



## DESEMPENHO DAS PÁS TRIANGULARES DE FORMATO CURVO E COM PONTAS PARA HOMOGENEIZAR GRÂNULOS

Célio Losnak<sup>1</sup>, Luiz Eduardo de Angelo Sanchez<sup>2</sup>, Geraldo Luiz Palma<sup>3</sup>

Universidade Estadual Paulista, UNESP, Departamento de Engenharia Mecânica

(1)[losnak@bauru.unesp.br](mailto:losnak@bauru.unesp.br), (2)[sanchez@bauru.unesp.br](mailto:sanchez@bauru.unesp.br), (3)[glpalma@bauru.unesp.br](mailto:glpalma@bauru.unesp.br) - Bauru, SP, Brasil

**Resumo.** Na indústria mecânica a mistura de materiais granulados é muito empregada no processo de sinterização e obtenção de novos materiais. Na agro-indústria esse enfoque é voltado para a homogeneização de fertilizantes e agrotóxicos, enquanto que na indústria farmacêutica seu principal uso se dá na manipulação de tabletes. Neste trabalho foi construído um jogo de 6 pás triangulares usados em misturadores do tipo corpo fixo. Estas pás possuem áreas iguais às outras pesquisadas no entanto sua geometria é diferente e ainda não foi objeto de estudos. As novas pás foram fixadas ao rotor giratório do misturador montadas à 120° uma em relação às outras. O objetivo da pesquisa foi avaliar a influência das pontas das pás, rotação tempo e homogeneização da mistura com 3 taxas de enchimento diferentes. Utilizou-se para isso dois tipos de pós, o arenito e o cloreto de sódio de dimensões e densidades bem próximas. A escolha desses pós deve-se a fácil obtenção, custo, coleta de amostra e análise. A rotação rotor do misturador foi de 330 rpm sendo que cada taxa de enchimento foi composta de 50% de arenito e 50% de cloreto de sódio. Podemos afirmar que sob as taxas de enchimento de 40% e 50% as pás com esse formato apresentaram resultados satisfatórios, tanto em relação ao menor tempo de mistura quanto à sua homogeneidade.

**Palavras-chave:** Pás curvas com pontas, Homogeneização de pós, Misturador de corpo fixo

### 1. INTRODUÇÃO

Normalmente, a operação de mistura é muito complexa, principalmente quando os elementos a serem misturados tem características diferentes. Existem vários fatores que influem na realização da homogeneização de materiais. Blumberg *et al.* (1953) argumenta que o processo de homogeneização sempre ocorre em competição com a segregação e a qualidade da mistura depende diretamente do equilíbrio dinâmico da natureza dos componentes a serem misturados, assim como da metodologia empregada. As misturas podem ser classificadas em diferentes grupos de acordo com a segregação. Esta segregação ocorre por diferentes tamanhos dos pós, por forma, por densidade, por aglomeração dos pós induzida por umidade e cargas eletrostáticas.

A maioria dos misturadores industriais utilizados na homogeneização de partículas sólidas são construídos geralmente de forma compacta, girando sobre um eixo-árvore central. Os misturadores mais utilizados são os de corpo móvel pois funcionam com baixa rotação e exigem baixa potência, no entanto para se obter boa mistura necessita-se mais tempo de

operação. Os elementos a serem misturados são colocados em proporções desejadas no seu interior e quando o corpo do misturador gira os componentes da mistura vão se homogeneizando através da queda livre e escorregamento.

No misturador de corpo fixo obtém-se boa mistura em tempo reduzido, entretanto exige-se alta rotação e conseqüentemente maior potência. Esses misturadores são constituídos por um cilindro horizontal estático e no seu interior por um rotor girante com pás ou tiras helicoidais movimentando os pós.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Okada (1997) pesquisou a homogeneização de pós utilizando misturador do tipo helicoidal. Esse equipamento é constituído de uma carcaça semi-cilíndrica dotada de um eixo-árvore e nele foram fixadas tiras formando hélices helicoidais concêntricas, com diâmetros diferentes. As tiras helicoidais de diâmetro maior formam hélice com ângulo à direita que vai somente até o centro do misturador e a outra hélice esquerda. Assim quando o eixo-árvore gira todas as partículas que estão nas extremidades vem para o centro do misturador. As hélices de diâmetro menor com ângulos inversos movimentam os pós do centro para extremidade. Os pós movimentam-se nos dois sentidos, ou seja, verticalmente de cima para baixo e vice-versa, até atingir a homogeneização desejada. Constatou-se que as hélices internas com maior largura, apresentaram movimento predominante dos pós do centro para extremidade, com tendência de broquear o movimento dos pós. Pelos resultados apresentados, a rotação e as áreas de atuação da hélice no material a ser misturado são preponderantes na operação de homogeneização.

Losnak *et al.* (1997) estudaram a influência da rotação no misturador de corpo fixo homogeneizando pós com a mesma granulometria e densidades próximas. No rotor utilizou-se um jogo de 6 pás com áreas maiores e num outro ensaio com um jogo de pás de áreas menores, aplicando-se 4 rotações diferentes. Constatou-se que no ensaio com pás maiores e com a taxa de enchimento de 40% a rotação que apresentou melhor homogeneização foi a de 355 rpm. Já com as pás menores e com taxa de enchimento de 60% a rotação que apresentou melhor mistura foi de 183 rpm.

Palma (1998) estudou a homogeneização de pós enfocando-se dois objetivos. Primeiro, verificar o comportamento do leito fluidizado na mistura de tipos de partículas sólidas. Segundo, determinar quais as velocidades do fluido no processo de mistura que tinham melhor desempenho, sendo observado a relação entre a homogeneidade com o tempo de mistura. Concluiu-se que com esse tipo de misturador alcançou-se homogeneizações mais rápidas na região central em relação às posições próximas à parede do leito na grande maioria dos experimentos, mesmo nas operações sob maiores velocidade de fluidização. Com relação ao tempo de operação, os experimentos com maiores velocidades alcançaram o equilíbrio entre a mistura e segregação mais rapidamente, em conseqüência do maior volume de bolhas que se elevam através do leito.

Losnak *et al.* (1999) construíram e ensaiaram dois tipos de pás, sendo um jogo de 6 pás triangulares reta, Fig. 1, e outro jogo triangular curvo angular do tipo aiveca, como mostra a Fig. 2, com áreas iguais mas variando-se tempo e rotação. A partir disso comparou-se a homogeneidade da mistura para pós de granulometrias e densidades iguais. A pá curva angular com taxa de 50%, de enchimento, foi a que apresentou melhores resultados na homogeneização e no menor tempo. Com taxa de enchimento de 40%, a pá curva angular foi a que apresentou melhor resultado de homogeneização, mas não em menor tempo. Já com taxa de enchimento de 60%, os dois tipos de pás não apresentaram bons resultados.

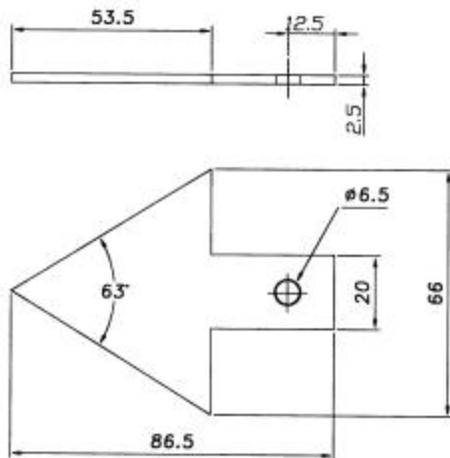


Figura 1 - Pá triangular reta

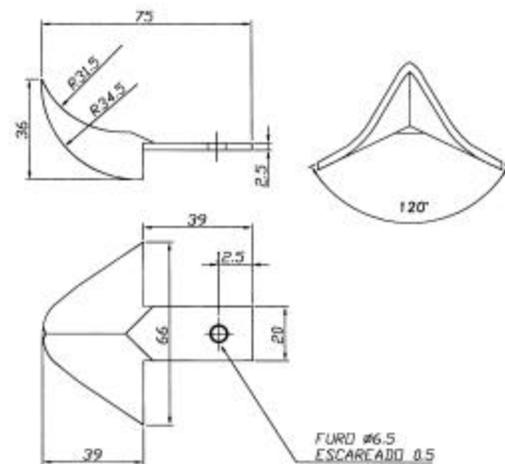


Figura 2- Pá curva angular (Tipo aiveca)

Losnak *et al.* (2000) construíram um jogo de 6 pás, Fig.3, ainda não pesquisado para avaliá-las em função da homogeneização e do tempo de operação. Esse tipo de pás tem formato frontal reto e angular para as laterais. Para a avaliação da mistura adotou-se dois tipos diferentes de produtos granulados cujos diâmetros variam de 0,15 a 0,30 mm, sendo um deles solúvel em água. No ensaio empregou-se uma única rotação e três taxas de enchimento, para cada taxa utilizou-se 50% de cada elemento a ser homogeneizado. Em seguida, foram retiradas amostras de 15 em 15 segundos até 180. Observou-se, que a taxa de enchimento de 50% foi a que apresentou melhores resultados aos 15 segundos com diferença de 0,83% em relação à mistura ideal. Já com relação à mistura, a taxa de 60% apresentou aos 90 segundos uma diferença de 0,43% em relação à mistura ideal. Constatou-se, ainda, que sob a taxa de 40% de enchimento a média da diferença da mistura ideal foi próxima de 5% aos 180 segundos. Linearizando-se os dados obtidos no ensaio, notou-se que com o aumento do tempo de operação a mistura tende a melhorar.

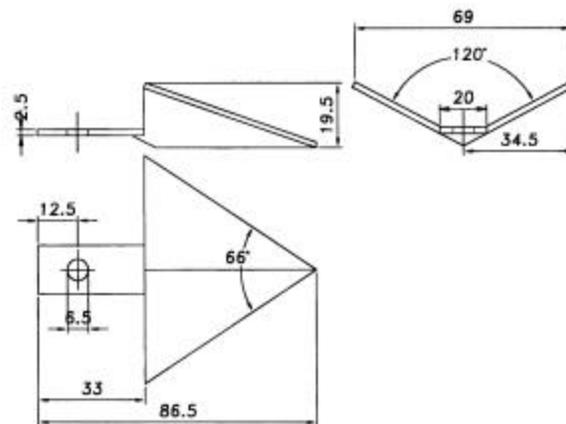


Figura 3 - Pá frontal reta e angular.

Ainda com relação ao trabalho citado (Losnak et al., 2000), os melhores resultados obtidos se deram sob uma taxa de enchimento de 50% em relação ao tempo de mistura. Constatou-se também, uma diferença de 0,83% da mistura ideal aos 15 segundos. Porém, a linearização mostrou que ao se aumentar o tempo de mistura aumenta-se, conseqüentemente,

a segregação. Comparando-se a taxa de enchimento de 60% com a de 50%, nota-se que a primeira não apresentou resultado satisfatório em relação à segunda, apesar que aos 90 segundos a diferença da mistura ideal foi de apenas 0,43%. A linearização, aplicada aos dados, mostrou uma tendência de melhora da qualidade da mistura se o tempo de operação for progressivamente aumentado. Pode-se também afirmar que as pás com esse formato ensaiado não mostrou resultados satisfatórios. Na operação da mistura percebeu-se, visualmente, que devido ao ângulo lateral da pá, os grânulos movimentaram-se no sentido axial e houve dispersão no sentido radial.

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

Os materiais, equipamentos e instrumentos utilizados nos ensaios foram:

- misturador para pós;
- motor elétrico trifásico, com potência de 1 KW, 220 v;
- tacômetro eletrônico digital;
- temporizador eletro-mecânico;
- peneiras - marca Bertel números 45, 50 e 100- ABNT;
- vibrador para peneiras;
- balanças eletrônicas, sensibilidade de 0,01 e outra 0,001g;
- estufa com temperatura máxima de 200<sup>0</sup> C;
- captador de amostras;
- bandejas, funis, béquer, pisseta e filtro de papel;
- arenito com diâmetro 0,30mm, 50 ABNT;
- cloreto de sódio.

O misturador empregado, de corpo fixo, é constituído por um cilindro estático de aço inox, como mostra Fig. 4, onde em seus topos estão fixados os mancais de rolamentos que suportam o rotor. No interior do cilindro, as pás do rotor foram montadas em ângulo 120 graus uma em relação à outra.

As 6 pás confeccionadas foram de aço inox, AISI 304, Fig.5, com polimento espelhado, e de mesma área daquelas utilizadas por Losnak (1995).

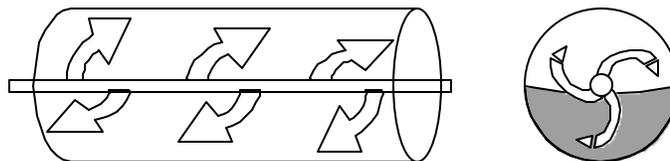


Figura 4 - Esquema do misturador.

No ensaio, a rotação empregada foi de 330 rpm com taxas de enchimento de 40, 50 e 60%, onde repetiu-se 3 vezes cada ensaio.

O arenito foi adquirido no IPT, já com controle granulométrico.

Para controlar a granulometria do cloreto de sódio, adotou-se o seguinte procedimento: colocou-se na estufa o cloreto de sódio, permanecendo-se por 12 horas em temperatura de 60<sup>0</sup>C. Após esse tempo, colocou-se parte deste material sob a peneira de número 45. Abaixo desta peneira colocou-se sucessivamente peneiras de 50 e 100 no agitador.

As densidades aparente ( $\rho$ ) dos pós foram calculadas pela equação (2) cujos valores obtidos para o cloreto de sódio e arenito, respectivamente, foram: 1.150 kg / m<sup>3</sup>, umidade de 0,2%; e 1.400 kg / m<sup>3</sup>, 0,05% de umidade.

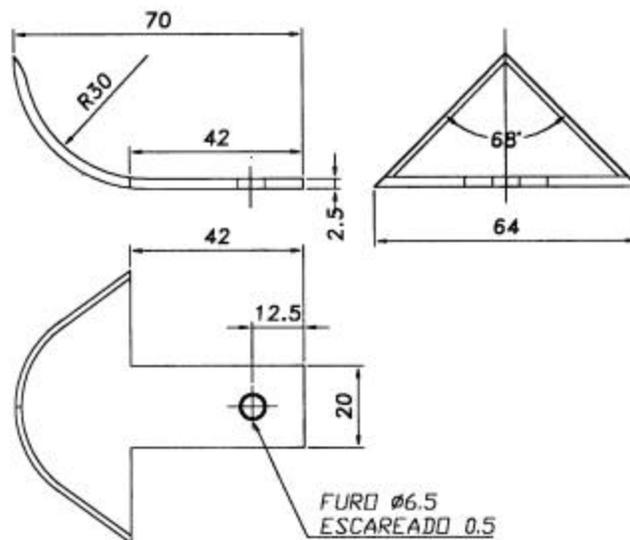


Figura 5 - Pá reta com ponta.

$$\rho = \text{Massa contida no recipiente} / \text{volume contida no recipiente} \quad (2)$$

Antes de iniciar o processo de homogeneização, os pós foram retidos na estufa por um período de 8 horas. O carregamento no misturador foi primeiramente com 50% de arenito e depois 50% de cloreto de sódio em função da taxa de enchimento do misturador.

Aos 15 segundos de funcionamento retirou-se uma amostra, procedimento feito sucessivamente até 180 segundos. Cada amostra coletada passou pelos seguintes processos:

- 1- pesou-se o filtro de papel, (F1);
- 2- colocou-se a amostra no filtro e pesando-o (Ftt);
- 3- com 100 ml de água destilada diluiu-se o cloreto de sódio do filtro;
- 4- levou-se à amostra na estufa permanecendo pelo período de 12 horas sob uma temperatura de 60°;
- 5- pesou-se novamente a amostra para determinar a massa da areia (Ma);
- 6- Por fim, calculou-se a percentagem dos elementos na mistura, segundo LOSNAK (1995) pelas equações (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; Ms - massa de sal; Fa - filtro mais areia; Ps - percentagem de cloreto de sódio e Pa - percentagem de arenito.

O desempenho das pás foram avaliados através de gráficos, pelas proporções percentuais em função do tempo e da rotação. A mistura ideal é composta de 50% de cada elemento contida na amostra.

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com taxa de enchimento de 40%, iniciou-se o processo de homogeneização apresentando resultados satisfatórios conforme mostra a Fig. 6. Onde pode-se notar que aos 75 segundos a

mistura apresentou-se eficiente em relação a mistura ideal, em cerca de 0,10%. Ainda com relação a esta figura, a reta de linearização indicou uma homogeneização perfeita, com aumento da segregação à medida que o tempo de operação é aumentado.

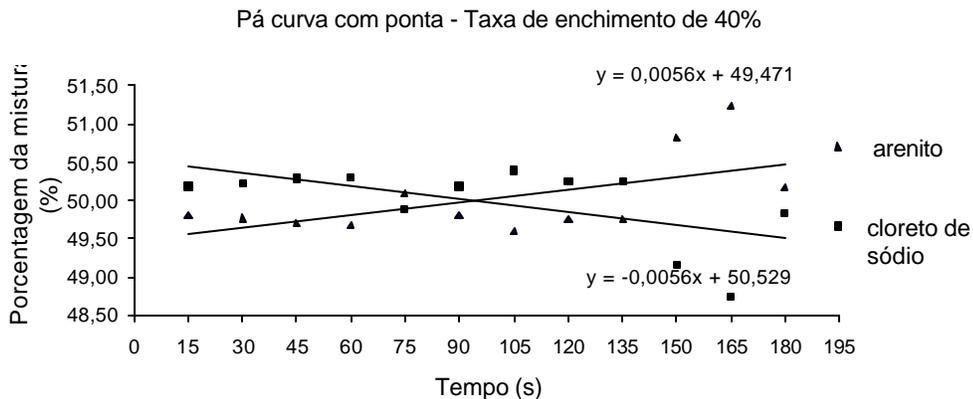


Figura 6- Porcentagem de mistura ideal em função do tempo.

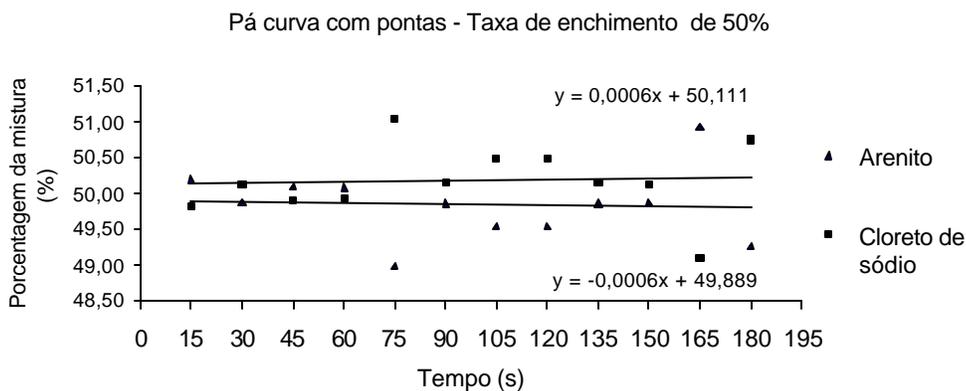


Figura 7- Porcentagem de mistura ideal em função do tempo.

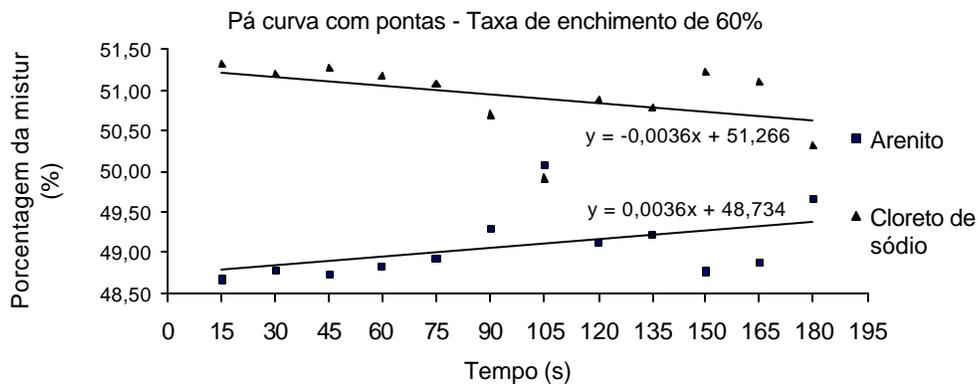


Figura 8 – Porcentagem de mistura ideal em função do tempo.

No ensaio com taxa de enchimento de 50%, apesar de apresentar diferença da mistura ideal, constatou-se um melhor desempenho que nos demais ensaios onde o menor desvio foi de 0,10% aos 45 segundos e de 0,07% aos 60 segundos. Como mostra a Fig. 7, o coeficiente angular foi baixo e as retas de linearização indica que se aumentar o tempo de operação a segregação aumentará gradativamente.

Finalmente, com a taxa de enchimento de 60%, tal como apresentado na Fig. 8, no início da operação a dispersão mostra-se elevada, passando a melhorar e tornar-se satisfatória aos 105 segundos, com uma diferença da mistura ideal em torno de 0,08%. Após este ponto notou-se o retorno da segregação e uma posterior melhora aos 180 segundos. Pelo comportamento das retas mostradas na mesma figura, pode-se notar que a homogeneização da mistura tende a melhorar com o aumento do tempo.

## 5. CONCLUSÕES

Constatou-se que com a taxa de 40% de enchimento a média do desvio da mistura ideal foi em torno de 0,02%. O tempo ideal de homogeneização com essa taxa de enchimento foi 75 segundos e o desvio da mistura ideal de 0,10%. A reta de linearização mostra os cruzamentos no tempo entre 90 e 105 segundos. Neste caso, tem-se que antes e depois do deste tempo, ou seja o ponto ótimo, tem-se o aumento de segregação.

Para a taxa de enchimento de 50%, o melhor resultado obtido com relação ao tempo foi aos 60 segundos, com desvio da mistura ideal em 0,10%. No entanto, a linearização mostra que ao se aumentar o tempo de operação de mistura haverá uma leve tendência de segregação.

Verificou-se também que a taxa de enchimento de 60% não apresentou desempenho melhor do que a taxa de 50%, apesar que aos 105 segundos a diferença da mistura ideal foi de 0,08%. A linearização mostra tendência de melhorar a qualidade da mistura se for aumentado o tempo de operação.

Por último podemos afirmar que as pás com esse formato apresentaram resultados satisfatórios e a melhor homogeneidade com relação ao tempo de mistura foi conseguida com as taxas de enchimento de 40% e 50%.

## REFERÊNCIAS

- Blumber, G. ; Maritz, J. S., 1953, “ Mixing of solid particles. Chemical Engineering Science” Vol.2, September. p. 240-246.
- Losnak, C. Razuk. P. C., 1996, Influência da rotação na mistura de grão em misturador de corpo fixo, XXVI Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola. Inserida no CD-ROM, sob nº MAG 035 dos ANAIS do XXVI CONBEA –Local - Campina Grande PB.
- Okada, A. 1997, Influência da geometria do rotor e da rotação sobre o desempenho de um misturador helicoidal.,(Doutorado em Agronomia/ Energia na Agricultura)-Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista. Botucatu SP, pp.116.
- Palma, G. L, 1998. Um estudo de mistura em leito fluidizado para sistemas sólidos particulados. (Doutorado em Engenharia Mecânica) Escola de Engenharia, USP, São Carlos SP, pp. 274.
- Losnak, C. 1999, Palma, G. L., Sanchez, L.E.A. “Comparação da eficiência do ataque frontal das pás do misturador rápido de corpo fixo para homogeneização de pós. IV Congresso Ibero-americano de Ingenieria Mecânica/CIDIM 99. - Vol.1- Manufatura. Santiago–Chile.
- Losnak, C., Palma, G. L., Sanchez, L. E. A. 2000 Estudo da Forma das Pás para Homogeneizar Grânulos em Misturador de Corpo Fixo. XXIV Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola.. Inserido no CD-ROM da Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola - sob nº MMA-002, . Inserido CD-RON do XXIV CONBEA Fortaleza CE.

## **PERFORMANCE OF TRIANGLE SHOVELS WITH TIP AND CURVE SHAPE FOR POWDER HOMOGENEIZATION**

**Abstract.** *The mixture of granulated materials are too used in the mechanical industries mainly in powder metallurgy and new materials manufacturing. In this work was manufactured a group of 6 triangle shovels with same areas of other previously researched. This shovels have a new form with sharp tip and curve body no reseacherd until this moment. The goal of this research is to study the influence of the shovel formats rotation, operation time and homogeneization under three different wadding rates. In this way was used two types of powder: sodium cloreto and sandstone. Thereby, the mixer drive rotation was about 330 rpm. Each wadding rates was composed to 50% sandstone and 50% sodium cloreto. As result it's possible to say that the wedding rates of 40% and 50% are the better so in operation time than homogeneization.*

**Keywords:** *shape shovel, powder homogeneization, fixer body mixer.*