a variação da espessura da fita de chumbo para saber se ela impactaria no peso final. Como pode ser observado na Figura 6, o processo possui todos os pontos dentro LIC e LSC portanto, o processo é estável, o mesmo acontece no LIE e LSE, sendo capaz de atender às especificações. Além disso, pode-se observar que os pontos estão muito distantes dos LIE e LSC, mostrando que o processo está extremamente capaz e que a variação da espessura é muito pequena não influenciando na variação significativa do peso.

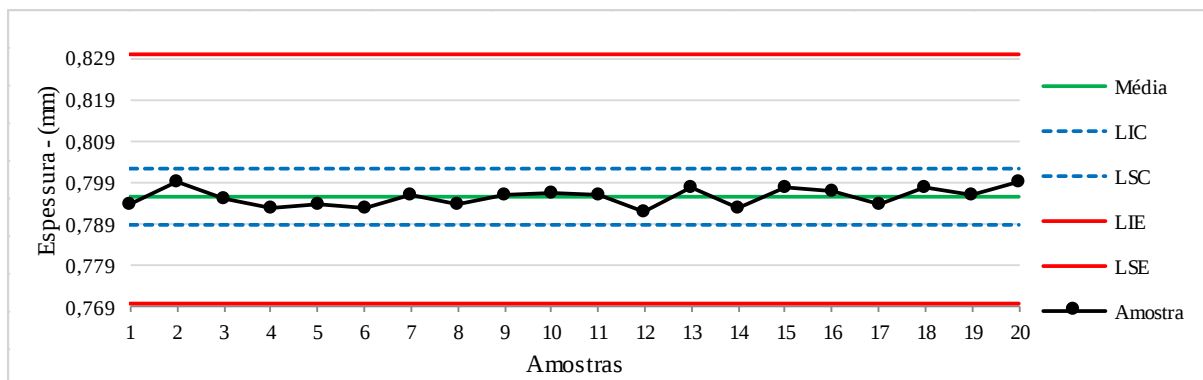


FIGURA 6 - Médias da espessura da fita.

Fonte: Os autores.

A segunda análise foi realizada nas grades, verificando se a variação da espessura tem influência direta no peso. Elaborou-se um diagrama de dispersão, cujo coeficiente de correção (R) calculado foi de 0,059, mostrando que a variação da espessura não tem influência significativa na variação do peso da grade (Figura 7).

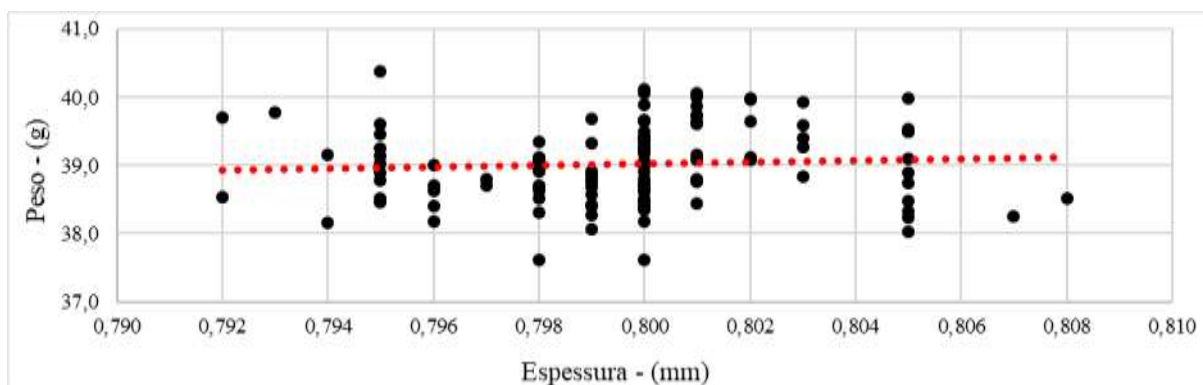


FIGURA 7 - Dispersão entre espessura e peso da grade

Fonte: Os autores.

O processo de empaste consiste em adicionar a massa na grade. Após a preparação da massa, ela é depositada em um silo, na parte inferior deste silo, há uma forma padrão para cada tipo de grade que pré-define a quantidade de massa a ser depositada. Após a colocação da massa

sobre a grade, a mesma passa por rolos cilíndricos que devem distribuir uniformemente a massa. A regulagem do silo e dos cilindros é feita pela experiência do operador a cada início de uma nova batelada de massa. Observou-se que nessa regulagem do silo e dos cilindros não existe um plano de amostragem que confirme sua eficácia. O operador retira algumas placas e realiza a medição de forma aleatória do peso, não havendo qualquer registro. Se o peso observado está muito alto ou muito baixo em relação à especificação da placa, é realizado um novo ajuste. Também, foi observado que se processava em vários minutos sem a devida inspeção do peso, o que poderia causar peças não conformes.

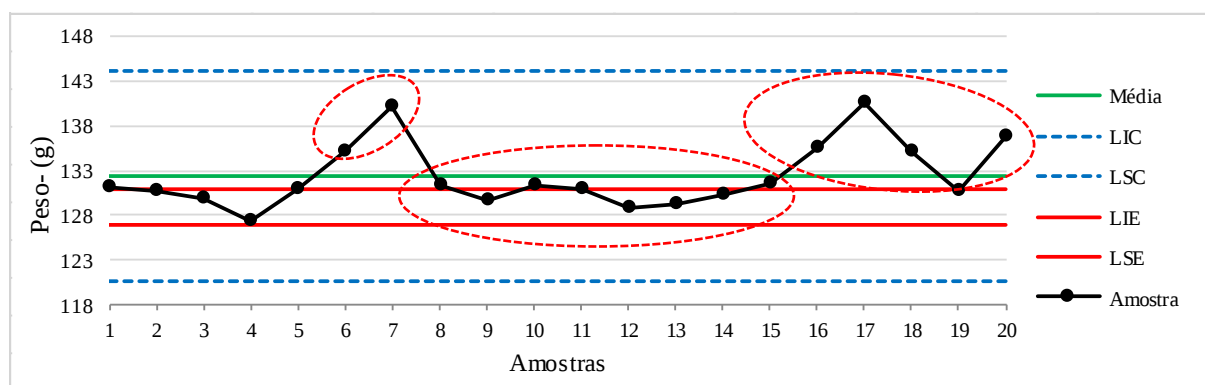


FIGURA 8 - Médias do peso das placas úmidas

Fonte: Os autores.

Após o empaste, colocação da massa sobre a grade, é efetuada a secagem da placa no túnel. O túnel possui temperatura constante de 280 °C controlada eletronicamente, se mantendo na especificação independente da temperatura ambiente. Na Figura 9, pode-se observar que as placas mantiveram a mesma configuração antes da secagem (Figura 8).

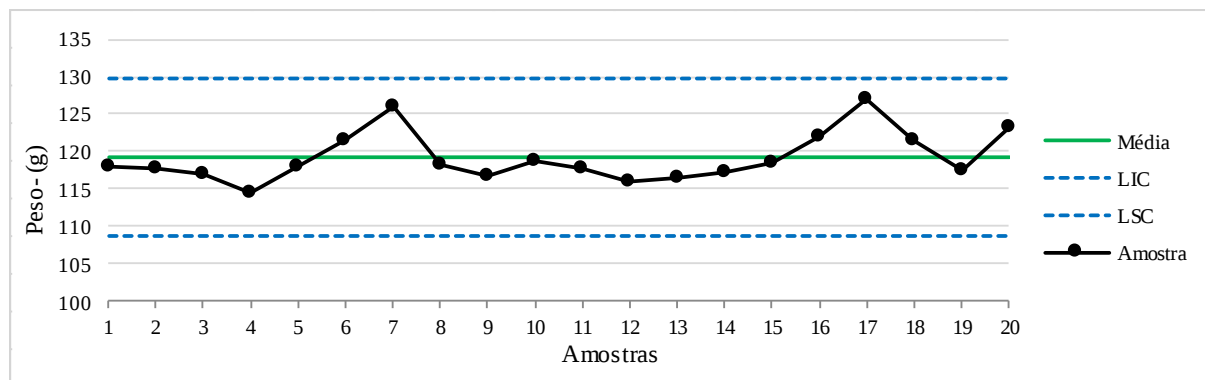


FIGURA 9 - Médias do peso das placas secas

Fonte: Os autores.

Para verificar a variação do peso na secagem efetuou-se a pesagem das placas antes e depois da secagem. Na Figura 10, pode-se observar o percentual de decréscimo do peso por perda de

umidade. A porcentagem média de perda de peso por unidade nas amostras foi de 11,06% com desvio-padrão de 0,14%. Como somente dois pontos apresentaram uma redução percentual de peso um pouco mais significativa, pode-se concluir que variações produtivas do peso médio não placas não são decorrentes no processo de secagem.

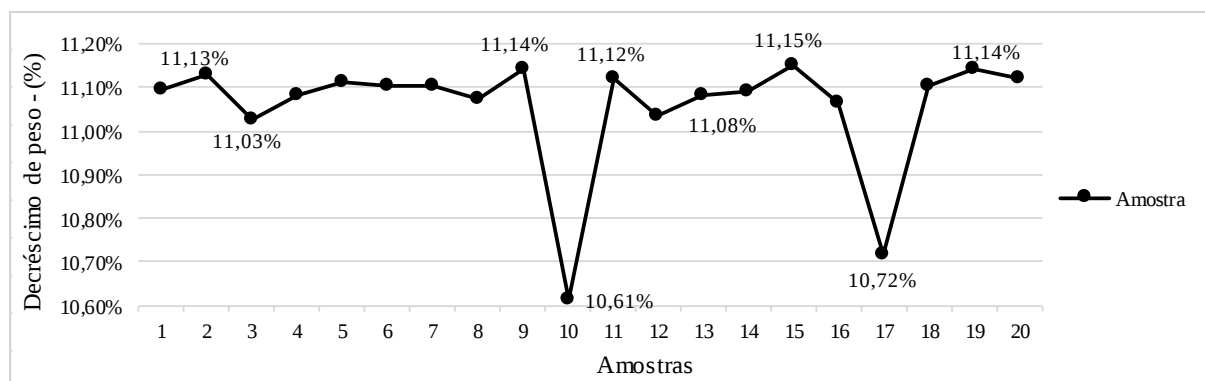


FIGURA 10 - Porcentagem de perda de peso das placas durante a secagem.

Fonte: Os autores.

4.5. Teste de consistência

Para validar as causas efetuou-se o teste de consistências (Tabela 3).

TABELA 3 - Teste de consistências das causas.

Causa provável	Aceitar ou rejeitar
Regulagem do silo e cilindro da máquina de empaste.	Aceita. Razão: A regulagem da máquina está relacionada as seguintes causas prováveis: a) Falta de padrão de regulagem do silo e cilindro: Os operadores regulam por meio de tentativa e erro até atingir o peso do modelo em fabricação. Sendo assim, ocorre que várias placas sejam fabricadas sem as especificações desejadas. b) Ajuste da altura do silo e do espaçamento entre os cilindros da máquina de empaste: A máquina sem o ajuste apropriado pode ocasionar placas com diferentes espessuras e pesos, a regulagem feita somente pela experiência do operador não garante placas com as variações dentro previsto no projeto.
Variação do peso no processo de secagem da massa	Rejeita. Razão: A perda da umidade da placa teve como média 11,06% de peso perdido, com desvio padrão de 0,14% sendo significativamente baixo, ver Figura 10. Quando analisados os pesos das placas no empaste (Figura 8) e após o processo de secagem, (Figura 9) é visível que as amostras mantêm o mesmo padrão de peso, assim não sendo um causador direto da variação final do peso da placa
Variação na espessura da fita	Rejeita. Razão: Os dados mostram que existe baixa variação na espessura da fita, bem como as mesmas se encontram dentro dos LIC e LSC e longe dos LIE e LSE. Ver Figura 6.
Variação no peso e espessura da grade	Rejeita. Razão: Os dados coletados mostram que não existe correlação significativa entre o peso da grade e sua respectiva espessura. Ver Figura 7.
Instrumentos sem calibração	Rejeita. Razão: A empresa conta com plano de calibração, portanto todos os equipamentos utilizados durante as medições estavam com a calibração em dia.

Fonte: Os autores.

6. Considerações finais

O objetivo desse estudo foi identificar as causas principais que afetam a variação do peso das placas de baterias chumbo-ácido, com o intuito de alcançar uma melhor qualidade.

A análise foi realizada nos principais processos de fabricação da placa. O primeiro processo avaliado, foi a fabricação da fita (parâmetro analisado: espessura) mostrando que não possui variação significativa. Em segundo momento, a estampagem da grade (parâmetro analisado: peso e espessura) mostrando-se sem correlação significativa e por fim, o empaste (parâmetro analisado: peso) ficando claro a falta de controle do processo.

Com o mapeamento de todas as possíveis causas de variação, pode-se identificar que apenas um dos fatores possui influência significativa sobre a variação no peso final da placa, sendo a regulagem do silo e cilindros na máquina, que realiza o empaste das placas. Devido à limitação do tempo, não foi possível realizar um estudo para definir uma regulagem padrão do silo e dos cilindros que distribuem a massa na placa, somente foi possível constatar que esse parâmetro deve ser definido e controlado, pois suas variações estão impactando na variação do peso.

Portanto, é perceptível que a utilização de ferramentas estatísticas tornam-se um instrumento fundamental para análise de processo, a fim de mostrar de maneira simples e de fácil entendimento se o processo é capaz de atender às especificações, podendo ser utilizada como ferramenta para resolução de problemas relacionados à qualidade.

Referências

BATERIAS automotivas: Boas práticas no uso e na destinação.2018. Disponível em: <http://cms.cnt.org.br/Imagens%20CNT/PDFs%20CNT/Cartilha_baterias.pdf>. Acesso em: 10 set. 2019.

BODEN, David P.; LABOVITZ, Benjamin P. **Aditivo de pasta de bateria e método para a produção de placas de bateria**. 2007. Disponível em: <<https://www.escavador.com/patentes/376978/aditivo-de-pasta-de-bateria-e-metodo-para-a-producao-de-placas-de-bateria?page=4>>. Acesso em: 14 out. 2019.

FOGAÇA, Jennifer Rocha Vargas. **Bateria de chumbo dos automóveis. Brasil Escola**. Disponível em: <<https://brasilecola.uol.com.br/quimica/bateria-chumbo-dos-automoveis.htm>>. Acesso em 05 de novembro de 2019.

INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA - INMETRO: Portaria n.º 199, de 16 de abril de 2015. Portaria n.º 199, de 16 de abril de 2015. 2015. Disponível em: <<http://www.inmetro.gov.br/legislacao/rtac/pdf/RTAC002252.pdf>>. Acesso em: 10 set. 2019.

MONTGOMERY, D. **Introdução ao controle estatístico da qualidade**. 4ªed. LTC- Livros Técnicos Científicos, 2004.

TOLEDO, J. C.; BORRÁS, M. A. A.; Mergulhão, R. C.; Mendes, G. H. S. **Qualidade: gestão e métodos**. Rio de Janeiro: LTC – Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., 2013.

VILANOVA, Carolina. **O Mecânico: Energia não pode acabar**. 2015. Disponível em: <<https://omecanico.com.br/energia-nao-pode-acabar/>>. Acesso em: 19 out. 2019.

WERKEMA, M.C.C. **Ferramentas estatísticas básicas para o gerenciamento de processos**. Belo Horizonte: Fundação Christiano Ottoni, 2006.