

Michel Floriano de Lima

Universidade de Taubaté

michelflima@ig.com.br

Antonio Faria Neto

Universidade Estadual Paulista

antfarianeto@gmail.com

Correspondência/Contato

*UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ
Departamento de Engenharia Mecânica*

*Rua Daniel Danelli, s/n, Jd. Morumbi
Taubaté - SP
CEP 12060-440
Fone (12) 3625-4193*

Editores responsáveis

*Prof. Dr. Evandro Luis Nohara
evandro@unitau.br*

*Prof. Dr. Luiz Eduardo Nicolini do P. Nunes
luiz.nunes@unitau.com.br*

*Profa. Dra. Valesca Alves Correa
valesca.correa@unitau.com.br*

OTIMIZAÇÃO DE UM PROCESSO DE INSERÇÃO DE BUCHAS METÁLICAS A QUENTE EM TERMOPLÁSTICOS UTILIZANDO A TÉCNICA DE PLANEJAMENTO DE EXPERIMENTOS

RESUMO

O estudo tem por objetivo relacionar fatores que contribuam para o resultado final do processo, utilizando a ferramenta do DOE, a fim de obter o maior controle do processo de inserção de buchas metálicas a quente em termoplásticos. Não existe muita literatura e estudos sobre o processo de inserção de buchas metálicas a quente em termoplásticos. Desta forma, a parametrização do processo torna-se uma tarefa do próprio construtor do equipamento. A indústria estudada tem dificuldades para realizar tal tarefa. A mudança de parâmetros quando um problema ocorre é realizada na base da tentativa e erro. O objetivo é racionalizar essas mudanças de parâmetros utilizando um método científico para delimitar os espaços para tais mudanças quando necessárias.

Palavras-chave: DOE, Planejamento de Experimentos, Melhoria de Processos, Inserção de Buchas a quente, Ishikawa.

1 INTRODUÇÃO

O método de tentativa e erro na indústria resulta em diversos desperdícios nos quais sugam as eficiências financeiras, a qualidade do produto e a produtividade dos processos.

O estudo demonstrará o uso da ferramenta DOE, *Design of Experiments*, como metodologia de análise e proposta de uma nova parametrização de um processo de inserção de buchas metálicas que utiliza a transferência de calor para plastificar um termoplástico e após o resfriamento a fixa ao conjunto mecânico do produto estudado.

A empresa estudada é uma multinacional com presença global e instalações no Brasil. O foco de negócios é o de autopeças.

Será utilizado como universo de amostragem uma célula de manufatura desta organização que realiza operações de soldagem, inserção de buchas a quente e montagem de coletores de admissão utilizados em motores a combustão.

Não existe muita literatura ou estudos sobre o processo de inserção de buchas metálicas a quente em termoplásticos. Desta forma, a parametrização do processo torna-se uma tarefa do próprio construtor do equipamento ou do usuário do mesmo. A indústria estudada tem dificuldades para realizar tal tarefa.

O objetivo é racionalizar essas mudanças de parâmetros utilizando a metodologia do DOE para relacionar as interferências de cada um dos parâmetros entre si para obter-se o resultado final esperado que é uma bucha inserida com no máximo de 0,3 mm do corpo não inserido.

O desafio é relacionar e quantificar as variáveis: temperatura da bucha, curso de inserção e tempo de resfriamento para obter o resultado de no máximo 0,3 mm de corpo da bucha para fora do furo. Essa bucha servirá de elemento de fixação, juntamente com os parafusos, dos componentes que integram o sistema de admissão de ar e combustível de motores a combustão.

Os ensaios serão realizados em um equipamento de inserção automática onde as buchas metálicas são abastecidas em um alimentador automático que carrega um sistema de aquecimento e liberador de buchas. Existe um berço onde o coletor de admissão, que é a peça a ser embuchada, é movimentado automaticamente por meio de servo-motores que posicionam o coletor até o liberador de buchas que as liberam aos furos do coletor para que o processo de embuchamento ocorra conforme citado anteriormente. Este processo é executado 15 vezes por coletor.

Os resultados do estudo ajudarão a empresa a economizar tempo com ajustes de parâmetros, diminuição de retrabalhos e refugo que atualmente a mesma enfrenta por não ter uma correlação das variáveis que afetam o processo.

Espera-se do estudo certificar que a ferramenta DOE seja eficaz para a determinação de pontos ótimos de trabalho para este processo.

2 PLANEJAMENTO DE EXPERIMENTOS

Para Sanchez (2006), o processo de construção, verificação e validação de um modelo de simulação podem ser árduos, porém, após de completo o modelo trabalha para o desenvolvedor do modelo.

De acordo com Montgomery (1997), uma maneira sistemática de avaliar a magnitude de várias fontes de variação que influenciam um processo deve se iniciar com a identificação e seleção dos fatores que possam contribuir para a variação.

As formas nas quais pode-se elencar quais fatores estes serão relevantes para análise são diversas. Podem-se utilizar técnicas de sessões de brainstorming, fluxogramas e diagramas de causa-efeito realizados por especialistas no processo. Estas técnicas podem contribuir para a escolha adequada das fontes de variação determinantes para o resultado final de um processo.

Precisa-se analisar que, em estatística, planejamento de experimentos promove um segmento único que desenvolve técnicas de planejamento e análise de experimentos.

Montgomery e Runger (2003) afirmam que utilizando “planejamentos fatoriais” em experimentos que envolvem diversos fatores e que “experimentos fatoriais” são a única maneira de identificar todas as interações entre variáveis de processo (MONTGOMERY; RUNGER, 2003).

O mais relevante é aquele de K fatores, cada um com dois níveis elencados, podendo ser qualitativo como alto e baixo, ou quantitativo como valores máximo e mínimo. Chamamos esta particularidade de planejamento fatorial 2K, onde, uma réplica completa requer $2 \times 2 \times 2 \times \dots \times 2 = 2^K$ observações (NETO; SCARMINIO; BRUNS; 2007).

Segundo Johnson e Wichern (1998), a finalidade da análise fatorial é observar a relação de covariância entre diversas variáveis em relação de algumas quantidades subjacentes chamadas fatores.

A versão clássica da análise fatorial é a de determinar fatores ortogonais que descrevam aproximadamente e sucessivamente os vetores resposta das variáveis investigadas.

O planejamento de experimentos pode ser:

- Tratamento em pares;
- Tratamento em blocos;
- Quadrado Latino;
- Quadrado Greco-Latino;
- Quadrado Hiper-Greco-Latino;
- Experimentos Fatoriais.

3 MÉTODOS E PROCEDIMENTOS

A empresa estudada é uma multinacional com presença global e instalações no Brasil. Seu foco de negócios é o de autopeças e sistemas automotivos.



Figura 1: Coletor de admissão.

Utilizaram-se como universo de amostragem uma célula de manufatura desta organização que realiza operações de soldagem, inserção de buchas a quente e montagem de coletores de admissão, conforme a Figura 1, utilizados em motores a combustão.



Figura 2: Localização do coletor de admissão no automóvel.

Os coletores de admissão são componentes utilizados em motores, conforme a Figura 2, para induzir o ar a entrar na câmara de combustão e se misturar ao combustível.

O produto estudado é composto de uma série de componentes plásticos injetados que posteriormente são unidos por meio de soldagem por fricção mecânica.

O motor de um automóvel é uma máquina que exige boa resistência a grandes variações de temperatura e vibração dos componentes agregados a este.

A resina plástica utilizada para a manufatura deste produto possui boas propriedades mecânicas relativas à resistência a grandes variações de temperatura. Porém, existe um problema quanto à fixação deste produto no motor

e de periféricos ao mesmo. Devido às altas vibrações, torques elevados são necessários para manter a fixação dos componentes por meio de parafusos.

A resina plástica não permite que altos torques sejam aplicados, pois, o mesmo não resiste mecanicamente.

Desta forma, o recurso de engenharia utilizado para que sejam aplicados altos torques nos pontos de fixação dos componentes é a aplicação de insertos metálicos nos pontos onde serão utilizados parafusos.

Estes insertos metálicos resistem a torques maiores do que as resinas plásticas. O problema então é como aplicar insertos no componente injetado em resina plástica?

Sobreinjeção é um processo largamente utilizado, porém, pela quantidade de pontos de fixação, a complexidade do molde de injeção inviabiliza esta técnica.

A técnica aplicação de insertos por interferência mecânica não garante resistência mecânica a altos torques.

Desta forma, a melhor técnica de fixação destas buchas é o processo de embuchamento por transferência térmica.

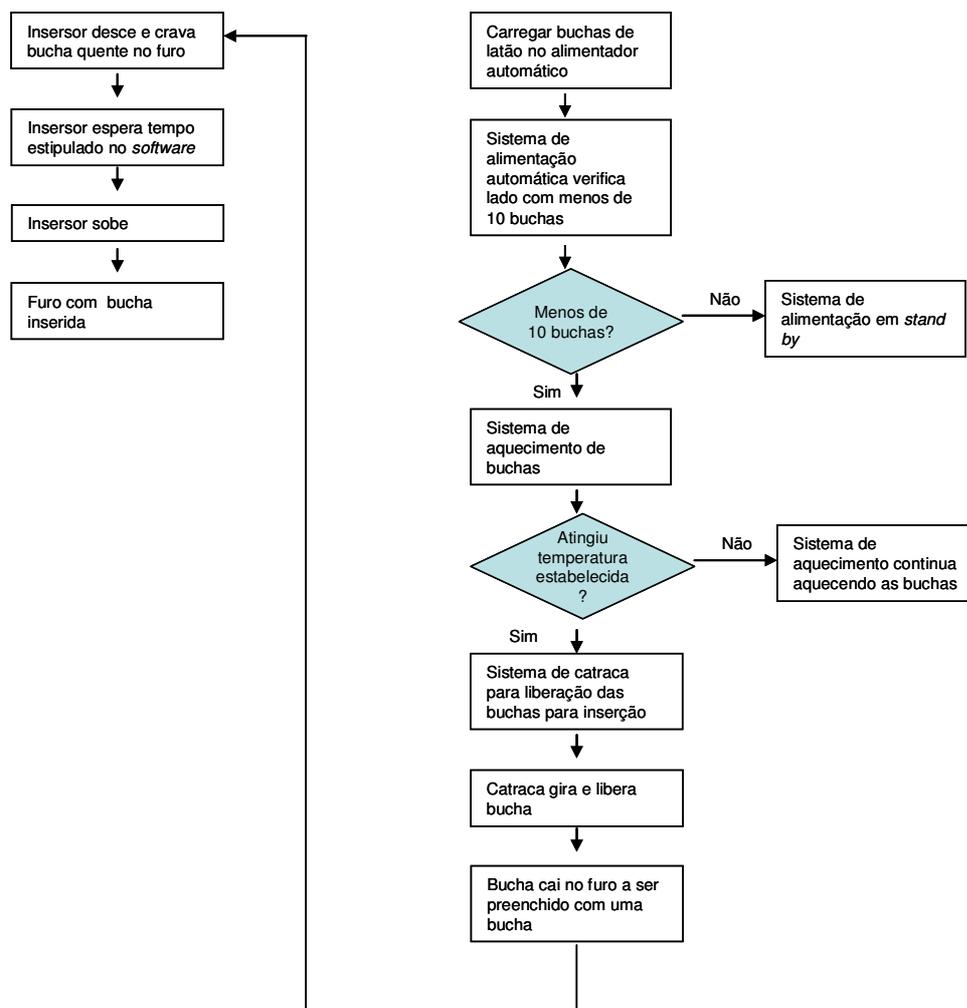


Figura 3. Fluxo de operação do equipamento de inserção de buchas metálicas a quente.

O processo de embuchamento por transferência térmica, conforme descrito na Figura 3, consiste em aquecer uma bucha metálica de latão até 260° C, posicioná-la no furo com interferência mecânica e por meio de um insersor, empurrá-la até o fundo do furo. Sendo o material das paredes do furo um termoplástico, o calor latente da bucha plastifica o termoplástico permitindo que a bucha seja inserida. Após alguns segundos, o termoplástico sofre um resfriamento no qual solidifica o termoplástico fixando a bucha ao corpo do coletor de admissão.



Figura 4. Localização das buchas metálicas no coletor de admissão.

Vale lembrar que os elementos gráficos (imagens, tabelas, quadros, gráficos etc) devem ser apresentados no corpo do texto, sendo numerados e titulados e apresentar indicação das fontes que lhes correspondem. Além disso, deverão ser encaminhados em arquivos separados (extensão JPEG, GIF, TIFF ou similar), por e-mail junto com o artigo. Recomenda-se que sejam confeccionados para sua reprodução direta.

O resultado final deste processo de inserção são 15 insertos de latão inseridos termicamente nos quais receberão parafusos para fixar componentes nele e fixar a si próprio ao motor do automóvel. Conforme a Figura 4.

O equipamento de inserção de buchas funciona praticamente sem ação do operador.



Figura 5. Controladores de temperatura.

O operador deve somente carregar no dispositivo posicionador o coletor de admissão soldado e apertar um botão. Além disso, deve manter abastecido o alimentador automático de buchas.

O aquecimento das buchas é realizado em um dispositivo de aquecimento por meio de uma resistência elétrica de cerâmica que é controlada por um controlador de temperatura, conforme Figura 5, que recebe as informações de temperatura no conjunto de catraca de buchas onde as buchas são aquecidas e liberadas para inserção.



Figura 6. Sistema de insensor e aquecedor de buchas.

O sistema de aquecimento de buchas demonstrado na Figura 6, como já citado anteriormente, consiste em um sistema de catraca com 10 posições onde as buchas são aquecidas por meio de uma resistência elétrica cerâmica. O alimentador automático alimenta a catraca de 10 posições que abriga uma bucha em cada uma delas.

Toda vez que é necessária a inserção de uma bucha, a catraca gira até o duto de posicionamento da bucha onde a bucha cai por gravidade até o furo a ser embuchado.

Essa cavidade da catraca que fica vazia será movimentada angularmente até chegar no duto de abastecimento onde o alimentador automático enviou as buchas. É definido que pelo menos 10 buchas devem estar no duto de abastecimento aguardando uma cavidade vazia da catraca do dispositivo de aquecimento atinja-o. Sendo preenchida com uma das dez buchas que estão esperando serem aquecidas.



Figura 7. Alimentador automático de buchas.

O alimentador automático apresentado na Figura 7 em a função de alimentar do duto de alimentação e posicionar as buchas na posição correta já que estas são cônicas para facilitar a inserção das mesmas no furo do coletor.



Figura 8. Sistema de inserção e aquecimento duplo.

A Figura 8 demonstra que o equipamento estudado possui dois dispositivos de aquecimento de buchas. Isso aumenta a quantidade de buchas inseridas melhorando a produtividade. Ambos dispositivos possuem o mesmo desenho de fabricação.

Para que o alimentador automático alimente os dois dispositivos existe um selecionador de duto de abastecimento que seleciona em que duto a bucha já posicionada corretamente deve ser alimentada.



Figura 9. Alojamento sem a bucha.

As cavidades do coletor de admissão da Figura 9 que receberão as buchas metálicas possuem paredes de poliamida com carga mineral de 30% e 15% de fibra de vidro.

Este material resiste a grandes variações térmicas, vibrações e esforços decorrentes do vácuo do motor. Até mesmo, pequenas explosões decorrentes do retorno das explosões da câmara de combustão são suportadas por este material.

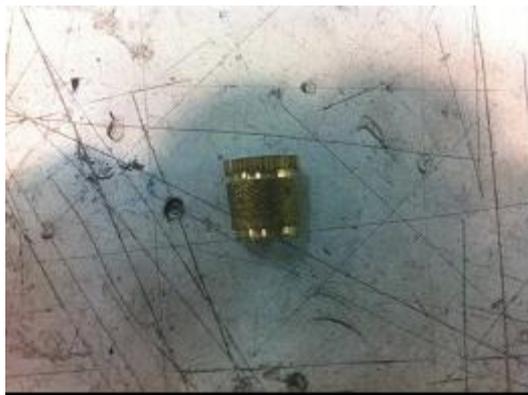


Figura 10. Bucha metálica.



Figura 11. Bucha metálica vista de topo.

O inserto metálico que preenche as cavidades do coletor de admissão possui o furo interno roscado e a parede externa recartilhada para aumentar a fixação da mesma as paredes do furo do coletor, conforme a Figura 10 e Figura 11.

O material é uma liga 70/30 de latão e possui o perfil externo cônico para facilitar a penetração do mesmo quente à parede do furo do coletor.

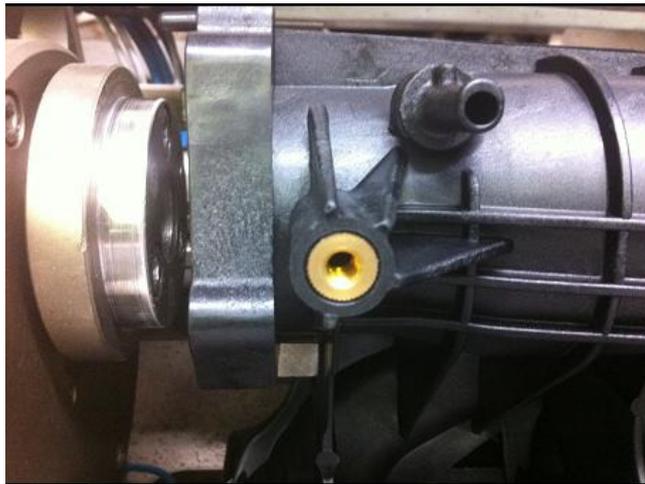


Figura 12. Bucha metálica inserida no alojamento.

Após a sua inserção, não é permitido que a poliamida derretida cubra a flange do inserto como demonstrado na Figura 12. Esta falha acarretaria na má fixação do parafuso e componente e posteriormente uma possível soltura dos mesmos, ocasionados por aplicação torque incorreto ou perda do mesmo ao longo do ciclo de vida do produto.



Figura 13. Bucha metálica inserida no alojamento vista de perfil.

Observada de perfil, como na Figura 13, o corpo da bucha deve estar rente a flange do furo ou no máximo 0,3mm com o seu corpo para fora da cavidade. Não é permitido que a bucha esteja abaixo do flange do furo. Pois, no momento da aplicação de torque a bucha pode ser sacada, pois, este inserto resiste apenas a esforços angulares. Esforços axiais retiram com certa facilidade a bucha.



Figura 14. Método de medição da altura de inserção da bucha utilizando um relógio comparador.

O método de medição utilizado para verificação da altura de inserção da bucha é um relógio comparador que mede as distâncias dos planos do flange da bucha e do flange do furo, conforme Figura 14.

O operador deve realizar esta medição três vezes ao turno: no início, no meio e ao final.

São justamente durante estes controles que os operadores verificam um grande descontrole do processo.

São verificadas as alturas de inserção determinadas pela especificação citada acima não estão sendo respeitadas.

Quando o problema é detectado, o técnico de processo é acionado e pela tentativa e erro, o mesmo ajusta o processo em uma intervenção que dura em muitos casos horas.

Deve-se determinar pelo método de planejamento de experimentos quais são as variáveis a serem controladas e quais são os limites estabelecidos para o atendimento da especificação de 0 a 0,3mm de altura de inserção da bucha em relação ao topo do furo do coletor de admissão.

Primeiramente serão determinados neste artigo quais são as variáveis que afetam o processo para posteriormente serem estudadas.

Para a determinação destas variáveis será utilizado o método de Ishikawa.

4 RESULTADOS

Após a realização de um *brainstorming*, verificaram-se quais seriam as possíveis variáveis do processo.

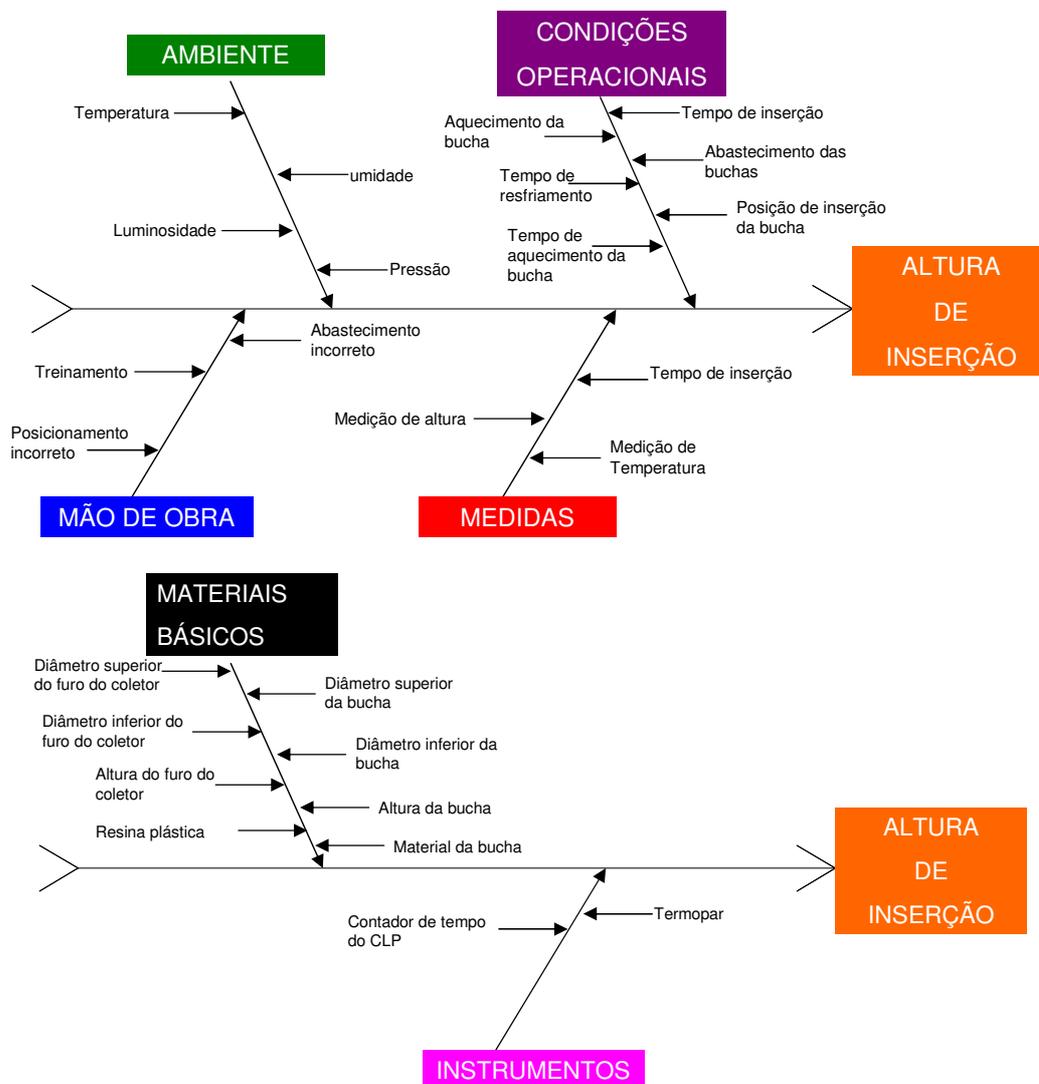


Figura 15. Diagrama de Ishikawa para determinar quais são os fatores determinantes para a altura de inserção das buchas metálicas.

Todas essas possíveis variáveis afetam a cabeça do diagrama determinado como sendo a altura de inserção da bucha metálica, conforme visto na Figura 15. Na verdade, esses fatores tentam responder a questão: Quais são as variáveis que afetam a altura de inserção da bucha?

Deste diagrama, podem-se definir quais variáveis serão estudadas e suas faixas alteradas no processo. E quais variáveis serão mantidas constantes e não serão estudadas.

Os fatores que afetam a altura de inserção são:

- Temperatura de aquecimento da bucha;
- Tempo de inserção;
- Diâmetro superior do furo do coletor;
- Diâmetro inferior do furo do coletor;
- Diâmetro superior da bucha;
- Diâmetro inferior da bucha;
- Temperatura externa;

- Composição da resina;

Escolheram-se como variáveis a serem estudadas:

- Temperatura de aquecimento da bucha;
- Tempo de inserção;

As demais variáveis serão consideradas constantes.

5 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Verificaram-se na análise do Ishikawa várias variáveis do processo de inserção de buchas a quente devem ser controladas. Porém, apenas as variáveis temperatura de aquecimento da bucha e tempo de inserção conseguem ser controladas no equipamento.

O diâmetro superior e inferior do coletor não conseguem ser controlados no equipamento de inserção. Essas características são fixadas no processo de injeção plástica do fornecedor interno da empresa estudada. Uma vez dentro das especificações de projeto, esta característica não é variável e se mantém constantes. Para provar tal fato, um estudo de capacidade do processo para verificar a estabilidade do processo deve ser executada.

Para as características diâmetro inferior e superior da bucha, verificaram-se que a mesma é uma peça usinada com boa estabilidade dimensional. Todavia, um mesmo estudo de capacidade é necessário para provar esta tal capacidade dimensional.

A temperatura externa também não pode ser controlada.

Já a composição da resina depende muito do fornecedor. O equipamento de inserção de buchas não consegue controlar essa característica. De qualquer forma, o fornecedor emite relatórios de conformidade com as especificações em todos os lotes.

6 CONCLUSÃO

O processo de inserção de buchas a quente deve ser controlado de maneira mais eficaz para evitar perdas por controle de variáveis incorreto.

Existem estudos adicionais para apoiar a decisão de promover um experimento com base apenas na temperatura e tempo de inserção.

Apenas o estudo de capacidade dimensional poderá provar que realmente são constantes os diâmetros da bucha e furos de inserção do coletor.

Desta forma, pode-se estar melhores suportados nos próximos passos do estudo.

A ferramenta de análise de variáveis de Ishikawa ajuda a identificar os principais fatores que influenciam na altura de inserção da bucha.

Porém, a mesma não é suficiente para apoiar as decisões de eliminação de variáveis significativas.

Ou seja, a ferramenta Ishikawa ajuda a organizar as idéias do brainstorming, mas não é suficiente para a eliminação das variáveis não significativas para o estudo.

Com as variáveis constatadas neste diagrama pode-se iniciar a segunda parte do estudo que se refere a análise da quantidade de experimentos necessários e a relação entre as variáveis.

Mas antes, os estudos de capacidade deverão ser executados para apoiar a decisão de eliminação de variáveis não significativas.

Nesta outra parte do estudo deverão ser verificados além da prova de que as outras variáveis são realmente estáveis, a quantidade de amostras para o experimento e as metodologias de análise do planejamento de experimentos.

Esse planejamento será demonstrado oportunamente em outro artigo

REFERÊNCIAS

- Faria Neto, Antonio, 2011, "Planejamento de Experimentos: Curso Introductório", Relatório de Pós Doutorado, Guaratinguetá.
- Montgomery, Douglas C., 1976, "Design and Analysis of Experiments", 5th Edition, John Wiley & Sons, ISBN 0-471-31649-0.
- Montgomery, C. D.; Runger, G. C. , 2003, "Estatística aplicada e probabilidade para engenheiros", 2ª edição, editora LTC.
- Neto, B. B.; Scarminio, I. S.; Bruns, R. E. , 2007, "Como fazer experimentos: Pesquisa e Desenvolvimento na Ciência e na Indústria", unicamp
- Johnson, R. A.; Wichern, D. W. 1998, "Applied multivariate statistical analysis", 4.ed. Nova Jersey: Prentice Hall, Inc..
- Sanchez, S.M., 2006, "Work smarter, not harder: guidelines for designing simulation experiments", In: Proceedings of the 2006 Winter Simulation Conference, Monterey, CA, USA.