

Estudo da friabilidade de grânulos de quebra-pedra recobertos em leito de jorro

A. P. T. Rocha^{1*}, S. B. Cabral², O. S. Silva³, O. L. S. de Alsina³

¹Unidade Acadêmica de Engenharia Agrícola – Universidade Federal de Campina Grande

Rua Aprígio Veloso, 882, Bodocongó, CEP 58429-900, Campina Grande – Paraíba

²Doutorado em Engenharia de Processos – Universidade Federal de Campina Grande

Rua Aprígio Veloso, 882, Bodocongó, CEP 58429-900, Campina Grande – Paraíba

³Unidade Acadêmica de Engenharia Química – Universidade Federal de Campina Grande

Rua Aprígio Veloso, 882, Bodocongó, CEP 58429-900, Campina Grande – Paraíba

(Recebido em 15/04/2010; revisado em 14/05/2010; aceito em 04/08/2010)

(Todas as informações contidas neste artigo são de responsabilidade dos autores)

Resumo:

Neste trabalho estudou-se a friabilidade de grânulos de quebra-pedra submetidos ao processo de recobrimento em leito de jorro com o objetivo de determinar se a faixa de tamanho dos grânulos inicialmente alimentado no secador se manteve constante durante o processo de recobrimento. Para o melhor estudo do processo, e análise da influência das variáveis de entrada: pressão de atomização (P_{at}), vazão de suspensão (W_s) e temperatura do ar de entrada (T_{ar}) sobre as variáveis de resposta: perdas e índice de aglomerados, e as interações entre elas, escolheu-se o método de planejamento fatorial 2^3 , com 6 pontos axiais e 3 experimentos no ponto central. A distribuição granulométrica das partículas apresentou uma redução na quantidade de partículas de tamanho 3,35 mm. Obteve-se um modelo empírico, estatisticamente significativo para índice de aglomerados.

Palavras-chave: Grânulos; friabilidade; recobrimento; leito de jorro.

Abstract:

In this work the friability of stonebreaker granules was studied through the coating process in spouted bed aiming at determining whether the size range of granules initially fed into the dryer remained constant during the coating process. To better study the process and analysis of the influence of input variables – air pressure of atomization (P_{at}), the flow rate of coating suspension (W_s) and inlet air temperature (T_{air}) on the response variables, loss and agglomeration index, and the interactions among them, the method of factorial design 2^3 was chosen, with six star points and three central points. The granulometric distribution of the granules showed a reduction in the quantity of particles of 3.35 mm size. Thus, a statistically significant empiric model was obtained for agglomeration index.

Keywords: Granules; friability; coating process; spouted bed.

* E-mail: anatrindade@deag.ufcg.edu.br (A. P. T. Rocha)

1. Introdução

A quebra-pedra é uma planta medicinal muito usada em diferentes regiões do mundo para o tratamento de várias doenças, estando presente em quase todo o território brasileiro [1].

A utilização dessa planta, em geral, é na forma de tintura, xarope, extrato fluido, chá e na forma de pós, originados da própria planta seca e moída, ou obtida como produto da secagem do extrato.

As indústrias farmacêuticas têm um especial interesse pelos extratos vegetais secos por apresentarem precisão na dosagem, facilidade de manuseio, transporte e armazenamento, estabilidade química, microbiológica e farmacológica. Estes extratos em pó são considerados produtos intermediários na preparação de comprimidos, cápsulas, granulados, pomadas entre outros [2].

Granulados são preparações farmacêuticas constituídos por grânulos sólidos e secos formados por aglomerados de partículas de pó com resistência, ao desgaste e a quebra, suficiente para permitir diversas manipulações.

A literatura reporta o estudo do processo de granulação por via úmida do extrato fitoterápico de quebra-pedra, utilizando etanol como líquido de umedecimento e polivinil pirrolidina (PVP-K30) como material ligante [3].

Nesse trabalho caracterizou-se fisicamente o extrato seco e os grânulos de quebra-pedra, obtidos com a finalidade de utilizá-los como constituintes de um leito de jorro convencional e, posterior, recobrimento polimérico dos mesmos. Os extratos secos produziram partículas com tamanho adequado à movimentação do jorro, indicando que a técnica de granulação se mostra adequada para o aumento de tamanho de partícula a ser processada em leito de jorro.

Logo é importante saber se esses grânulos inicialmente alimentados mantiveram o seu tamanho ou, se houve quebra, ou desgaste, em consequência da dinâmica do leito de jorro.

A evolução, no processo de recobrimento, tem ocorrido no sentido de minimizar os gastos energéticos, automatizar os sistemas para diminuir o tempo total de revestimento e reduzir a intervenção do operador.

Os equipamentos conhecidos como leitos fluidodinamicamente ativos são o leito de jorro e o leito fluidizado. Esses equipamentos já são utilizados nas indústrias farmacêuticas, porém, muitos pesquisadores têm estudado os leitos fluidodinamicamente ativos por se tratarem de um processo eficiente de recobrimento de diversos materiais, entre eles, grânulos de fitoterápicos [4-6].

Com base nos fatos apresentados o objetivo deste trabalho foi estudar a friabilidade dos grânulos de quebra-pedra durante o processo de recobrimento polimérico, num leito de jorro convencional, para determinar se a faixa de tamanho dos grânulos, inicialmente alimentados no secador, se manteve constante.

2. Materiais e Métodos

2.1. Extrato de quebra-pedra (*Phyllanthus niruri* L.)

Utilizou-se extrato de quebra-pedra adquirido na YOD Comércio de Produtos Naturais LTDA, apresentando-se como um pó fino de coloração parda clara, odor característico e higroscópico. Os grânulos foram obtidos a partir do processo de granulação do pó por via úmida (Figura 1).



Figura 01: Extrato em pó (a) e granulado (b) de quebra-pedra

A granulação foi feita em diversas bateladas devido à limitação de material, mão de obra e peneiras, mas para divisão dos 17 lotes de 400g contendo as partículas retidas com nas peneiras de abertura 1,7 a 3,35 mm todas as bateladas foram misturadas, homogeneizadas e classificadas em relação à distribuição granulométrica [4].

2.2. Suspensão de recobrimento

A formulação da suspensão de recobrimento foi composta de 1,0% de estearato de magnésio, 1,20% de dióxido de titânio, 0,75% de polietileno glicol, 2,75% de talco, 16,7% do polímero Eudragit L30-D55®, 0,50% de citrato de trietila, 0,80 % de corante e 76,35% de água destilada. A concentração de sólidos na suspensão foi de 12% [5].

2.3. Equipamento experimental

Os ensaios de recobrimento foram realizados em um leito de jorro convencional, constituído de uma coluna de acrílico, com ângulo interno de 60°, diâmetro interno de 15 cm, diâmetro do orifício de entrada do ar de 2,8 cm, 44 cm de altura na parte cilíndrica e 8 cm de altura na parte cônica. A Figura 2 representa o equipamento utilizado.

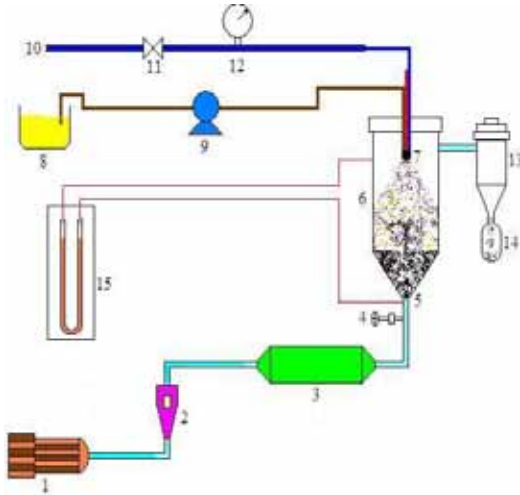


Figura 2: Equipamento experimental

Conforme mostra a Figura 1, o ar de secagem era fornecido ao sistema por um compressor (1) e aquecido por um conjunto de resistências (3). A vazão do ar de secagem na entrada era medida por um rotâmetro (2) e controlada por uma válvula (4). A pressão dentro do leito era medida através de um manômetro diferencial em U (15). A suspensão de recobrimento (8) era transportada por uma bomba peristáltica (9) até o bico atomizador de duplo fluido (7) e uma linha de ar comprimido (10) fornecia ar ao bico atomizador, sendo a pressão do ar medida por um manômetro Bourdon (12) e a vazão controlada por uma válvula (11).

2.4. Granulação

O extrato seco de quebra-pedra foi granulado utilizando como aglomerante o PVP-K30[®]. Na preparação dos grânulos utilizou-se 800 g do extrato em pó e 200 g do aglomerante. Inicialmente misturava-se 100 g de PVP-K30[®] ao extrato e 100 g à 300 mL de etanol. Em seguida adicionava-se lentamente a solução (PVP-K30[®] + etanol) a mistura de pós até obter uma massa homogênea. Quando a consistência desejada era atingida passava-se a massa por uma peneira de 6 mesh para formar os grânulos que, em seguida, eram levados para uma estufa com circulação de ar para pré-secagem a 60°C durante 20 minutos. Depois da pré-secagem os grânulos foram passados numa peneira com

abertura menor (8 mesh) e em seguida levados à estufa por 24 horas a 40°C.

Esta granulação se fez necessária devido ao tamanho da partícula do extrato seco que é muito pequeno e não é adequado à dinâmica do leito de jorro.

2.5. Planejamento experimental

Visando obter um melhor estudo sobre a otimização do processo e analisar a influência das variáveis de entrada: pressão de atomização (P_{at}), vazão de suspensão (W_s) e temperatura do ar de entrada (T_{ar}) sobre o índice de aglomerados e perdas, escolheu-se o método de planejamento fatorial 2^3 , com 6 pontos axiais e 3 experimentos no ponto central resultando desta forma em 17 experimentos.

A Tabela 1 apresenta as variáveis e os níveis que foram utilizados nos ensaios experimentais de recobrimento. A temperatura foi estabelecida levando-se em consideração a limitação do polímero e do princípio ativo que acima de 70°C degradam. Com relação à pressão de atomização e vazão de suspensão foi definida na mesma faixa utilizada por outro pesquisador [5].

Em todos os ensaios permaneceram fixas a carga de partículas em 400 g, a velocidade do ar de secagem de 0,69 m/s e a altura do bico atomizador em relação à superfície do leito, 1 cm.

2.6. Processo de recobrimento

Inicialmente o compressor era ligado com o leito vazio para que o ar de secagem fosse aquecido até a temperatura desejada. Quando a temperatura encontrava-se estabilizada, desligava-se o compressor para que a carga fosse colocada no leito. Em seguida, ligava-se novamente o compressor e a velocidade do ar era ajustada até ser obtido o valor desejado. Atingido um jorro estável na velocidade requerida, iniciava-se o processo de atomização da suspensão de recobrimento sobre o leito de partículas, com alimentação contínua. Após a alimentação total dos 0,5 kg da suspensão de recobrimento, em todos os ensaios, desligava-se a bomba peristáltica e as partículas permaneciam jorrando por 10 minutos para diminuir a umidade das mesmas e facilitar a retirada do material do leito. Posteriormente desligava-se o conjunto de resistências e o compressor, respectivamente. Por fim pesavam-se os grânulos recobertos e a suspensão, e retiravam-se amostras para o cálculo da umidade.

Uma observação deve ser feita: o leito só recebia as partículas após o aquecimento da corrente de ar porque se o leito fosse aquecido

com as partículas em seu interior o resultado da friabilidade poderia ser alterado, ou seja, as partículas poderiam ser desgastadas ou

quebradas antes mesmo da suspensão de recobrimento ser alimentada

Tabela 1: Variáveis independentes e seus níveis

Variáveis	Níveis				
	-1,68	-1	0	+1	+1,68
P _{at} (bar)	0,26	0,50	1,00	1,50	1,84
W _s (g/min)	3,96	6,00	9,00	12,00	14,04
T _{ar} (°C)	43,20	50,00	60,00	70,00	76,80

2.7. Distribuição granulométrica

A distribuição granulométrica foi realizada nos grânulos de extrato antes do processo de recobrimento por análise de peneiras. O procedimento foi o seguinte: colocou-se uma massa conhecida de material em um conjunto de peneiras de abertura conhecida, com agitação mecânica, e após 10 minutos media-se a massa em cada uma das peneiras que formam o conjunto. O conjunto é formado por peneiras de abertura 4,75, 3,35, 2,36, 1,7 e 1,18 mm.

Os grânulos utilizados para os ensaios de recobrimento foram aqueles que ficaram retidos nas peneiras de abertura 3,35, 2,36 e 1,7 mm.

Após o processo de recobrimento, os grânulos recobertos obtidos foram submetidos à análise de distribuição granulométrica com o objetivo de determinar se a faixa de tamanho inicialmente alimentado no secador se manteve. O conjunto de peneiras utilizado para determinação da distribuição de tamanho dos grânulos recobertos possui a mesma abertura que foi citada para os grânulos inicialmente alimentados.

2.8. Índice de aglomerados e pedras

Considera-se aglomeração como um fenômeno de aumento de tamanho de partículas, devido a mudanças na superfície do material particulado causado pelas forças de ligação entre partículas e um material ligante ou através das forças interpartículas. Já as perdas são obtidas a partir do desgaste da partícula devido ao movimento do leito. No caso específico do recobrimento estudado neste trabalho, a aglomeração e as perdas são fenômenos indesejáveis no processo.

Aglomerados são partículas que após o processo de recobrimento apresentam diâmetros maiores do que a faixa de tamanho utilizada, e são separadas por peneiramento. Consideraram-se aglomerados partículas cujo tamanho seja superior ou igual a 4,75 mm, ou seja, partículas que ficaram retidas na peneira com essa abertura.

Foram considerados como perdas tanto o pó obtido pelo desgaste dos grânulos como a suspensão seca que não aderiu às partículas.

Para definir perdas, um balanço de massa foi realizado após o recobrimento, sendo definido pela Equação (1):

$$\text{Perdas} = M_{is} - M_{fs} + M_{ss} \quad (1)$$

onde: M_{is} é a massa inicial em base seca; M_{fs} é a massa final em base seca; M_{ss} é a massa da suspensão em base seca.

3. Resultados e Discussão

3.1. Distribuição granulométrica inicial

Os ensaios de recobrimento foram conduzidos de acordo com a metodologia descrita anteriormente.

Na Figura 3 observa-se o percentual em massa de cada tamanho de partícula utilizado. Como se observa 11,60 % do leito foi composto por partículas retidas na peneira de abertura 1,7 mm, 48,37 % por partículas retidas na peneira de abertura 2,36 mm e 40,03 % por partículas retidas na peneira de abertura 3,35 mm.

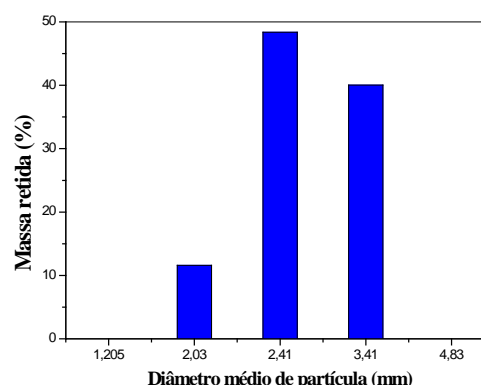


Figura 3: Distribuição granulométrica das partículas alimentadas no leito de jorro.

3.2. Distribuição granulométrica dos grânulos recobertos

Na Tabela 2 são apresentados os resultados para cada ensaio de recobrimento de acordo com o planejamento experimental fatorial completo $2^3 +$ configuração estrela + 3 experimento no ponto central (repetição), totalizando 17 experimentos.

A circulação de sólidos que foi observada durante os experimentos se mostrou satisfatória, com boa movimentação de partículas em movimento ascendente e descendente, com exceção dos experimentos 03, 04 e 16, cujas variáveis operacionais, principalmente vazão e temperatura, foram altas e baixas, respectivamente. Durante a realização desses experimentos, paradas da alimentação da vazão de suspensão foram necessárias por períodos curtos de tempo para evitar o colapso do leito de jorro.

Em trabalho anterior, estudou-se a caracterização física de grânulos de quebra-pedra para uso em leito de jorro. Os resultados obtidos indicam que os extratos secos produzem partículas com tamanho adequado à movimentação do jorro, após o processo de granulação por via úmida, indicando que a técnica de granulação se mostra adequada para o aumento de tamanho de partícula a ser processada em leito de jorro [3].

Para facilitar o entendimento da discussão da análise granulométrica, os experimentos foram divididos em três grupos, onde cada um destes grupos é formado por ensaios que apresentam comportamento semelhante.

Tabela 2: Distribuição granulométrica de acordo com o planejamento experimental

Exp.	Condições experimentais			Distribuição granulométrica (%)							
	P _{at} (bar)	W _s (g/min)	T _{ar} (°C)	Abertura da peneira (mm)						Perdas (%)	Grupo
				4,75	3,35	2,36	1,7	1,18	Fundo		
01	0,5	6,0	50	0,8	6,1	63,8	22,4	3,6	2,2	1,1	A
02	1,5	6,0	50	0,6	5,8	59,3	23,6	5,9	2,5	2,3	A
03 ^a	0,5	12,0	50	18,6	12,5	59,3	6,2	0,4	0,1	2,9	B
04 ^a	1,5	12,0	50	37,8	38,3	14,8	2,0	0,2	0,1	6,9	B e C
05	0,5	6,0	70	0,1	7,4	65,6	17,7	4,2	2,0	3,0	A
06	1,5	6,0	70	0	5,2	63,7	9,8	6,1	5,4	9,8	A
07	0,5	12,0	70	0,1	7,5	66,1	17,8	4,3	0,2	4,0	A
08	1,5	12,0	70	0,9	7,8	64,6	20,6	4,2	0,7	1,2	A
09	1,0	9,0	60	0,2	12,1	68,5	9,7	2,5	1,7	5,3	A
10	1,0	9,0	60	0,0	6,2	66,2	14,2	4,8	3,2	5,4	A
11	1,0	9,0	60	0,8	11,5	63,8	14,3	1,4	0,4	5,7	A
12	0,26	9,0	60	19,1	53,9	17,6	3,8	0,3	0,1	5,2	B e C
13	1,84	9,0	60	3,9	5,1	54,1	23,9	5,8	2,0	5,2	A
14	1,0	3,96	60	2,7	6,5	53,9	25,5	5,8	1,6	4,0	A
15	1,0	14,04	60	1,2	12,4	65,7	14,2	3,5	1,0	2,0	A
16 ^a	1,0	9,0	43,2	24,2	11,3	50,2	11,9	0,9	0,1	1,4	B
17	1,0	9,0	76,8	0,4	7,5	59,7	21,0	5,8	3,0	2,6	A

^a ensaios executados de forma intermitente.

Os grupos são os seguintes:

Grupo A: Experimentos com quase nenhum aglomerado, diminuição da quantidade de partículas de tamanho 3,35 mm e aparecimento de finos;

Grupo B: Experimentos onde se obteve elevado índice de aglomerados;

Grupo C: Experimentos nos quais houve aumento da quantidade das partículas de tamanho 3,35 mm e formação de aglomerados.

Na Tabela 2, observa-se que o Grupo A é a categoria onde há a maior quantidade de experimentos. O comportamento típico registrado para este grupo leva a supor que devido ao fato do leito ser composto por

partículas bastante irregulares a dinâmica do leito favorece a quebra das partículas e, em alguns casos, um maior desgaste das mesmas [7]. Na maior parte dos experimentos desse grupo as perdas ficaram abaixo de 2,5% da massa total do leito, que era de 400 g. Esse valor é aceitável, visto que o conjunto de partícula é bastante irregular e o próprio movimento do jorro contribui para que ocorram quebras, justificando a diminuição da fração de partículas de tamanho 3,35 mm e aumento da quantidade de partículas de tamanho 2,36 mm. Em alguns casos obtêm-se partículas de 1,17 mm. A pouca quantidade de pó obtido nos experimentos que fazem parte do Grupo A leva

a concluir que, o que realmente ocorreu, foi à quebra das partículas e não o desgaste.

A característica principal para os experimentos do Grupo B é a presença de elevadas quantidades de aglomerados. Fazem parte desse grupo os experimentos 03, 04, 12 e 16 cujos valores das variáveis operacionais de uma maneira geral são temperaturas baixas e elevadas vazões de suspensão, o que favorece a umidificação do leito de partículas e conseqüente diminuição na movimentação destas. A temperatura baixa também favorece a formação de aglomerados, pois o leito se torna mais frio e ocorre pouca evaporação do solvente da suspensão, no caso, a água.

O terceiro e último grupo é formado pelos experimentos 04 e 12 que também apresentam características do Grupo B, no que diz respeito à formação de aglomerados. No entanto, a característica principal do Grupo C é a formação de uma maior quantidade de partículas de tamanho 3,35 mm, sendo essa quantidade superior à quantidade inicial antes do recobrimento. Este comportamento só foi observado para esses dois ensaios e pode-se dizer que isso ocorre no ensaio 04, onde a pressão foi de 1,5 bar, a vazão de 12 g/min e a temperatura de 50°C, devido à combinação da máxima vazões e mínima temperatura. Já o ensaio 12, onde a pressão é de 0,26 bar, a vazão de 6 g/min e a temperatura de 60°C, favorecem a formação de gotículas maiores porque a pressão é muito baixa, ou seja, as gotas são muito grandes ocorrendo um molhamento preferencial na região onde esta gota caia dentro do leito. Esse fato também justifica a formação de aglomerados neste experimento.

De uma maneira geral, observa-se na Tabela 2 que a quantidade de partículas retidas na peneira de abertura 1,7 mm diminuiu em todos os experimentos, já que existia 11,6 % destas no leito inicialmente alimentado no secador. Para as partículas retidas na peneira de abertura 2,36 mm houve um aumento dessa quantidade com exceção dos experimentos 04 e 12, como discutido anteriormente. Na quantidade de partículas de tamanho 3,35 mm ocorreu, de uma maneira geral, a diminuição lembrando que 40,03 % foi o percentual inicialmente alimentado.

Segundo a literatura o comportamento de compactação dos sistemas sólidos particulados é fortemente influenciado pelas características físico-químicas dos fármacos. Desta forma, ao selecionar o tamanho dos comprimidos adequados para determinada formulação, a escolha do tamanho dos granulados mostra-se determinante para a resistência mecânica dos compactos [8].

3.3. Índice de aglomerados e perdas

Os resultados mostram que os valores obtidos para o índice de aglomerados foram baixos. Nos experimentos 01, 02, 05, 06, 07, 08, 09, 10 e 17 os valores para índice de aglomerados foram menores que 1 %.

De um modo geral, elevadas vazões de suspensão combinadas com temperaturas mais baixas favorecem a formação de aglomerados. Com o leito mais molhado e temperatura insuficiente para secar o que esta sendo alimentado, diminui a circulação de sólidos no seu interior, contribuindo para formação de pontes líquidas entre partículas que se solidificam formando os aglomerados.

Uma atenção especial deve ser dada ao experimento 12. Neste ensaio a pressão de atomização foi baixa, ocorrendo praticamente o gotejamento da suspensão e não a atomização da mesma. O espalhamento da suspensão foi ineficiente, formando áreas de molhamento preferenciais.

As perdas observadas em todos os experimentos foram baixas. Dependendo das condições utilizadas no recobrimento dos grânulos, a perda variou de 1,1 a 9,8 %.

Os pontos centrais para as duas respostas apresentaram uma pequena variação, indicando uma boa repetibilidade do processo para todas as respostas nas condições estudadas.

3.4. Resultado do planejamento

A análise dos resultados obtidos, índice de aglomerados e perdas, foi realizada através de métodos estatísticos, utilizando-se o software *Statistica*, de acordo com o planejamento fatorial completo 2³, incluindo os seis pontos axiais e três repetições do ponto central, totalizando 17 ensaios [9].

A partir dos resultados obtidos no planejamento, a análise dos efeitos para cada resposta foi realizada através de uma regressão não linear dos dados experimentais. Sua aplicação permite selecionar a combinação de níveis maximizados na obtenção da melhor resposta para cada situação.

O modelo codificado da regressão dos dados experimentais para o índice de aglomerados está representado na Equação 2, onde todos os parâmetros são estatisticamente significativos, em nível de 90% de confiança.

$$\begin{aligned} \text{Agl} = & 0,2734 - 0,8554 P + 7,2567 P^2 \\ & + 7,8242 W - 0,489 W^2 - 14,172 T + \\ & 7,824 T^2 + 5,075 P W - 4,575 P T - \\ & 13525 W T \end{aligned} \quad (2)$$

Onde T, W e P são os valores codificados da temperatura de entrada do ar, vazão de suspensão e pressão de atomização, respectivamente.

A análise da variância do modelo estatístico para índice de aglomerados foi realizada e o resultado encontra-se na Tabela 3.

Tabela 3: ANOVA para índice de aglomerados

% variação explicada	80,4
Teste F (calculado)	3,2
F tabelado para 90% de confiança	2,72
F calculado/F tabelado	1,18

A porcentagem da variação explicada pela regressão é de 80,4 %. Através do teste F para regressão o valor encontrado da razão entre F calculado e F tabelado é de 1,18 mostrando que o modelo é estatisticamente significativo, mas não preditivo.

Na Figura 4, que relaciona os efeitos das variáveis vazão e temperatura para uma pressão fixada no ponto central, ou seja, 1 bar, identifica-se uma pequena região em que o índice de aglomerados é elevada, e isso ocorre para elevados valores de vazão de suspensão e baixas temperaturas do ar de secagem. Devido ao excesso de suspensão e temperatura insuficiente para fazer com que o leito mantenha uma circulação de sólidos satisfatória em consequência da eliminação de umidade, ocorre o molhamento excessivo das partículas o que implica na união destas pela ação do polímero contido na suspensão de recobrimento.

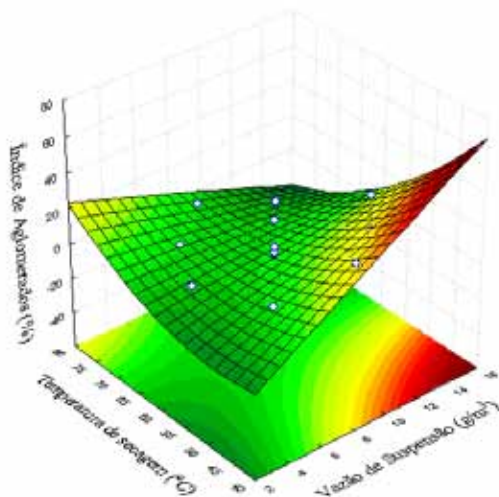


Figura 4: Efeito da vazão de suspensão e temperatura do ar de secagem sobre o índice de aglomerados

A Figura 5 ilustra o efeito das pressões e vazões no índice de aglomerados, quando a temperatura é mantida no ponto central.

Reafirma-se a tendência do aumento de formação de aglomerados para altas vazões de suspensão, principalmente para valores de pressão muito baixos e muito altos. Isso mostra que a variável mais importante é a vazão no que diz respeito à formação de aglomerados.

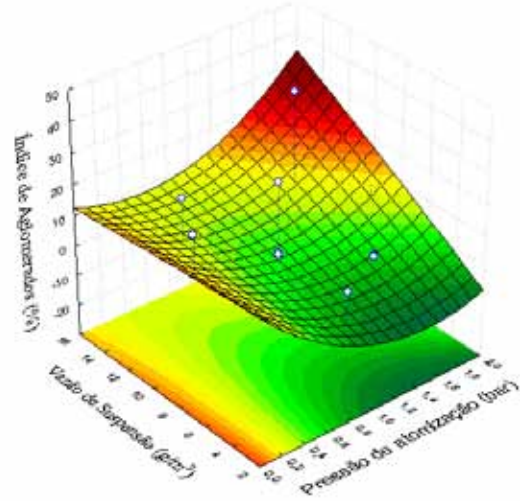


Figura 5: Efeito da vazão de suspensão e pressão de atomização sobre o índice de aglomerados

Para a influência da variação da temperatura do ar de secagem e da pressão de atomização observa-se na Figura 6 um comportamento muito semelhante ao anterior com relação à contribuição da pressão da formação de aglomerados. Observa-se que independente do valor da pressão a baixas temperaturas os índices de aglomerados são praticamente constantes, tendendo a um ligeiro aumento para um maior valor de pressão.

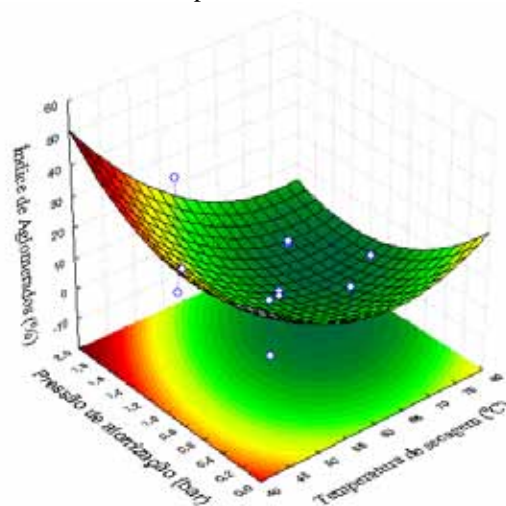


Figura 6: Efeito da temperatura do ar de secagem e pressão de atomização sobre o índice de aglomerados

As associações das três variáveis estudadas, nas faixas estabelecidas vieram, mais uma vez, confirmar a hipótese de que a pressão de atomização necessita de uma ampliação da faixa de valores, além do intervalo utilizado entre 0,5 e 1,5 bar. Espera-se que, analisando um intervalo maior de valores de pressão de atomização, os efeitos desta variável independente possam ser mais bem interpretados, sob o ponto de vista da influência da mesma no processo de recobrimento dos grânulos de quebra-pedra.

Tabela 4: ANOVA para perdas

% variação explicada	66,3
Teste F (calculado)	1,53
F tabelado para 90% de confiança	2,72
F calculado/F tabelado	0,56

Para as perdas, a análise da variância do modelo estatístico foi realizada e o resultado encontra-se na Tabela 4. A porcentagem da variação explicada pela regressão é de 66,3 %. Através do teste F para regressão, o valor do F calculado, é inferior ao valor do F tabelado indicando que o modelo não é estatisticamente significativo, e nem preditivo

4. Conclusões

A distribuição granulométrica das partículas recobertas não se manteve constante. A maior parte dos ensaios apresentou uma redução na quantidade de partículas de tamanho 3,35 mm em decorrência da friabilidade dos grânulos.

Experimentos com baixas temperaturas e elevadas vazões de suspensão favorece a formação de aglomerados.

Foi possível se obter modelo empírico, estatisticamente significativo, para a predição do índice de aglomerados em função das condições operacionais do processo de recobrimento, considerando o intervalo de confiança de 90%, que responde por 80,4% dos experimentos.

Referências

- [1] Cimanga, R. K *et al.* In vitro antiplasmodial activity of callus culture extracts and fractions from fresh apical stems of *Phyllanthus niruri* L. (Euphorbiaceae): part 2. *J Ethnopharmacol*, 2004
- [2] Alsina, O. L. S.; Pessoa, J. D.; Araújo, S. W. C.; Silva, O. S. Análise Estatística dos efeitos das condições de granulação do extrato Fitoterápico de quebra-pedra (*Phyllanthus niruri*) sobre sua resistência mecânica em leito de jorro. *Anais do XVII Congresso Brasileiro de Engenharia Química*, Recife-PE, 2008.
- [3] Rocha, A. P. T.; Silva, O. S.; Alsina, O. L. S. Caracterização física de grânulos de quebra-pedra para uso em leito de jorro. *Revista Eletrônica de Materiais e Processos*, vol. 4, p. 31-37, 2009.
- [4] Rocha, A. P. T. *Estudo do processo de recobrimento contínuo de extratos fitoterápicos secos em leito de jorro*. Campina Grande: PPG – Engenharia de Processos, UFCG, 2006. (Tese de Doutorado).
- [5] Silva, O. S. *Desenvolvimento do processo de recobrimento e secagem de microgrânulos em leito fluidizado*. PPG-EQ – UNICAMP, 2003. (Tese de Doutorado).
- [6] Almeida, C.; Rocha, S. C. S. Eficiência do processo de recobrimento de sementes de brócolos recobertas com polímero em leito de jorro. *Engenharia Agrícola*, v. 28, 2008.
- [7] Rocha, A. P. T., Silva, O. S., Alsina, O. L. S. Estudo da influência da carga de grânulos de quebra-pedra na fluidodinâmica do leito de jorro. *XXXIII Congresso Brasileiro de Sistemas Particulados – Enemp*. 2007.
- [8] Cury, B. S. F.; Silva Júnior, N. P.; Castro, A.D. Influência das propriedades de granulados de celulose nas características físicas dos comprimidos. *Rev. Ciênc. Farm. Básica Apl.*, v. 29, n.1, p. 37-44, 2008.
- [9] Calado, V.; Montgomery, D. *Planejamento de Experimentos usando o Statistica*, 1ª ed., 2003.