

AVALIAÇÃO DE UM MISTURADOR RÁPIDO PARA PÓS DE CORPO FIXO EM ESCALA REDUZIDA

Célio Losnak

Luiz Eduardo de Angelo Sanchez

Geraldo Luiz Palma

Universidade Estadual Paulista – Unesp, Departamento de Engenharia Mecânica

Av. Eng^o Luiz Edmundo Carrijo Coube S/N^o Cx 473 CEP 17033-360-Bauru, SP- Brasil

Resumo: *O principal objetivo deste trabalho é construir um misturador rápido de corpo fixo em escala reduzida na proporção de 1:2,57 e conseqüentemente avaliá-lo. A extrapolação, material e métodos foram os mesmos empregados por Losnak (1995). Para avaliação do misturador foram utilizadas 2 rotações, e para cada rotação retirou-se amostras em intervalos de 15, 30, 45, 60, 75, 90, 105 e 120 segundos. As rotações obtidas foram através de um inversor de frequência. As taxas de enchimentos foram de 40, 50 e 60% do volume útil do misturador. Realizou-se 48 ensaios, para cada um deles 3 repetições. Constatou-se que o tempo ideal para homogeneizar dois tipos de pós com granulometrias, densidades iguais e umidade de 0,3% de umidade foi de 60 segundos. Com a rotação de 568 rpm, a homogeneização satisfatória foi com taxa de enchimento de 40 e 60%, já em 706 rpm foram com as taxas de enchimento de 40% e 50%.*

Palavras-chave: *Misturador rápido; extrapolação de misturador e mistura de pós;*

1. INTRODUÇÃO

Com os avanços tecnológicos a qualidade e eficiência dos meios de produção vêm desencadeando mercados cada vez mais exigentes e competitivos. Com isso a otimização dos processos passa a ser um fator preponderante e até decisivo na produção industrial em geral. Em particular, a mistura de partículas sólidas vêm se destacando nas pesquisas devido a carência de equipamentos eficientes e que garantam a qualidade e a rapidez no processo nas grandes indústrias que atuam no setores farmacêutico, químico, alimentício, mecânico e agrícola.

Normalmente neste tipo de indústrias os misturadores são lentos e de grande porte. No processo de fabricação, quando o produto é composto de vários elementos, sua qualidade depende da homogeneidade da mistura. No caso da mistura sólido-sólido a qualidade é dada em função das propriedades físico-químicas das partículas, das formas geométricas e dinâmicas do misturador, além da rotação e do tempo de operação.

Os misturadores de partículas sólidas podem ser classificados em dois tipos básicos: de corpo móvel, ou seja, aqueles em que o corpo gira juntamente com seu eixo-árvore e os pós, podendo-se destacar nesse grupo os misturadores em "V", em "Y", duplo cone, cilindro angular e cúbico; de corpo fixo, aqueles em que a estrutura externa é estática e no seu

interior gira o eixo-árvore onde estão fixadas as pás ou outros elementos que irão promover a agitação dos pós. Nesse grupo destacam-se os misturadores rápidos que podem ser equipados com pás de diferentes geometrias e os de tiras, os quais possuem eixo-árvore que é constituído de helicóides concêntricos de diâmetros diferentes proporcionando um movimento contra o outro, assim a mistura se processa através do movimento de uma extremidade para outra ou da extremidade para o centro.

Quanto a homogeneidade da mistura de partículas sólidas sabe-se que ela é influenciada pelos fatores: a) toda vez que se realiza uma mistura com diferentes granulometrias é necessário mudar o tipo de pás, número, rotação, tempo e a metodologia operacional; b) aumento da rotação do eixo árvore nos misturadores de corpo fixo ou de corpo móvel provoca um incremento na dispersão das partículas, a tendência à pulverização e em alguns casos produz o efeito centrífugo; c) o espaço livre é a diferença entre o volume total e o volume ocupado pelos elementos da mistura ou o grau de enchimento que é a relação percentual entre os volumes ocupado e total; d) o tempo de mistura que está relacionado com todos os itens anteriores mas principalmente com o espaço livre. Toda vez que se diminui o espaço livre aumenta-se o tempo para a obtenção de um grau desejado de mistura.

Um artifício muito utilizado em pesquisas é chamada semelhança dinâmica que permite a análise de dados coletados em um modelo e posteriormente extrapolá-los para um protótipo com a escala desejada. Como vantagens esse artifício permite que o custo da pesquisa seja bem menor e o grau de precisão obtido seja bem maior.

Ao realizar-se os ensaios de mistura de pós com o equipamento em escala reduzida torna-se necessário fazer a aplicação do teorema da análise dimensional de Buckingham. Este teorema gera um adimensional em relação ao raio e o comprimento fornecendo assim as condições para a semelhança geométrica que é atingida quando a relação entre as dimensões lineares do modelo e do protótipo se mantém.

Por sua vez a semelhança cinemática ocorre quando as relações de velocidade entre o protótipo e o modelo em pontos correspondentes são iguais. Já a semelhança dinâmica acontece com dois sistemas de dimensões diferentes quando além das semelhanças geométrica e cinemática as relações entre forças em pontos correspondentes do protótipo e modelo são iguais.

2- REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Lynch & Ho (1972), cita que os misturadores com menor capacidade de carga obtém melhor homogeneização em menos tempo de mistura. A rotação decresce com o incremento no diâmetro do misturador. Afirma ainda que o tempo de mistura de uma unidade piloto e de um misturador industrial, para sistemas geometricamente similares, segue aproximadamente a relação: dada pelo tempo de mistura multiplicado pela taxa de enchimento que é constante.

Wang & Fan (1972), afirmam que o estado final da mistura pode ser analisada como um equilíbrio dinâmico. Ainda é um processo reversível, entre a segregação e a homogeneidade, dependendo da qualidade da mistura. Define-se que a segregação é um processo de desmistura que produz separação das partículas.

Danckwerts (1953), afirma que a importância da operação de mistura na eficiência de um processo químico é diferente de um processo mecânico. Destacou a necessidade de estabelecer dois parâmetros distintos para obter uma mistura perfeita: segregação e grau de intensidade. Segregação descreve o estado de subdivisões em grupos. O grau de intensidade da segregação é para expressar as diferenças de composições dentro da mistura. Esses dois parâmetros indicam que a mistura é tanto quanto menor forem seus valores.

Okada (1997) ensaiou um misturador de corpo retangular, com base semicilíndrica e rotor na horizontal, com dupla lâmina em hélice. Pesquisou seis rotores de dupla hélice com variações dimensionais com as seguintes características: largura da hélice externa, diâmetro

e largura da hélice interna. No ensaio foi montado um rotor com lâminas de várias medidas em posições helicoidais com diâmetro externo de 110mm, partindo da face esquerda com ângulo direito, e da face direita ângulo esquerdo. No interior dessa hélice foi montada outra com diâmetros variáveis para cada rotor de 65 a 80 mm de diâmetro, com ângulos inverso da outra hélice. No funcionamento, a hélice de diâmetro maior transportava os pós das laterais para o centro. A hélice interna, por sua vez transportavam os pós do centro para os laterais, promovendo a homogeneização. Foram utilizados nos ensaios 6 rotores e 3 rotações, variando-se somente o diâmetro da hélice interna. Os pós empregados no ensaio foram o sal e areia, as análises laboratoriais foram realizadas pelos processos de pesagem, filtragem e secagem. Como resultados concluiu que a influência na variação da rotação de 120 para 350 rpm apresentou redução no coeficiente de mobilidade. Dos 6 rotores ensaiados o que apresentou melhor resultado foi aquele cuja largura da tira helicoidal era a de medida intermediária e com a rotação de 120 rpm.

Faires (1986) menciona que uma máquina com adaptações, ou quando inseridos outros equipamentos, aparece sempre como resultado de uma necessidade real ou imaginária. A concepção segue o estudo e a decisão sobre a montagem de seus componentes que podem ser estáticos ou dinâmicos. O maior cuidado a ser tomado é quando a teoria e a prática apresentam parâmetros divergentes, concluindo-se então que uma das duas deve estar mal formulada.

Hall et al (1970) cita que os desenhos e as especificações finais de um projeto são registrados a partir de várias decisões, sendo compostos de algumas etapas. As mais importantes são:

- reconhecimento e constatação das necessidades, e daí define-se o problema;
- estudo de diferentes situações do problema;
- seleção de um deles, que será estudado mais detalhadamente.

Schofield (1976) mostra que existem vários métodos de avaliação da qualidade da mistura, que devem obedecer os seguintes itens:

- ter significância física com o processo;
- ser suficientemente sensível para alterações no estado de mistura e,
- seja aplicado para diferentes sistemas.

Os melhores resultados se obtêm quando trabalha-se com menor volume. Todo índice de mistura depende do tamanho da amostra, para maior ou menor grau de mistura. Existem índices que independem do tamanho da amostra, isso pode ocorrer perfeitamente contanto que a concentração gradiente não seja muito maior em relação ao tamanho da amostra. O número de amostras pode ser uma estimativa das diferentes composições que apresentam entre as mesmas.

Segundo Carley et al (1964) usando uma técnica para a avaliação do grau de mistura afirma que é aquela verificação entre os elementos que fazem parte da homogeneização e que apresentam a menor variação entre os elementos..

Losnak (1995) projetou e construiu um misturador rápido de corpo fixo para mistura de pós, com diâmetro de 0.155 m, comprimento de 0.282 m, com capacidade útil de $5116 \times 10^{-6} \text{ m}^3$. O cilindro do equipamento foi posicionado na horizontal com 3 orifícios na parte superior para enchimento e uma abertura na parte oposta, isto é, na parte inferior para descarga, limpeza e troca das pás quando necessário. As pás foram fixadas no rotor em número de 6 e posicionadas a 120 graus entre si para a movimentação dos pós. Neste experimento foram adotados pás triangulares com diferentes áreas. Este misturador foi acionado por motor elétrico cuja rotação era alterada através de um conversor de frequência. Em uma das pontas do misturador foi adaptado o sensor de pulsos para registrar o número de rotação. O torque foi avaliado através de um torquímetro na outra ponta do eixo-árvore. Os resultados do torque e da rotação eram transferido à um microcomputador, que através de um

“software”, calculou-se a potência e a velocidade de mistura. Como resultados, constatou-se que as pás de maior área de ataque exige maior potência consumida. Afirma ainda que na extrapolação a potência consumida aumenta exponencialmente quando aumenta o volume do misturador. A taxa de enchimento de 40 e 50% foram as que apresentaram melhores resultados.

3. MATERIAL E MÉTODO

Foi construído o misturador, tendo o corpo fixo com diâmetro de 60,5 mm, comprimento 110 mm e obedecendo sempre a escala reduzida em relação ao protótipo de 2:57. Calculando-se pela forma geométrica, o volume bruto é de 0,316 litros, e o volume líquido de 0,300 litros. Utilizou-se no experimento um motor elétrico, conversor de frequência, temporizador eletrônico, estufa, peneiras para controle granulométrico, agitador de peneiras sem impacto projetado por Losnak (1998), balança com capacidade de 200g com precisão 0,001g, filtros, pissetas, sal com densidade aparente de 1.123 kg/ m^3 e areia 1.340 kg/ m^3 , ambos com granulometria 0,15 mm.

O projeto foi elaborado de tal forma que o cilindro possa girar em relação ao seu eixo, podendo ainda ser travado no ângulo desejado. Na parte superior do cilindro existe um orifício com tampa permitindo o carregamento e as operações de retiradas das amostras. Girando-se o cilindro a 180° permite-se a descarga da mistura. No eixo árvore foram fixadas 6 pás que proporcionam a homogeneização dos materiais. O esquema representativo do equipamento é mostrado na Fig. 1.

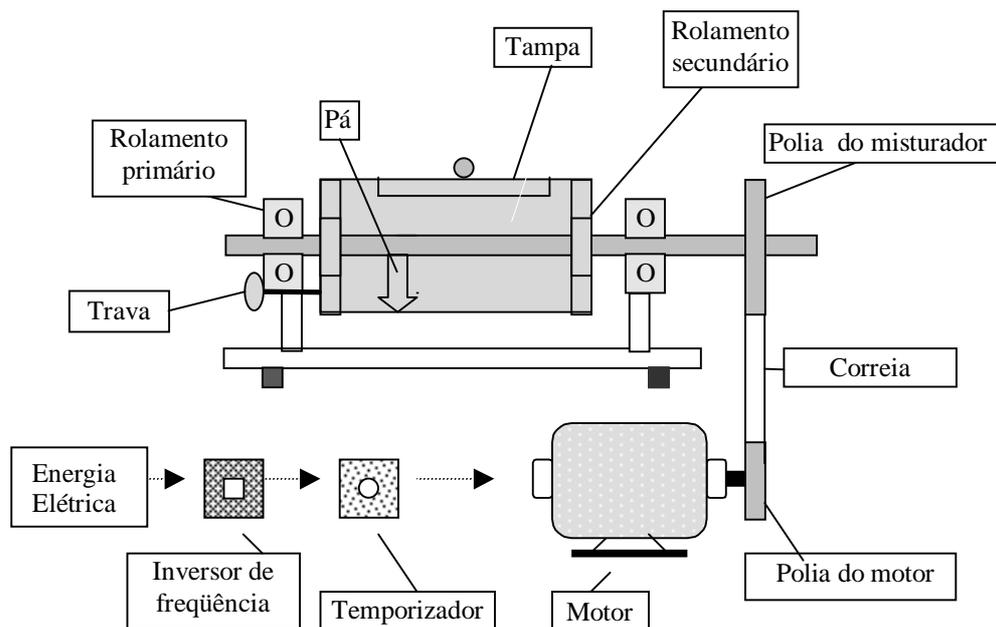


Figura 1- Esquema do misturador

A densidade aparente (ρ) do sal e da areia foram calculadas pela relação (1)

$$\rho = \text{massa contida no recipiente} / \text{volume contido no recipiente} \quad (1)$$

Para o cálculo das rotações, dispôs-se de relações possíveis através do número de Froude. O número de Froude é um adimensional que estabelece critérios para a semelhança dinâmica, que está relacionada com as forças centrífuga e gravitacional permitindo extrapolar os resultados otimizados do modelo para um protótipo. A velocidade angular foi obtida pela Eq. (2)

$$NF = Nr^2 \times R / g \quad (2)$$

Onde:

NF = Número de Froude- números obtidos por Losnak (1995) para misturadores cilíndricos de corpo fixo ;

Nr = Velocidade angular (rad/s) ;

R = Raio do corpo do misturador ;

g = Aceleração da gravidade.

Obteve - se a rotação N pela Eq. (3) :

$$Nr = (N/60) \times 2 \pi . \quad (3)$$

A variação de rotações do motor de 568 e 706 foi possível graças do emprego de um conversor de frequência. O carregamento selecionado foi de 40, 50 e 60% do volume útil do misturador. Cada taxa foi constituída em 50% de areia e 50% de sal. A avaliação deu-se por comparação através de levantamento de gráficos, tomando-se como referencia a mistura ideal de 50% de cada elemento. No misturador carregou-se primeiramente o material com menor densidade e em seguida o de maior. Cada ensaio foi repetido 3 vezes e fazendo a media. Aritmética. Antes do processo de homogeneização, os materiais a serem misturados foram levados à estufa por um período de 24 horas a fim de eliminar a umidade. A metodologia de análise das amostras foram as mesmas utilizadas por Losnak (1995). A porcentagem da mistura foi calculadas pelas Eqs. (4), (5), (6), (7) e (8)

$$Ml = Ftt - F1 \quad (4)$$

$$Ma = Fa - F1 \quad (5)$$

$$Ms = Ml - Ma \quad (6)$$

$$Pa = (Ma / Ml) 100 \quad (7)$$

$$Ps = (Ms / Ml) 100 \quad (8)$$

Onde: Ml = massa líquida de areia + sal; Ms = massa de sal; Ma = massa de areia;

Fa = filtro + areia; Ftt = filtro + areia + sal; F1 = filtro; Ps = porcentagem de sal;

Pa = porcentagem da areia; Ftt = filtro + areia + sal;

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados foram avaliados através de gráficos que mostram a variação da porcentagem de cada elemento da mistura ideal em função do tempo de homogeneização.

Com a taxa de enchimento de 40%, rotação de 568 rpm, como mostra a Fig.2a a melhor homogeneização ocorreu aos 60 segundos, com variação da mistura ideal em 0,02%.

Neste caso apresentou-se tendências de melhor homogeneização a medida que o tempo de mistura aumenta.

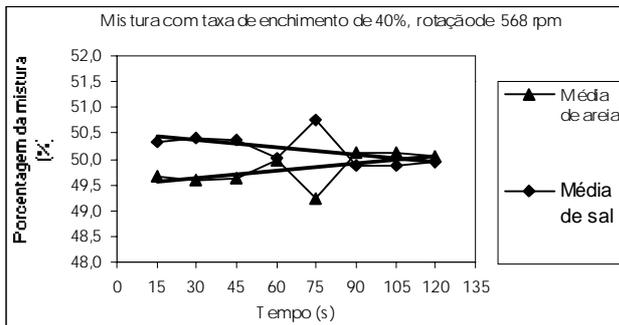


Figura 2a

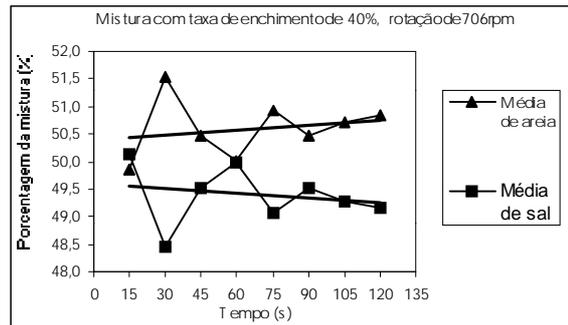


Figura 2b

Com 706 rpm a melhor homogeneização foi apresentada aos 60 segundos. Aumentando o tempo de operação de mistura apresentou tendências de desagregação com mostra a Fig. 2b.

Com a taxa de enchimento de 50%, rotação de 568 rpm começou homogeneizando, aumentando o tempo passou a segregar e voltando a apresentar mistura satisfatória aos 120

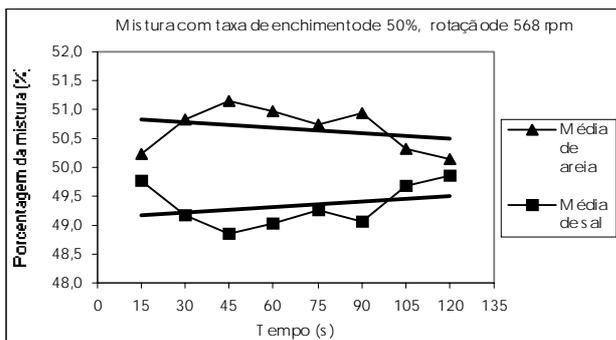


Figura 3a

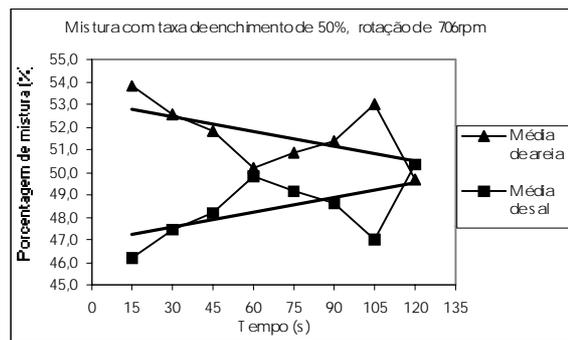


Figura 3b

segundos como apresenta Fig. 3a, mas apresentando tendências de homogeneizar no decorrer do tempo de operação. Já com rotação de 706 rpm, a mistura satisfatória foi apresentada aos 60 e 120 segundos e com tendências de homogeneização com aumento do tempo como mostra a Fig. 3b.

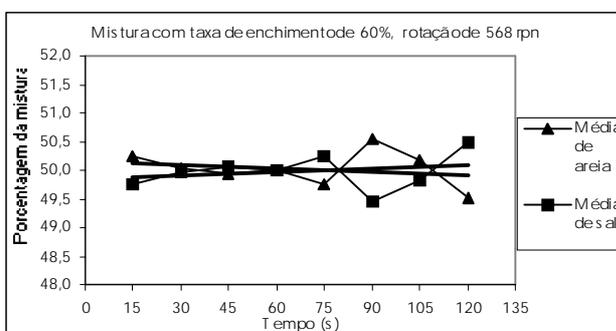


Figura 4a

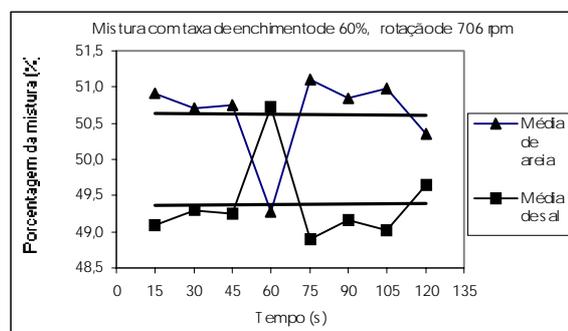


Figura 4 b

Ensaando com a taxa de enchimento de 60%, rotação de 568 rpm apresentou homogeneização satisfatória de início ao fim do ensaio, pois a variação máxima da mistura ideal foi de 0,25%. Como mostra a Fig. 4a, as retas de tendências mostram ótima mistura entre 75 e 80 s, mas aumentando o tempo de mistura mostra que vai apresentar segregação. Com rotação de 706 rpm, a taxa de enchimento 60% não apresentou boa mistura, e as retas de tendências indicam que não haverá mistura satisfatória com aumento do tempo de mistura.

4. CONCLUSÃO

O tempo ideal para homogeneizar dois tipos de pós com granulometrias, densidades bem próximas e com umidade de 0,3% foi de 60 segundos. Com a rotação de 568 rpm, a homogeneização satisfatória foi com taxa de enchimento de 40 e 60%. Já com 706 rpm foram com as taxas de 40% e 50%.

Com a taxa de enchimento de 40% e a rotação de 568 rpm pode se constatar que o tempo ideal de mistura foi de 60 segundos, passando a homogeneizar somente no próximos 60 segundos. O desvio máximo obtido foi de 0,8 %. Sendo mais que aumentado o tempo há tendência de homogeneizar com menores intervalos de tempo.

Já com a taxa de enchimento de 60% e com a mesma rotação, apresentou-se melhores resultados, com desvio máximo da mistura ideal foi de 0.05%, podendo se optar pelo tempo de mistura de 15 até 75 segundos. A partir desse tempo a mistura passou a apresentar segregação.

4. REFERENCIAS

- Okada, A. 1997. Influência da geometria do rotor e da rotação sobre o desempenho de um misturador helicoidal. Botucatu, 116p.(Doutorado em Agronomia/ Energia na Agricultura)-Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista.
- Carley, K. W. & Donald, M.B., 1964. The mixing of solids in tumbling mixers- II. Chemical Engineering Science . v.19. p 191-199.
- Danckwerts, P. V. 1953 Teory of mixtures and mixing. Research: Science and its aplication in industry. V.6, n.9, p.355-361, Setember,
- Faires, V. , 1986_Elementos orgânicos de máquinas. Rio de Janeiro: Livro técnico e científico S/A., 538p.
- Hall, A. S.; Holowenko, A. R.; Laughlin, H. G. 1970 Elementos orgânicos de máquinas. McGraw Hill do Brasil.. 588p.
- Lynch, D. N.; Ho,f. C. 1972 Choosing powder blender can be tricky. Canadian Chemical Processing. P. 72-77.
- Losnak, C. 1995 Projeto, construção e ensaio de misturador rápido de corpo fixo para pós. Botucatu, 158 p. (Doutorado em Agronomia/ Energia na Agricultura)- Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista.
- Losnak, C. & Sanchez, L. E. A. 1998 Avaliação de um agitador de peneiras para controle granulométrico. In Anais. Poços de Caldas: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola,. p. 31-33.
- Schofield, C.; 1976 The difinition and assessment of mixture quality in mixtures of particulate solids. Powder Technology. v. 15. p.169-180.

EVALUATION OF A FAST MIXER OF FIXED BODY FOR POWDERS IN REDUCED SCALE.

Abstract: The goal of this work was build a fast mixer of fixed body, in scale reduced in the proportion of 1:2,57. The scale-up, material and methods were use by Losnak (1995). For evaluation of the mixer two rotations were used, and for each rotation, there was retired samples in times of 15,30,45,60,75,90,105 and 120 seconds. The rotations were altered by a frequency inversor. The volume rates were of 40,50 and 60% of the useful

volume of the mixer. It has been accomplished 48 runs, with 3 repetitions for each one. It was verified that the ideal time to homogenize two types of powders, with the same size, very close densities and with humidity of 0,3% , the ideal time was 60 seconds. With the rotation of 568 rpm, the satisfactory homogeneization was with rate of volume of 40 and 60% and with 706 rpm it was with the rate of 40% and 50%.

Keywords: fast mixer, scaling-up of mixing of powders.