ESTUDO DE VIABILIDADE NA UTILIZAÇÃO DO PROCESSO DE VIBROACABAMENTO EM SUBSTITUIÇÃO AO POLIMENTO CONVENCIONAL EM PEÇAS DE ZAMAK

Resumo: *Esse estudo analisou o tempo necessário e os abrasivos adequados para o processo de vibroacabamento, com finalidade de garantir menor rugosidade de superfície. Foram utilizados dois modelos de peças em Zamak-5, injetadas por máquina de fundição sob pressão. Foi analisada a eficácia do processo e a viabilidade de substituição do processo de polimento, utilizado atualmente no produto suporte para espelho, para o processo de vibroacabamento. No presente estudo foram realizados três ensaios em uma máquina circular de vibroacabamento, calibrada para uma frequência de 60 Hz e uma amplitude de 3 mm. O suporte para espelho foi submetido ao processo com chips de porcelana RP 06/10 ZS e o suporte cabideiro com chips de poliéster RKM 40K e de cerâmica RSF 10/25 ZS. Foi utilizada relação chips/peças de 5:1, composto químico G1 320 com dosagem de 0,5 l/h e vazão constante de água de 30 l/h. O tempo de processamento foi de 4 horas, com coleta de amostra para análise a cada 30 minutos. Foi realizada a medição da rugosidade (Ra/Rz) e analisado o comportamento da superfície com o auxílio de microscópio ótico, estereoscópico e MEV. Os resultados encontrados indicam que a geometria dos chips gera grande influência sobre o acabamento final na geometria do produto suporte cabideiro. Assim, os chips com geometria cilíndrica apresentaram melhor resultados nos pontos de difícil acesso comparado aos chips com geometria de cone. Com relação ao suporte cabideiro, foi possível obter uma rugosidade Ra de 0,217 µm com 90 minutos de processamento, enquanto no processo de polimento convencional obteve Ra 0,2 µm, gerando uma pequena diferença de 0,017 µm. O resultado obtido pelo vibroacabamento foi satisfatório devido as peças serem produtos com finalidade estética.*

Palavras-chave: *Vibroacabamento, Zamak, Polimento, Rugosidade, Chips.*

1. INTRODUÇÃO

Vibroacabamento é o processamento simultâneo de peças ou componentes em um recipiente com um formato de bacia, juntamente com meios abrasivos ou não abrasivos em que as peças são submetidas a uma ação cíclica ou movimento no recipiente. Este movimento é fornecido em forma de energia, através do gerador de movimento que pode possuir um ou dois eixos de rotação com pesos excêntricos. O deslocamento do peso excêntrico ou a velocidade do mesmo controla a amplitude vibratória. Os abrasivos são constituídos por peças a granel, também conhecidas como: medias ou *chips*. A ação do movimento relativo resulta no contato entre as peças e os abrasivos, pressionando e esfregando as superfícies umas contra as outras. As interações geradas resultam em uma mudança na textura da superfície dos produtos submetidos a este método. O processo é utilizado para polimento, rebarbação, abrilhantamento e consequentemente melhoramento da qualidade das peças (Metal Finishing Supplier's Association (MFSA), 1989).

Conforme LaRoux (1999), no ano de 1950, o processo de vibroacabamento começou a ser amplamente utilizado nas indústrias, devido as suas vantagens ao processo em termos de facilidade de uso e manuseio de materiais. Com a utilização de máquinas de tamanhos modestos, este processo proporcionou eliminação de rebarbas e acabamento da superfície para certos componentes. O vibroacabamento é uma ferramenta importante no processo das indústrias, refletindo em acabamentos em massa, garantindo grande economia e acabamento da superfície uniforme. Segundo a Rösler® (2016) vibroacabamento ou *"mass-metal finishing"* é uma tecnologia usada para a otimização da superfície de peças que necessitam ser rebarbadas, polidas, lustradas, acetinadas, realiza decapagem química, limpeza e atenuação de rugosidade. O processo gera economia devido ao processamento em várias peças simultaneamente. O vibroacabamento pode ser aplicado para metais, ligas metálicas, plásticos, cerâmicos, borracha, madeira e vidro.

Dessa forma, o presente trabalho avaliou o desempenho do processo de vibroacabamento, utilizando peças de *Zamak-5* injetadas, assim como a qualidade do processo, verificando se o processo proposto mantém ou supera a qualidade das peças processadas com polimento convencional com utilização de uma máquina vibratória circular com descarga semiautomática com o uso de *chips* e produto químico.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia do estudo baseia-se no processo de vibroacabamento, avaliando a eficácia do processo e verificação da influência da geometria dos *chips* em relação a geometria do corpo de prova. Foi determinado como corpos de prova, o suporte para espelho e suporte cabideiro. Ambos são injetados por fundição sob pressão com material Zamak-5.

2.1. Sistemática dos Ensaios

Para realizar o estudo do presente trabalho, foram utilizados três tipos de *chips* e um composto químico. Para o produto suporte de espelho, foi utilizado *chip* de porcelana de formato cilíndrico com chanfro (RP 06/10 ZS). Já para o

suporte cabideiro, foram utilizados dois tipos de *chips*, o poliéster com geometria de cone (RKM 40K), e o cerâmico, que possui um formato cilíndrico com chanfro (RSF 10/25 ZS) ambos do fabricante Rösler®. Para os três ensaios se utilizou o composto químico G1 320. Foram medidas as rugosidades Ra e Rz com as seguintes finalidades: verificar a influência do tempo de processo sobre as peças estudadas, investigar a interferência da geometria dos *chips* sobre a geometria do produto suporte cabideiro e examinar a rugosidade do suporte de espelho, submetido ao vibroacabamento, comparando com o processo de polimento convencional. Como critério de tempo para o processamento dos corpos de prova, foi utilizado 240 minutos. Foram coletadas imagens das amostras para verificar o comportamento da superfície ao longo do tempo do processo. Para esse fim, foram utilizados o microscópio estereoscópico, ótico e o eletrônico por varredura (MEV). O fluxograma da sistemática do presente estudo é apresentado na Fig. (1).

Figura 1. Sistemática do estudo.

2.2. Estratégia dos Ensaios

Os ensaios foram realizados através de uma máquina circular de vibroacabamento modelo R 125 EC do fabricante Rösler®, com um sistema de descarga semiautomática. A estratégia adotada no processo foi a regulagem da máquina, para uma frequência de 60 Hz e uma amplitude de 3 mm. O método utilizado sobre a relação de *chips* para peças foi de 5:1, ou seja, serão utilizados 64 litros de *chips* para 16 litros de peças, com uma vazão de 30 l/h de água durante processo. (Rösler®, 2016). Para o processamento dos corpos de prova, utilizou-se o composto químico G1 320. A adição do mesmo ocorreu através de uma bomba dosadora, calibrada para dosar 0,5 l/h.

As peças e os *chips* foram introduzidos dentro da bacia vibratória e submetidos a um tempo de processamento de 4 horas. Durante este período, foi realizada a coleta das amostras no intervalo de 30 minutos, totalizando oito amostras retiradas para cada análise em estudo. Para cada coleta realizada, adotou-se o método de verificar o mesmo produto, ou seja, a escolha do corpo de prova foi da mesma cavidade injetada pela matriz.

Na Figura (2) pode ser visto a estratégia de ensaio para cada produto, com seus respectivos *chips* abrasivo.

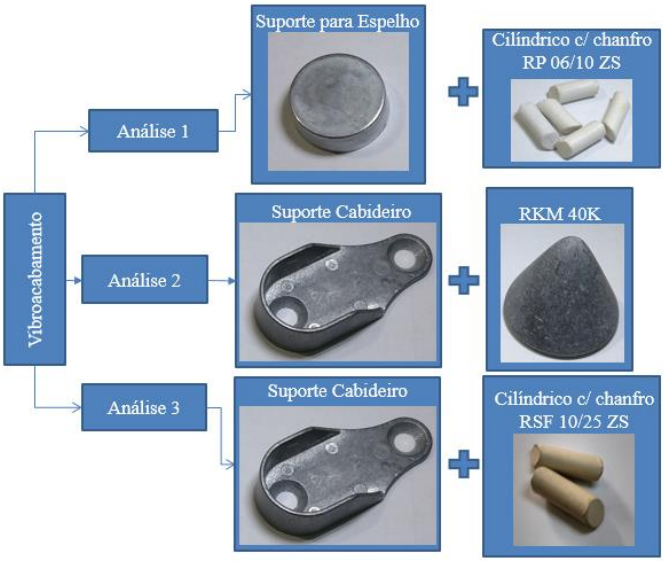


Figura 2. Fluxograma da estratégia de ensaio.

Na estratégia da análise 1, foi utilizado *chips* de porcelana RP 06/10 ZS (cilíndrico com chanfro) juntamente com o suporte para espelho, a fim de, obter o máximo acabamento. Para a análise 2, foi utilizado *chips* de poliéster RKM 40K (cone) e para a análise 3 foi adotado os *chips* cerâmicos RSF 10/25 ZS (cilíndrico com chanfro), em ambas as análises 2 e 3, foram submetidas para o produto suporte cabideiro, com o propósito de verificar a influência da geometria dos *chips* sobre a geometria das peças.

2.3. Medição dos Corpos de Prova

Para a medição do suporte de espelho verificou-se a rugosidade em três pontos para o mesmo sentido, uma no centro da peça e as outras aproximadamente 2 mm para os lados. Já para os pontos determinados para a verificação da rugosidade do suporte cabideiro apresenta quatro locais de difícil e médio e o outro de fácil acesso para os *chips*, justamente para avaliar a influência da geometria dos *chips* sobre a peça. Na Fig. (3) é possível examinar os pontos de avaliação para os corpos de prova. Antes do início das análises, foi coletada uma amostra do suporte para espelho e o suporte cabideiro, com o propósito de verificar a rugosidade inicial. Também foi coletada uma amostra do suporte para espelho processada pelo polimento convencional, com intenção de mensurar a rugosidade do mesmo, para posteriormente avaliar com a rugosidade do processo de vibroacabamento.

Cada análise constituiu de 9 amostras. Na Tab. (1) é possível verificar o tempo que foi coletado cada amostra para verificar a rugosidade Ra e Rz.

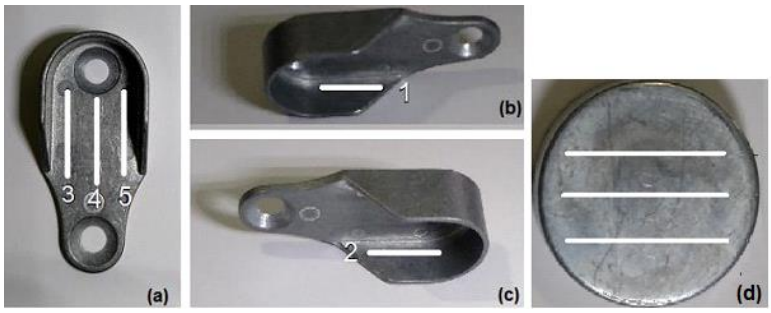


Figura 3. Pontos de verificação da rugosidade (a,b,c) Suporte Cabideiro (d) suporte espelho.

Tabela 1. Tempo de coleta para as análises.

Nº da Amostra	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Tempo de análise	0 mim	30 mim	60 mim	90 mim	120 mim	150 mim	180 mim	210 mim	240 mim

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para o suporte cabideiro foi mensurada a rugosidade de sua superfície e realizada as análises da superfície no estereoscópico. Já para o suporte espelho foram realizadas as análises da rugosidade da superfície e capturado imagens através do microscópio ótico e MEV.

Conforme a NBR ISO 4288 existem dois procedimentos para a determinação de perfil de rugosidade, sendo: não-periódico e periódico (ABNT, 2008). Com a determinação do procedimento é possível definir os parâmetros (*cut-off*) de perfil da rugosidade da superfície. Assim, foi empregado o método não-periódico. O parâmetro Ra é indicado quando há necessidade de um controle contínuo de rugosidade para peças de produção e para acabamentos com as finalidades estéticas. Para fins de avaliação também foi investigado a rugosidade Rz, com o intuído de analisar a amplitude máxima.

3.1. Rugosidade do Suporte Espelho

Na Tabela 2 são apresentados os resultados obtidos da rugosidade Ra e Rz do suporte para espelho, para o qual, foram utilizados os *chips* de porcelana cilíndrico com chanfro (RP 06/10 ZS) e para o polimento convencional. Para as 3 medições (M1, M2 e M3) foi gerada a média para cada amostra coletada durante o tempo de processamento. A amostra inicial, que não foi submetida ao processo de vibroacabamento, apresentou uma rugosidade Ra de 0,253 µm e Rz 5,300 µm. As menores rugosidades atingidas no processo de vibroacabamento foram Ra 0,217 µm com 90 minutos e Rz de 3,237 µm para 150 minutos de processamento. No entanto, a rugosidade para a amostra polida pelo processo de polimento obteve um Ra 0,200 µm e Rz 2,220 µm.

Analisando pontualmente a rugosidade Ra, a diferença referente a menor rugosidade obtida no processo em estudo, representa um valor superior de 0,017 µm sobre o processo de polimento. Entretanto este valor é relativamente baixo. Já para a rugosidade Rz, foi evidenciado um acréscimo de 1,017 µm. Desta forma é possível constatar que, a superfície apresenta picos e vales, que por sua vez, descrevem uma linha média da rugosidade. Com a atuação dos *chips* é exercida uma remoção dos picos, gerando um nivelamento da superfície, que irá apontar uma nova linha média para a rugosidade (Prakasam et al, 2015). Contudo, o processo de polimento apresenta um maior alcance na remoção dos picos presente na superfície. Através da Tab. (2) foi possível gerar gráficos apresentando a evolução da rugosidade Ra e Rz versus o tempo de atuação do processo em estudo, resultados esses apresentados na Fig. (4).

Tabela 2. Resultados da rugosidade Ra/Rz (µm) do suporte para espelho.

Tempo (min)	M1 (Ra/Rz)	M2 (Ra/Rz)	M3 (Ra/Rz)	Média (Ra/Rz)
0	0,24/5,16	0,22/3,44	0,30/7,30	0,253/5,300
30	0,34/3,62	0,33/8,19	0,23/2,78	0,300/4,863
60	0,21/3,21	0,21/5,08	0,24/3,76	0,220/4,017
90	0,18/2,57	0,25/7,80	0,22/2,68	0,217/4,350
120	0,27/6,01	0,19/3,16	0,20/1,91	0,220/3,693
150	0,24/3,83	0,24/3,26	0,36/2,62	0,280/3,237
180	0,36/5,99	0,25/5,10	0,26/3,00	0,290/4,697
210	0,26/3,60	0,24/3,54	0,41/7,72	0,303/4,953
240	0,29/3,13	0,34/5,21	0,27/2,84	0,300/3,727
Polida	0,20/2,44	0,23/2,59	0,17/1,63	0,200/2,220

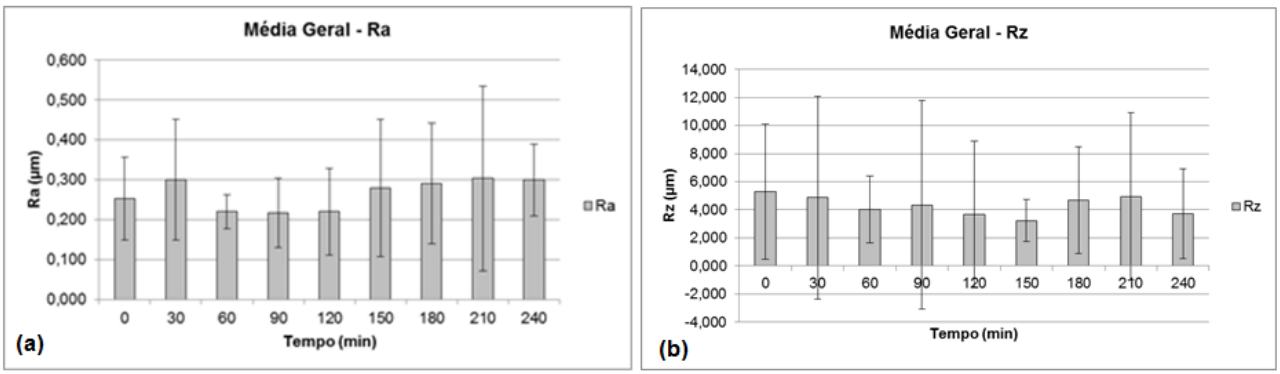
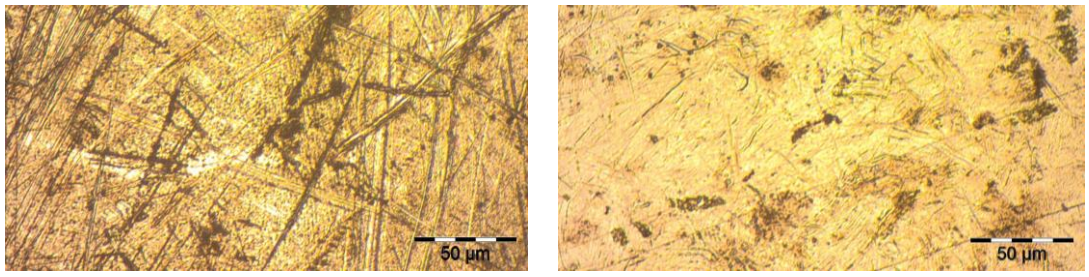


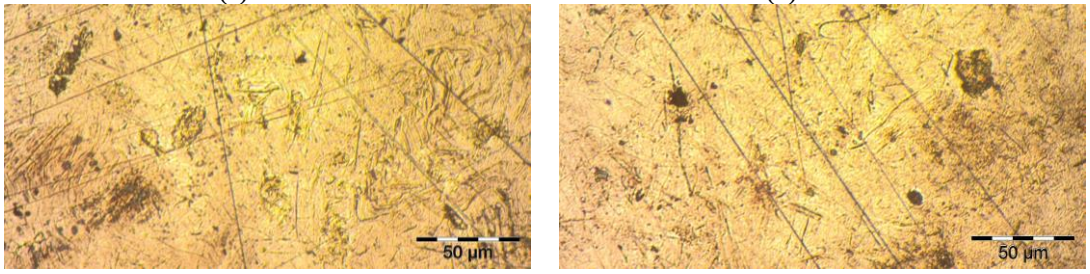
Figura 4. Análise do comportamento da rugosidade Ra(a)/Rz(b) do suporte para espelho.

A Figura (5) e Figura (6) representam as imagens capturadas com a ampliação de 40x por meio do microscópio ótico. Na Figura (5a), a superfície apresenta grandes ranhuras, sendo os riscos longos e escuros. Com o passar do tempo, os *chips* removem os picos presentes na superfície. Para a Fig. (5b), de 90 minutos em diante, as imagens apresentam um alto contraste comparado com Fig. (5a). Ou seja, de acordo com Callister e Rethwisch (2012), o contraste apresentado em uma imagem produzida pelo microscópio, resulta em desigualdade na refletividade nas regiões da microestrutura. Na estrutura pode apresentar sulcos, podendo ser identificados no microscópio, apontado por uma cor escura, devido à refletividade gerada em diferentes ângulos, enquanto, as partes claras equivalem ao rebaixamento dos picos.

Durante o processo, cada amostra coletada no seu respectivo tempo de análise, apresentou ilhas de micro porosidades por contração. Porosidades por contração possuem características de formatos irregulares (Viana, 2012). Observando a Fig. (5c), a partir de 150 minutos de processamento, as porosidades aparecem com maior intensidade e consequentemente resultam no aumento da rugosidade conforme visto anteriormente na Fig. (4). O surgimento deste tipo de porosidade pode estar associado por alguns fatores como: mal dimensionamento dos canais de alimentação da peça, controles inadequados no processo como o erro de regulagem da máquina no estágio do recalque (Viana, 2012; Verran; Mendes, 2006, Fonseca, 2001).



(a) 0 min (b) 90 min



(c) 150 min (d) 240 min

Figura 5. Microestrutura do suporte espelho no processo de vibroacabamento via microscópio ótico.

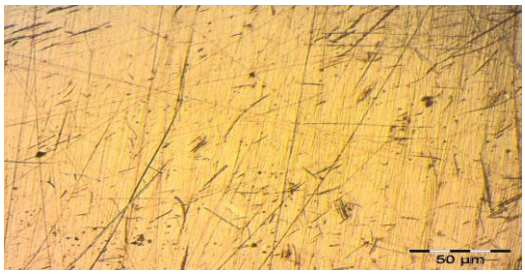
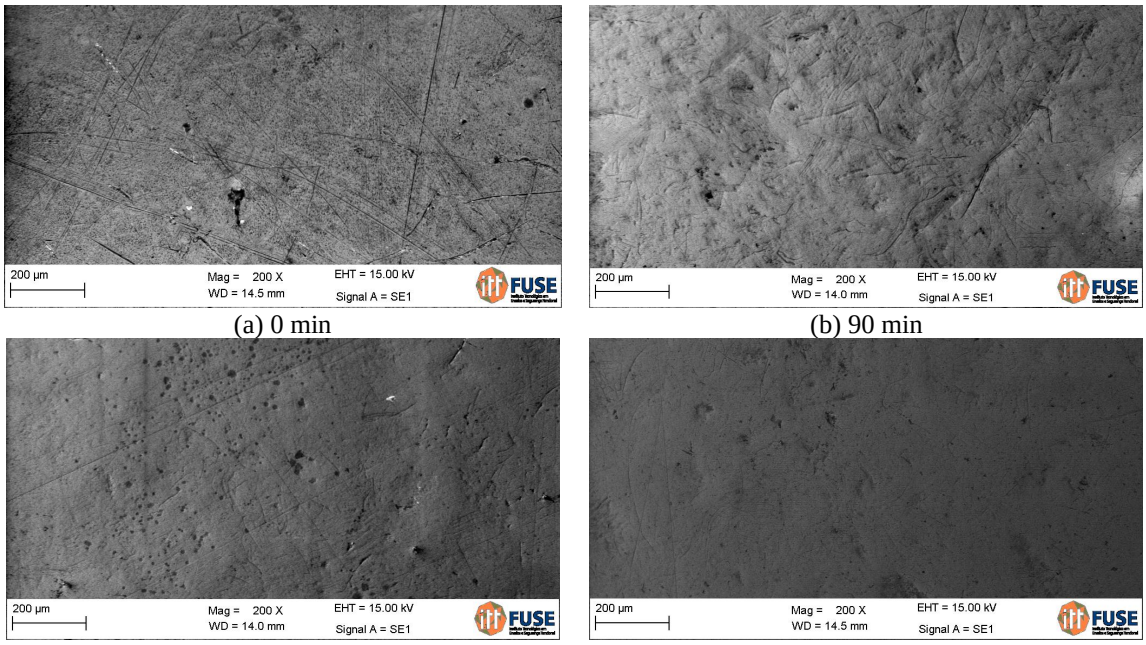


Figura 6. Microestrutura do suporte espelho no processo de polimento convencional via microscópio ótico.

A Figura (7) mostra a microestrutura obtida pelo processo de vibroacabamento para cada coleta de seu respetivo tempo. A Figura (7a) apresenta grande quantidade de riscos em sua superfície, para o qual correspondente a peça após a injeção. Já para a Fig. (7b), equivalente a 90 minutos de trabalho no vibroacabamento, é possível perceber a diminuição dos riscos e nivelamento dos picos, quando comparado com a amostra inicial. Já a Fig. (7c) e Fig. (7d), representam, respectivamente, 150 e 240 minutos de processamento.

A Figura (8) exibe a superfície polida pelo sistema convencional. Nas imagens é possível analisar os riscos deixados pelo lixamento e ilhas de microporosidades presente na superfície.



(a) 0 min (b) 90 min

(c) 150 min (d) 240 min

Figura 7. Microestrutura do suporte espelho no processo de vibroacabamento via MEV para uma ampliação de 200x

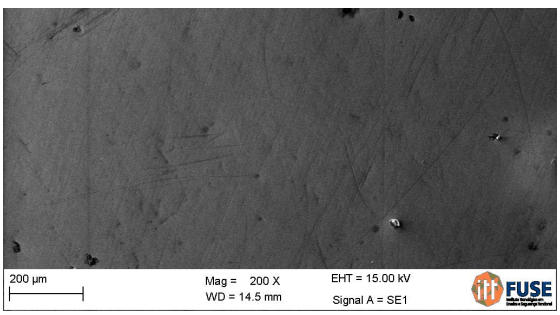


Figura 8. Microestrutura do suporte espelho no processo de polimento convencional via MEV para uma ampliação de 200x

3.2. Tempo de Processamento do Suporte Espelho

O tempo de processamento do produto é um fator importante e determinante. A evolução do processamento em relação ao tempo pode ser vista na Fig. (9a) e (9b) para o qual é apresentado a plotagem do gráfico de dispersão expondo as três medições realizadas perante o tempo. No mesmo, foi gerada a equação da curva. Conforme Stewart (2014), calculando a derivada Eq. (1) e igualando ao zero Eq. (3) é factível de localizar o ponto mínimo da curva. Deste modo, o tempo atingido para a menor rugosidade Ra foi em torno de 87 minutos e para Rz de aproximadamente 147 minutos.

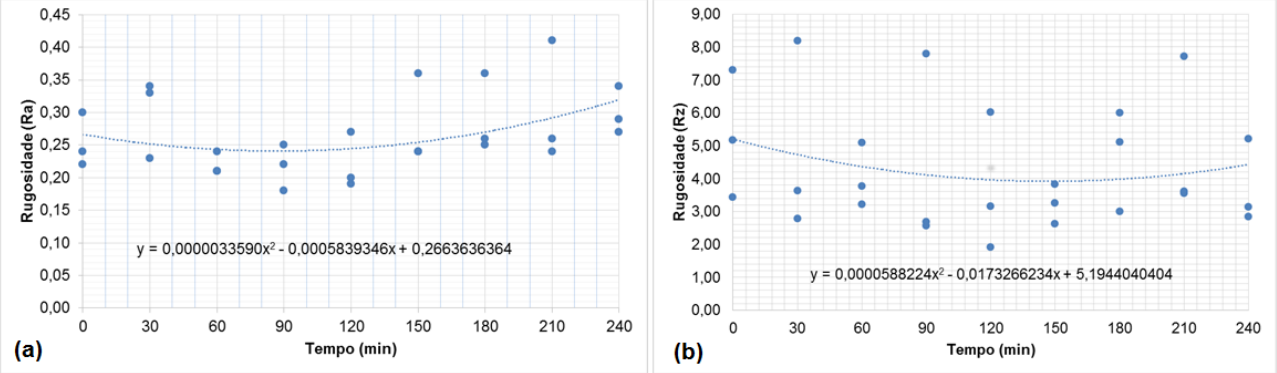


Figura 9. Análise da rugosidade Ra(a)/Rz (b) sobre o tempo de processamento do suporte espelho.

Os cálculos para a equação da curva do menor tempo de processamento para rugosidade Ra e Rz, são apresentados a seguir.

$$f(x) = 0{,}000003359x^2 - 0{,}0005839346x + 0{,}2663636364 \quad (1)$$

$$f'(x) = 2.0{,}000003359x - 0{,}0005839346 + 0 \quad (2)$$

$$0 = 0{,}000006715x - 0{,}0005839346 \quad (3)$$

$$x = \frac{0{,}000006715}{0{,}0005839346} = 86{,}92 \quad (4)$$

$$f(x) = 0{,}0000588224x^2 - 0{,}0173266234x + 5{,}1944040404 \quad (5)$$

$$f'(x) = 2.0{,}0000588224x - 0{,}0173266234 + 0 \quad (6)$$

$$0 = 0{,}000117645x - 0{,}0173266234 \quad (7)$$

$$x = \frac{0{,}000117645}{0{,}0173266234} = 147{,}27 \quad (8)$$

3.3. Rugosidade do suporte cabideiro

A Tabela (3) expõe as rugosidades alcançadas Ra e Rz, para o produto suporte cabideiro com a utilização do *chip* cerâmico RSF cilíndrico com chanfro (10/25 ZS). Já a Tab. (4), aponta a rugosidade Ra e Rz com a utilização do *chip* poliéster RKM 40K (cone). A rugosidade da superfície do produto foi gerada através da cavidade do molde de injeção, que por sua vez, foi formada pelo processo de eletroerosão.

Tabela 3. Resultados da rugosidade Ra/Rz (µm) do suporte para espelho (*chip* cerâmico).

Tempo (min)	M1 (Ra/Rz)	M2 (Ra/Rz)	M3 (Ra/Rz)	M4 (Ra/Rz)	M5 (Ra/Rz)
0	3,27/26,55	2,23/14,79	3,61/24,12	3,26/20,69	2,8/17,55
30	2,44/20,23	2,02/15,00	3,19/22,34	3,25/17,49	2,66/15,95
60	2,01/13,82	1,5/8,30	2,29/16,14	2,33/13,34	2,38/19,72
90	1,78/9,94	1,32/9,89	2,03/14,94	1,62/9,86	2,38/16,24
120	0,92/8,72	0,69/6,00	1,35/8,72	0,67/4,96	1,15/7,64
150	1,26/9,32	1,37/8,60	1,36/9,59	1,58/9,42	1,6/29,02
180	1,34/9,39	1,68/8,89	1,77/9,91	1,56/9,02	2,12/13,79
210	1,02/7,03	0,77/5,42	1,68/9,21	1,11/7,32	1,32/7,79
240	1,45/9,38	1,14/6,85	1,13/7,75	0,48/3,45	1,61/8,88

Tabela 4. Resultados da rugosidade Ra/Rz (µm) do Suporte para espelho (*chip* poliéster).

Tempo (min)	M1 (Ra/Rz)	M2 (Ra/Rz)	M3 (Ra/Rz)	M4 (Ra/Rz)	M5 (Ra/Rz)
0	3,27/26,55	2,23/14,79	3,61/24,12	3,26/20,69	2,80/17,55
30	2,56/20,82	2,31/18,44	3,85/28,84	3,17/20,64	3,52/23,73
60	3,00/18,99	2,02/16,28	2,93/19,99	2,87/15,96	3,02/21,43
90	2,94/23,39	2,17/17,05	3,09/18,68	2,52/21,01	2,68/17,94
120	3,18/24,10	2,20/17,67	2,45/16,59	1,62/9,03	2,48/17,94
150	3,36/19,88	2,01/15,75	2,4914,48	1,55/9,61	2,24/15,15
180	3,63/23,67	2,48/19,02	3,39/24,31	1,61/10,00	3,24/23,82
210	2,94/21,59	2,06/14,62	2,79/25,33	1,24/7,84	2,32/16,50
240	2,81/19,44	2,15/14,14	2,67/15,76	1,53/9,86	2,11/16,53

3.4. Geometria e Tamanho dos *Chips* Versus a Geometria da Peça

Para a Figura (10) até Figura (19) apresentam as rugosidades Ra/Rz. Para ambas as rugosidades são exibidas um comparativo das coletas de resultados, conforme o tempo de processamento, com a utilização de *chips* cone RKM 40K e cilíndrico com chanfro (RSF 10/25 ZS). Os pontos de avaliação M1, M2, M3 e M5 (Fig. (10), Fig. (11), Fig. (12), Fig. (14), Fig. (15), Fig. (16), Fig. (17) e Fig. (19)) são aqueles considerados de difícil e médio acesso. Já para o M4 (Fig. (13) e Fig. (18)) são aqueles de fácil acesso, sendo a avaliação no centro da peça.

Com a utilização do *chip* cone sobre a peça em estudo foi observado que estes possuem uma menor eficiência, se comparado com o *chip* cilíndrico, nos pontos de difícil e médio acesso. É perceptível a diferença da rugosidade ao analisar atentamente os resultados obtidos para os pontos M1, M2, M3 e M5. A atuação do *chip* cone descreve oscilação da rugosidade no decorrer do processo. Em alguns pontos a rugosidade cai, mas volta a subir se mantendo aproximadamente igual a rugosidade inicial. Tal efeito ocorre devido ao tamanho e geometria do *chip* cone. Esta geometria é aconselhada para peças planas e curvas, no entanto quando submetidas em peças com pontos de difícil acesso, seu alcance é parcial (Laroux, 1999).

Já para a utilização do *chip* cilíndrico com chanfro, este apresentou um excelente desempenho, por consequência de o mesmo aprestar cantos acentuados, permitindo o alcance em pontos de difícil acesso (Rösler®, 2016; Sangid; Stori; Ferriera, 2010). Em seu comportamento a rugosidade se inicia alta. Conforme o tempo de processamento, a rugosidade passa para um regime de transição. Posteriormente, a rugosidade se mantém com uma amplitude baixa para cada coleta entre os tempos (Hashimoto, 1996; Uhlmann; Dethlefs; Eulitz, 2014).

No ponto de avaliação M4, por se tratar de local de fácil acesso, o *chip* tipo cone consegue atuar de uma forma adequada, similar o *chip* cilíndrico com chanfro. Pode ser constatado no Fig. (13) e no Fig. (18), ao chegar com 150 minutos de trabalho, que a rugosidade de ambas as análises se aproximam. Nota-se que o cone tem um melhor alcance no centro da peça comparado com os outros pontos verificados. Entretanto, o tempo de resposta para atuação é baixo com declínio suave da curva. Já para a curva do *chip* cilíndrico com chanfro a resposta é rápida. Ou seja, para o uso do mesmo há diminuição da rugosidade em menos tempo, que é bem expressivo nas análises dos gráficos em questão. Esses efeitos estão de acordo com LaRox (1999), Sangid, Stori e Ferriera (2010) e Rösler®, (2016).

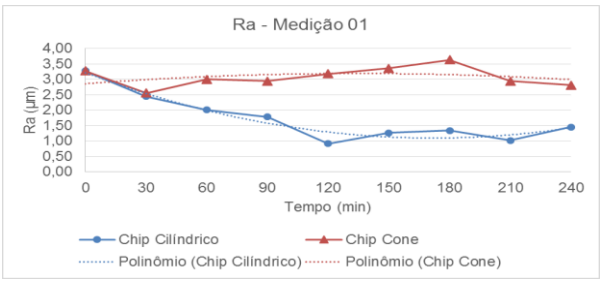


Figura 10. Rugosidade (Ra) para análise da Medição 1.

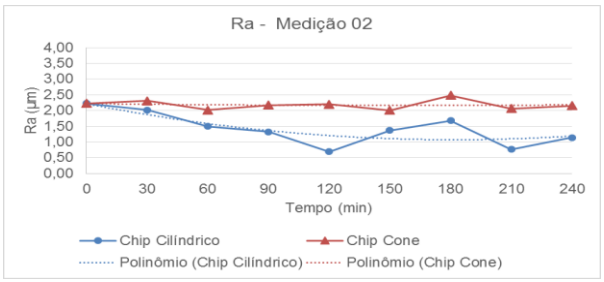


Figura 11. Rugosidade (Ra) para análise da Medição 2.

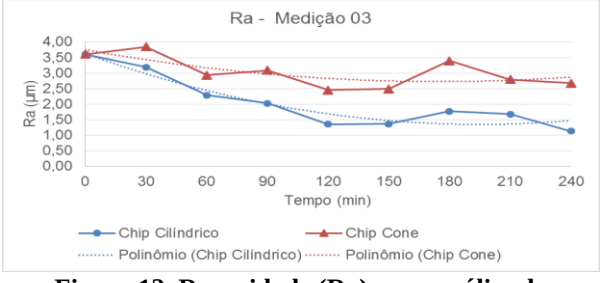


Figura 12. Rugosidade (Ra) para análise da

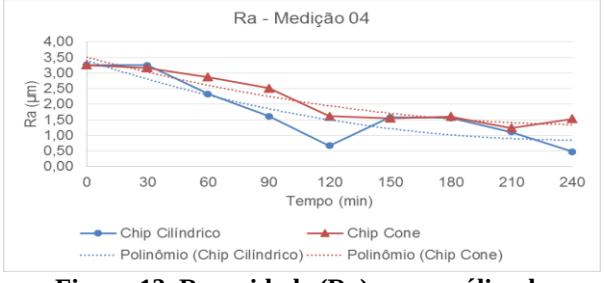


Figura 13. Rugosidade (Ra) para análise da

Medição 3. **Medição 4.**

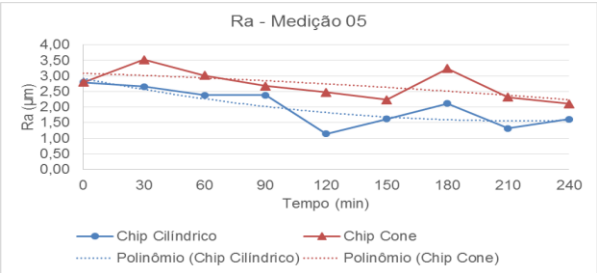


Figura 14. Rugosidade (Ra) para análise da Medição 5.

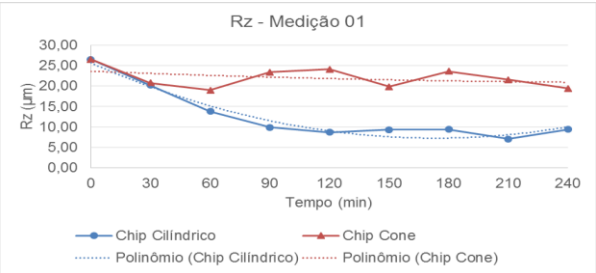


Figura 15. Rugosidade (Rz) para análise da Medição 1.

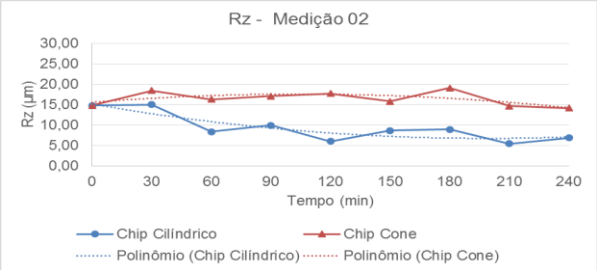


Figura 16. Rugosidade (Rz) para análise da Medição 2.

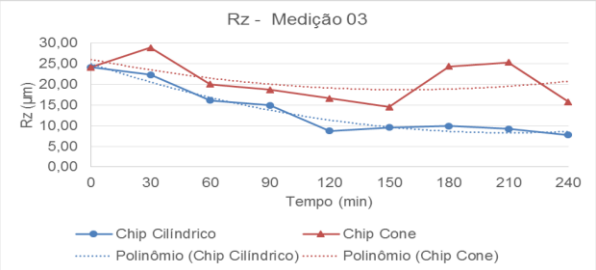


Figura 17. Rugosidade (Rz) para análise da Medição 3.

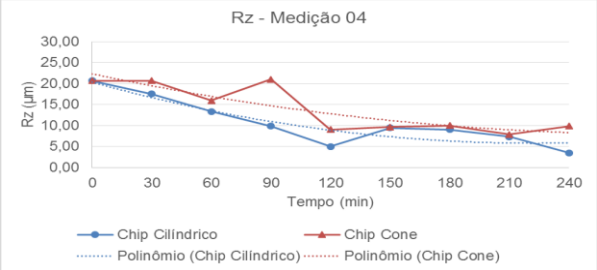


Figura 18. Rugosidade (Rz) para análise da Medição 4.

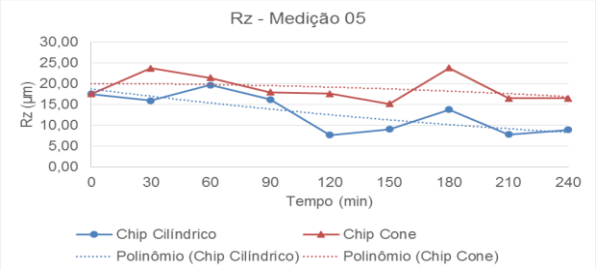
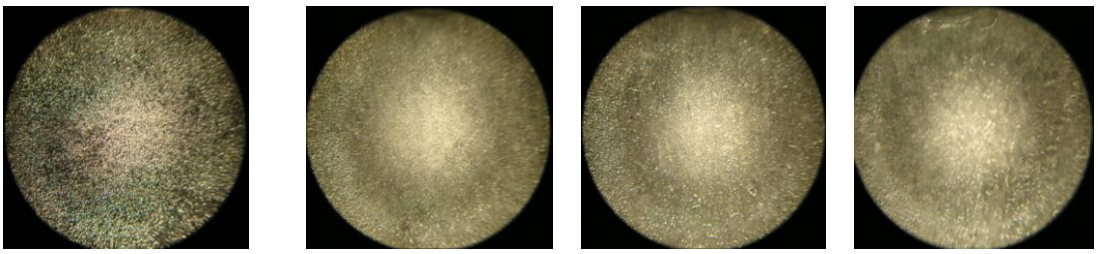


Figura 19. Rugosidade (Rz) para análise da Medição 5.

3.5. Análise Microscópica do Suporte Cabideiro

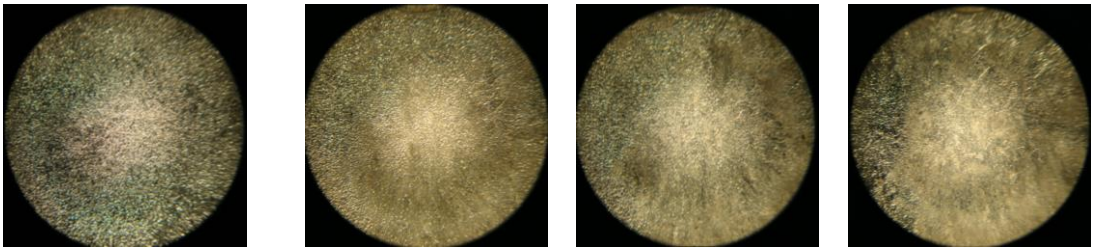
A Figura (9) se refere à coleta das imagens no estereoscópico do suporte cabideiro com a utilização de *chip* cerâmico cilíndrico chanfrado (RSF 10/25 ZS). As imagens adquiridas dispõem de uma ampliação de 10X. Após análise da evolução do tempo para cada imagem foi possível notar o nivelamento gradual dos picos presente na superfície. Já com 90 minutos de processamento (Fig. (9b)) é visualmente demonstrada uma grande evolução perante a imagem de zero minuto (Fig. (9a)). Nota-se que, a partir dos 150 minutos (Fig. (9c)) até o final do processo (que comtempla, em sua totalidade sendo 240 minutos (Fig. (9d)) as imagens permanecem com texturas semelhantes.



(a) 0 min (b) 90 min (c) 150 min (d) 240 min

Figura 9. Microestrutura do suporte cabideiro no processo de vibroacabamento com os *chips* cerâmicos.

Na Fig. (10), é possível examinar as imagens do suporte cabideiro aplicadas com os *chips* cone RKM 40K. Ao examinar a evolução do processo, observou-se um baixo efeito de remoção da rugosidade. Ao explorar atentamente a Fig. (10b), percebe-se, ainda, a existência de vales e picos na sua superfície. Após 150 minutos (Fig. (10c)) acontece uma leve diminuição, mas ainda há presença de pontos de vales que se estendem até 240 minutos (Fig. (10d)).



(a) 0 min (b) 90 min (c) 150 min (d) 240 min

Figura 10. Microestrutura do suporte cabideiro no processo de vibroacabamento com os *chips* poliéster.

3.6. Implementação do Vibroacabamento

Na Tabela 5, é apresentado um comparativo de produtividade do produto suporte para espelho no processo de polimento convencional e no processo do presente estudo. Os processos consistem de, no primeiro, um operador que realiza o polimento manual de 420 peças por hora, enquanto que no segundo o de vibroacabamento no qual foi adicionado 16 kg de peças. Como cada peça possui um peso de 0.0105 kg, foram totalizadas aproximadamente 1.523 unidades. O processo de vibroacabamento obteve um melhor acabamento em um período de 86 minutos. Supondo que o tempo necessário fosse de 90 minutos o equivalente a 1 hora e meia e partindo do pressuposto que o operador mantenha o rendimento de 420 peças por hora trabalhando durante o mesmo período de tempo do vibroacabamento, obteria uma produtividade de 630 peças. Ou seja, na mesma proporção que é processada uma carga de 1.523 peças no vibroacabamento, o processo de polimento convencional só consegue entregar 630 peças acabadas. Aplicando a substituição do processo é factível um ganho de 141%, gerando inovação de processo, sendo uma melhoria significativa no processo de produção, como o aumento de produtividade. Ou seja, de acordo com Freitas Filho (2013) e Possolli (2012), inovação de processo se refere a mudança no método de produção, visando focar na eficiência de produção, diminuição de custo ou tempo das atividades de manufatura.

Tabela 5. Resultados da rugosidade Ra/Rz (µm) do suporte para espelho.

Processo	Tempo (h)	Qt. Peças	Tempo (h)	Qt. Peças	Ganho
Polimento	1	420	1,5	630	141%
Vibroacabamento	1,5	1523	1,5	1523	

4. CONCLUSÕES

O presente artigo focou na viabilidade da utilização do processo de vibroacabamento em substituição ao polimento convencional aplicado para o produto suporte para espelho e a verificação da influência da geometria dos *chips* sobre a geometria do produto suporte cabideiro.

Através dos ensaios realizados no suporte para espelho, pôde-se constatar que a utilização dos *chips* de porcelana, que apresentam um formato cilíndrico com chanfro (RP 06/10 ZS), gerou uma rugosidade Ra similar ao produto submetido ao polimento, sendo uma diferença acima de 0,017 µm. Já para a rugosidade Rz foi apresentada uma diferença superior a 1,017 µm perante ao polimento convencional. É possível apontar que, devido ao produto possuir finalidades estéticas, é indicado considerar a avaliação da rugosidade Ra. Desta forma, é viável a substituição do processo atualmente utilizado pela empresa, além de apontar um ganho de produtividade 141% de produtividade. Com as análises de rugosidade realizadas, foi possível verificar o comportamento da rugosidade, que conforme o tempo de processamento, que inicialmente diminui até o tempo mínimo de trabalho, sendo 87 minutos para a rugosidade Ra, posteriormente aumenta até o término do tempo da análise. Através das análises do microscópio ótico e MEV foram detectadas ilhas de micro porosidades por contração, provenientes do processo de injeção, responsável pelo aumento da rugosidade, o que demonstrando que o processo de injeção exerce grande influência para o acabamento final da superfície.

A partir das análises realizadas com o suporte cabideiro se verificou que os *chips* com formato de cone não possuem alcance nos pontos de difícil e médio acesso, enquanto os *chips* cilíndricos chanfrado demonstraram um grande alcance. Ambos os resultados foram constatados pelas imagens obtidas pelo microscópio estereoscópico e pelos resultados obtidos no rugosímetro.

Conclui-se que o processo apresentado no presente artigo gera uma inovação de processo, acarretando benefícios de aumento de produtividade e por consequência redução de custos na fabricação das peças em estudo.

5. REFERÊNCIAS

Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). NBR ISO 4288, 2008. “Rugosidade: método do perfil – regras e procedimentos para avaliação de rugosidade”. Rio de Janeiro, Brasil.

Callister, W.D., Rethwisch, D.G., 2012, “Ciência e engenharia de materiais: uma introdução”. 8ª Ed. LTC, Rio de Janeiro, Brasil, 817p.

Fonseca, M. T., 2001, “Teoria fundamental do processo de fundição sob pressão”. Ed. SENAI-DR, Itaúna, Brasil.

Freitas Filho, F. L., 2013, “Gestão da inovação: teoria e prática para implantação”. Ed. Atlas S. A., São Paulo, Brasil.

Hashimoto, F., 1996, “Modelling and optimization of vibratory finishing process”. CIRP Annals-Manufacturing Technology, Vol. 45, n. 1, pp. 303-306.

Hashimoto, F., Jonhson, S.P., 2015, “Modeling of vibratory finishing machines”. CIRP Annals-Manufacturing Technology, Vol. 64, n. 1, pp. 345-348.

Laroux, K.G.., 1999, “Deburring and edge finishing handbook”. Ed. Society of Manufacturing Engineers, New York, United States of America.

Metal Finishing Supplier’s Association, INC (MFSA), 1989, “Quality metal finishing guide: mass finishing”. Vol. 1-A, n.7, Ed. MFSA, Canadá, 72p.

Possolli, G. E., 2012, “Gestão da inovação e do conhecimento”. Ed. InterSaberes, Curitiba, Brasil.

Prakasam, P., K., Castagne, S., Subbiah, S., 2015, “Mechanism of surface evolution in vibratory media finishing. Procedia Manufacturing”, 43rd North American Manufacturing Research Conference, NAMRC 43, Vol. 1, n. 43, North Carolina, United States, pp. 628-636.

Rösler, “Vibroacabamento”. Jan 2017. <http://www.rosler.com.br/produtos/vibroacabamento/>

Sangid, M.D., Stori, J.A., Ferriera, P.M., 2010, “Process characterization of vibrostrengthening and application to fatigue enhancement of aluminum aerospace components - part II: Process visualization and modeling”. Int J Adv Manuf Technol. Champaign, Vol. 53, n. 5, pp. 561-575.

Stewart, J., 2014, “Cálculo”. 7ª, Vol. 2, Ed. Cengage Learning, São Paulo, Brasil, 664p.

Uhlmann, E., Dethlefs, A., Eulitz, A., 2014, “Investigation of material removal and surface topography formation in vibratory finishing”, 6th CIRP International Conference on High Performance Cutting, HPC2014, Vol. 14, pp. 25-30.

Verran, G.O., Mendes, R.P.K., 2006, “Simulação numérica e DOE aplicados na melhoria do processo de fundição sob pressão de ligas de alumínio”. Estudos tecnológicos, São Leopoldo, Vol. 3, n. 1, pp. 13-25.

Viana, D.J., 2012, “Aplicação do método de taguchi para redução de porosidade de peças fundidas sob pressão”. Taubaté: Universidade Taubaté. 68p. (Dissertação, Mestrado em Engenharia Mecânica).