

## A Atomização como Processo de Obtenção de Pós para a Indústria Cerâmica

**Manuel J. Ribeiro<sup>1</sup>, José M. Ventura<sup>2</sup> e João A. Labrincha<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>ESTG, Instituto Politécnico de Viana do Castelo, 4900 Viana do Castelo - Portugal

<sup>2</sup>Departamento de Engenharia Cerâmica e do Vidro, UIMC, Universidade de Aveiro  
3800-193 Aveiro - Portugal – e-mail: ribeiro@estg.ipv.pt

**Resumo:** Neste trabalho apresentam-se uma série de resultados que procuram explicar a influência de alguns parâmetros experimentais do processo de atomização nas características finais dos pós obtidos.

Para isto usou-se uma suspensão de argila vermelha (Negro Campos), previamente preparada, e fizeram-se sucessivas alterações das condições de atomização, nomeadamente em termos de: características da barbotina (densidade e viscosidade), diâmetro do bico, características da espiral de pulverização, pressão de bombeamento e temperatura na câmara de atomização.

**Palavras-chaves:** atomização, parâmetros do processo

### 1 - Introdução

Resumidamente, pode-se afirmar que a atomização consiste na transformação de uma suspensão aquosa de partículas sólidas (denominada na cerâmica por “barbotina”) em partículas secas, a partir da pulverização da suspensão no interior de uma câmara aquecida (atomizador). O produto resultante pode ser constituído por pó, grânulos ou aglomerados de grânulos mais pequenos. A forma destas partículas depende muito das propriedades físicas e químicas da suspensão, das características do atomizador e das condições de operação.

O processo de atomização é uma técnica de obtenção de pós utilizada em muitas indústrias, como as de plásticos, resinas, detergentes, pesticidas, corantes (pigmentos), fertilizantes, produtos alimentícios (leite em pó, café solúvel, extratos de plantas, etc.), produtos farmacêuticos e também na cerâmica<sup>1</sup>.

Na fabricação de produtos cerâmicos, a atomização teve início em meados da década de 50 e atualmente mais de 50% do volume total Europeu de pavimentos, revestimentos e cerâmicas elétricas são feitos a partir da prensagem de pós atomizados. Mais recentemente o surgimento da prensagem isostática na produção de artigos de louça doméstica (pratos) introduziu também a atomização neste subramo da indústria cerâmica (essencialmente nos produtos

de porcelana).

A barbotina, habitualmente composta por partículas sólidas em suspensão aquosa suficientemente dispersas (defloculada), é bombeada para um sistema dispersor, localizado no interior de uma câmara de secagem ventilada com ar previamente aquecido, e finamente dividida num elevado número de pequenas gotículas<sup>2</sup>. Essas gotículas pulverizadas, que rapidamente adquirem uma forma esférica, por ação da forte pressurização exercida e pela tensão superficial, sofrem uma rápida evaporação de água. Os granulados secos resultantes são separados do ar quente e úmido para posterior utilização<sup>3</sup>.

De acordo com Lukasiewicz<sup>2</sup>, uma completa caracterização da suspensão preparada para atomização é vital para manter um bom processo de produção do granulado atomizado. Por outro lado, sendo a atomização um processo contínuo, pode originar com relativa facilidade oscilações na distribuição granulométrica do produto final. Por esse motivo, é aconselhável controlar convenientemente todos os parâmetros de processamento e, de uma forma mais sistemática, durante o período em que é realizada a atomização propriamente dita.

Relativamente ao sistema de dispersão existem três diferentes tipos de atomizadores:

a) *atomizadores rotativos*, constituídos por um disco que trabalha a elevadas velocidades de rotação (superiores a 20000 rpm) através do qual é bombeada a barbotina a

baixa pressão (< 100 psi), Figura 1-A. Este tipo de atomizador permite atingir maiores capacidades produtivas, obter melhor homogeneização do pó e menor desgaste dos componentes de pulverização. O tamanho das partículas obtidas é inversamente proporcional à velocidade e ao diâmetro dos discos.

b) *atomizadores de bicos de pressão*, que funcionam com uma lança em cuja extremidade se encontra um bico pulverizador, que poderá ter diferentes diâmetros de abertura (Figura 1-B). Estes atomizadores produzem pós com distribuição granulométrica menos homogênea e com tamanhos inversamente proporcionais à pressão de bombeamento. A quantidade de pó atomizada está limitada pelo tamanho do orifício do bico e é proporcional à pressão aplicada. Uma vez que o jato responsável pela pulverização imprime elevadas velocidades verticais na barbotina, as câmaras deste tipo de atomizadores são em geral mais longas.

c) *atomizadores pneumáticos*, em que a pulverização da barbotina é feita também através de um bico, no interior do qual se dá uma mistura com ar comprimido injetado à elevada velocidade. Este sistema originou maior eficiência na atomização, embora não seja tão versátil como os atomizadores de bicos de pressão<sup>2</sup>. São normalmente empregados para utilizações de pequena escala (menos de 50 Kg/h) e especialmente para suspensões com valores de viscosidade e de densidade demasiadamente elevados.

No que diz respeito à forma de contato entre as partículas pulverizadas e o ar de secagem são utilizados na cerâmica três tipos diferentes de atomizadores: *contra-corrente*, *co-corrente* e *mistos*<sup>1</sup>. As condições de co-corrente ocorrem quando o ar seco entra na câmara de atomização no mesmo sentido de pulverização da barbotina. Neste caso, as pequenas gotículas formadas são expostas ao ar mais quente e mais seco imediatamente após a sua formação. À medida que as partículas atomizadas vão descendo, a velocidade de evaporação vai decrescendo, uma vez que o ar vai se tornando mais frio e úmido. Na cerâmica, os atomizadores em co-corrente são normalmente utilizados com

pulverização em discos rotativos, Figura 1-A<sup>2</sup>.

No sistema em contra-corrente a entrada de ar quente e seco está localizada na parte inferior do atomizador, enquanto que a pulverização da barbotina se dá no topo e em sentido oposto. Contrariamente ao primeiro caso, as gotículas formadas entram primeiramente em contato com o ar mais frio e úmido e, à medida que vão descendo, o ar de contato vai se tornando mais quente e seco.

Os atomizadores mistos combinam as condições dos sistemas de co-corrente e contra-corrente. Inicialmente, a direção do ar quente e seco relativamente à direção das partículas atomizadas é oposta, embora a partir de determinada altura ocorra no mesmo sentido. Este tipo de atomizador, conjuntamente com os de bicos de pressão (Figura 1-B), são muito usados em pequenas unidades laboratoriais ou instalações piloto, uma vez que a trajetória dos granulados atomizados é mais extensa, tornando possível secar convenientemente os grãos em câmaras mais pequenas.

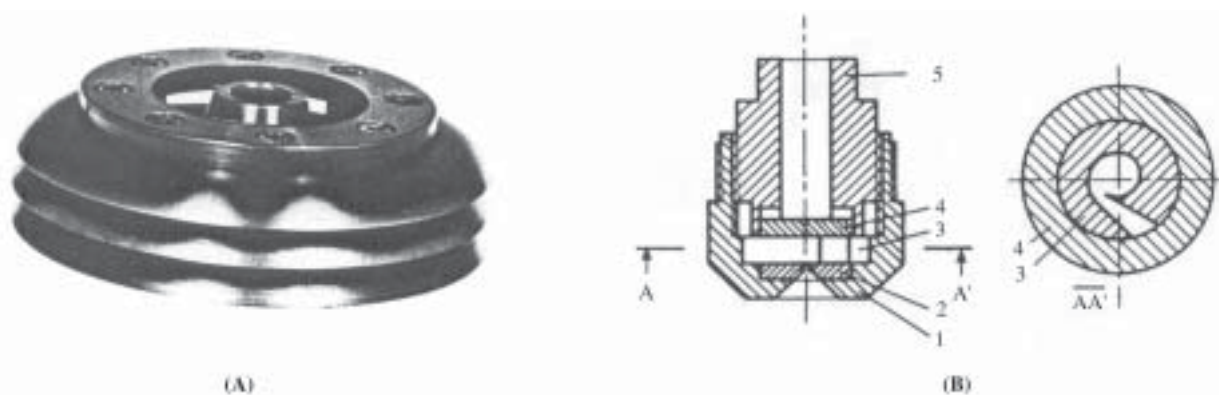
A capacidade de atomização é determinada também pela quantidade de água que poderá ser evaporada por hora, dependendo da quantidade de ar seco envolvido e da temperatura do mesmo<sup>2</sup>. Por outro lado, uma maior fração de sólidos na barbotina resultará num aumento da quantidade de pó na saída e numa diminuição da quantidade de água a ser evaporada, ou seja, num aumento da produtividade do atomizador.

A maioria dos granulados obtidos a partir da atomização de pastas cerâmicas apresentam um oco ou cavidade interna que se deve fundamentalmente a quatro mecanismos<sup>2</sup>:

a) A formação de um filme elástico de baixa permeabilidade ao redor das partículas pulverizadas, que reduz a velocidade de evaporação e origina um aumento da temperatura no interior das partículas atomizadas, provocando o seu “inchamento”.

b) Presença de sais solúveis, que precipitam à superfície dos grãos após fluência para a periferia das partículas seguida de evaporação da água.

c) Migração do líquido contendo sólidos insolúveis

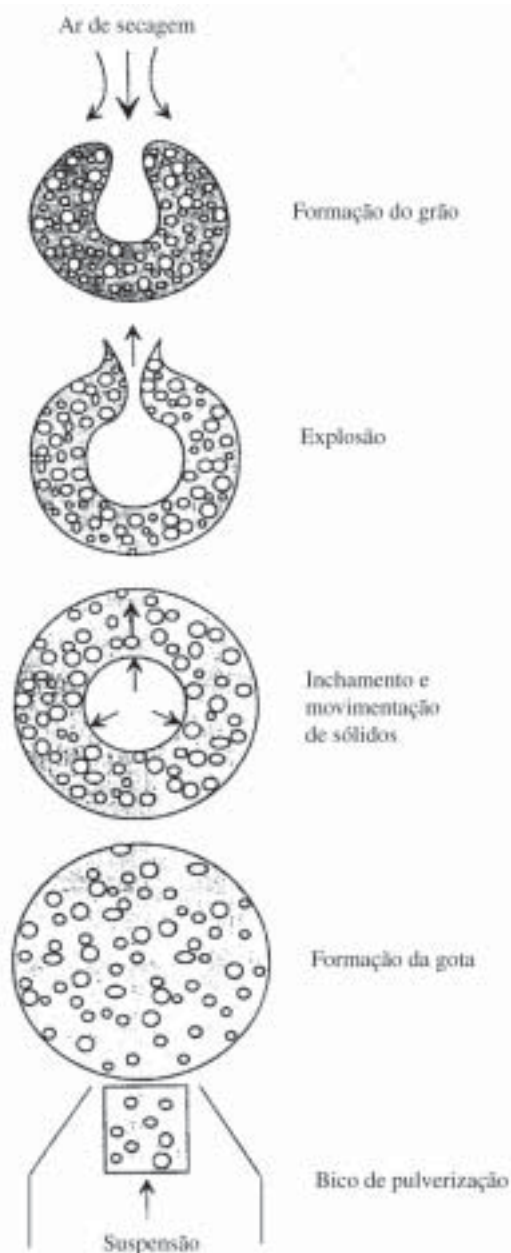


**Figura 1.** Dois diferentes sistemas de dispersão. A - disco rotativo<sup>1</sup>, B - bico de pressão (Legenda: 1- corpo do bico, 2- pastilha furada, 3- espiral, 4- pastilha cega, 5- cilindro)<sup>4</sup>.

(caso típico das suspensões argilosas) para a superfície dos grãos atomizados sob ação da capilaridade, com arrastamento das partículas sólidas. A posterior evaporação origina uma porosidade interna no granulado.

d) Ar retido na barbotina.

A Figura 2 ilustra precisamente a evolução da atomização de um grão cerâmico: 1 - formação da gota logo à saída do bico de pulverização, 2 - evaporação do líquido e inchamento (formação de um “balão” interno), nesta fase existe ainda movimentação das partículas sólidas, 3 - explosão provocada pela elevada pressão interna da fase vapor e 4 - formação da partícula sólida<sup>5</sup>.



**Figura 2.** Representação esquemática da evolução da atomização de um grão cerâmico.

## 2. Resultados experimentais

Para este estudo foi utilizada uma argila vermelha nacional denominada Negro Campos, do distrito de Aveiro (Portugal). A argila foi previamente diluída e defloculada com silicato de sódio, peneirada a 140 mesh e posteriormente atomizada. Como o objetivo principal deste trabalho foi a avaliação da influência de alguns parâmetros de funcionamento do atomizador nas características finais do pó (teor de umidade residual e distribuição granulométrica) fizeram-se variar individualmente as seguintes variáveis: densidade e viscosidade da barbotina, diâmetro do bico do atomizador, pressão de bombeamento e temperatura de atomização.

Todas as atomizações da argila foram realizadas no equipamento da Escola Superior Tecnologia e Gestão do Instituto Politécnico de Viana de Castelo, que inclui um atomizador misto de bico de pressão (Dorst-D35) com uma capacidade de produção máxima de 40 Kg/h (Figura 3).

A Tabela I indica as diferentes condições de atomização testadas, enquanto que a Tabela II apresenta a distribuição granulométrica e a percentagem de umidade dos granulados obtidos.

### 2.1 - Influência da densidade e viscosidade da barbotina

De uma forma geral, o uso de suspensões mais densas possibilita a obtenção de granulados com tamanho de grão superior, uma vez que cada gota pulverizada contém menor quantidade de água a evaporar e maior quantidade de sólidos. No entanto, a adição de ligantes orgânicos solúveis em solução aquosa, necessária para garantir a adequada resistência mecânica a verde das peças compactadas, pode dificultar a operação de defloculação de barbotinas com elevadas densidades.

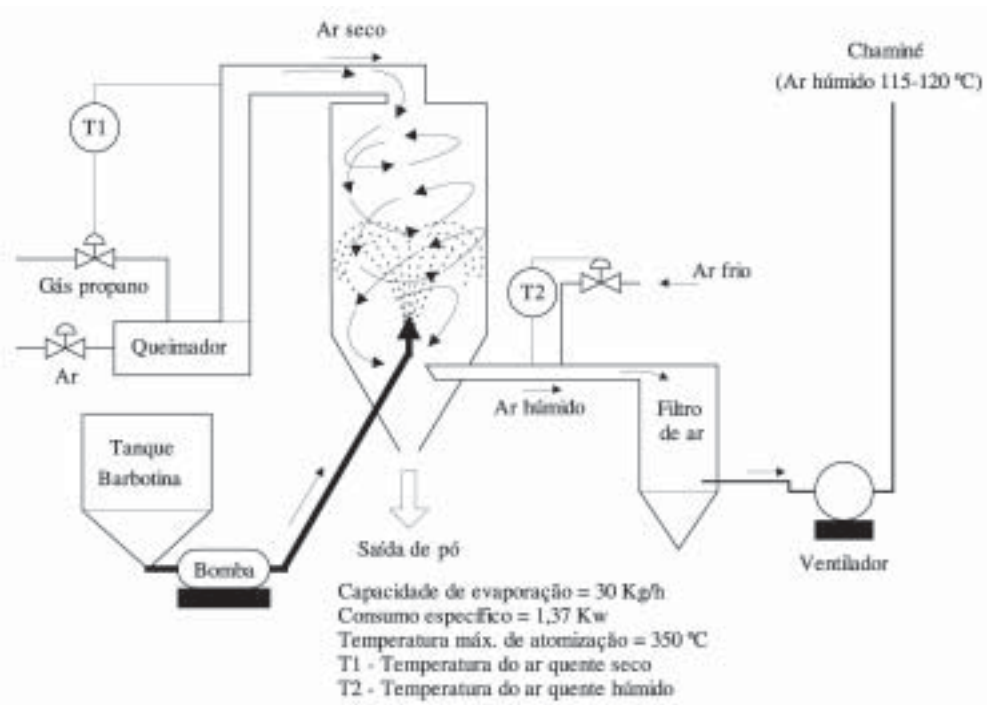
Na prática, pequenas variações no teor de sólidos da barbotina originam alterações significativas no tamanho médio dos grânulos, como facilmente se conclui pelos resultados apresentados na Figura 4.

De uma forma geral, o aumento da viscosidade da barbotina origina engrossamento do grão, (Figura 5). Este efeito relaciona-se com o acréscimo de dificuldades no processo de pulverização, ou seja, com a redução do ângulo de pulverização e a menor capacidade de dispersão.

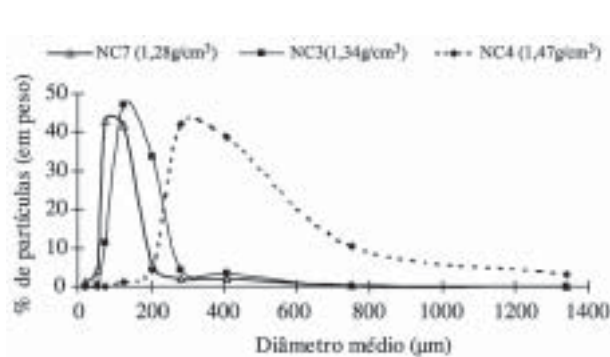
No entanto não é só a viscosidade da barbotina, medida num viscosímetro, que importa considerar, mas o comportamento viscoso durante o bombeamento. O caráter pseudoplástico exibido pela maioria das barbotinas cerâmicas não constitui problema, uma vez que a viscosidade diminui com a agitação. Por outro lado, se a suspensão apresenta um comportamento dilatante, o seu transporte ao longo da tubagem até o sistema de pulverização dá origem a um aumento progressivo da viscosidade, até valores que podem mesmo vir a impedir a própria pulveriza-

**Tabela I.** Condições de atomização em que foram realizados os diversos ensaios com a argila Negro Campos (NC).

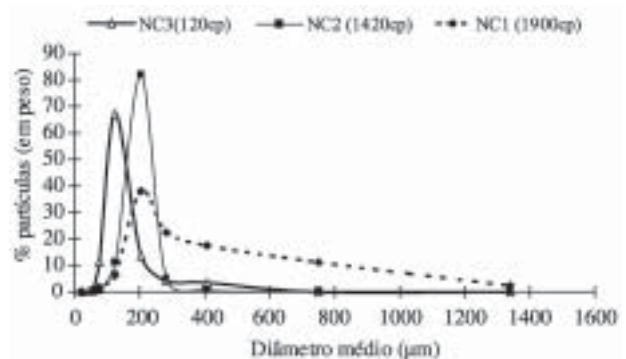
Ensaio	Espessura da espiral (mm)	Ø do bico (mm)	Pressão (bar)	Temperatura (°C)	Densidade (g/cm <sup>3</sup> )	Viscosidade (cp)
NC1	2	0,8	10	290	1,37	1900
NC2	2	0,8	10	290	1,34	1420
NC3	2	0,8	10	290	1,34	120
NC4	2	0,8	10	290	1,47	150
NC5	2	0,8	5	290	1,34	120
NC6	2	0,8	20	290	1,28	120
NC7	2	0,8	10	290	1,28	120
NC8	2	0,4	20	290	1,28	120
NC9	2	0,4	10	170	1,28	120
NC10	2	0,6	20	290	1,29	90
NC11	1	0,8	10	290	1,34	130
NC12	3	0,8	10	290	1,34	130



**Figura 3.** Esquema da montagem utilizada para atomização da argila.



**Figura 4.** Influência da densidade da barbotina na distribuição granulométrica dos granulados (curva de frequência).

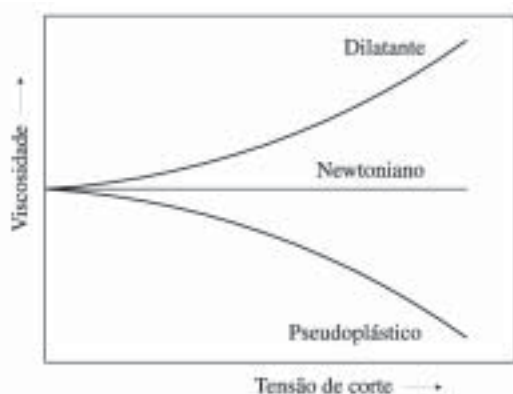


**Figura 5.** Influência da viscosidade da barbotina na distribuição granulométrica dos granulados (curva de frequência).



**Tabela II.** Distribuição granulométrica e porcentagem de umidade dos granulados atomizados.

Ensaio	umidade (%)	%ponderada de partículas								
		< 45 (µm)	45-63 (µm)	63-90 (µm)	90-160 (µm)	160-250 (µm)	250-315 (µm)	315-500 (µm)	500-1000 (µm)	1000-1680 (µm)
NC1	4,70	0,02	0,32	1,81	6,34	38,09	22,42	17,46	11,15	2,39
NC2	4,46	0,04	0,25	0,32	10,96	82,04	5,15	0,72	0,31	0,21
NC3	2,95	0,05	0,33	11,33	47,10	33,60	4,16	3,38	0,03	0,02
NC4	2,40	0,04	0,08	0,01	1,22	4,18	42,19	38,78	10,32	3,16
NC5	3,12	0,02	0,35	4,48	3,46	39,42	27,26	17,79	6,23	0,99
NC6	5,23	0,29	0,27	1,60	15,05	54,61	21,82	5,01	1,30	0,05
NC7	4,85	1,05	4,14	42,97	41,9	5,76	2,02	2,01	0,15	0
NC8	1,91	1,3	6,03	25,08	47,63	13,65	6,27	0,04	0	0
NC9	7,97	0	0,26	0,44	15,47	67,61	9,33	6,80	0,07	0,02
NC10	2,20	0,39	0,52	1,78	52,10	32,22	12,97	0,01	0,01	0
NC11	3,55	0,5	0,3	9,55	40,66	29,46	10,96	5,34	2,02	1,21
NC12	4,09	0,96	2,52	22,73	50,16	18,12	3,26	2,19	0,04	0,02



**Figura 6.** A viscosidade de uma barbotina em função da tensão de cisalhamento.

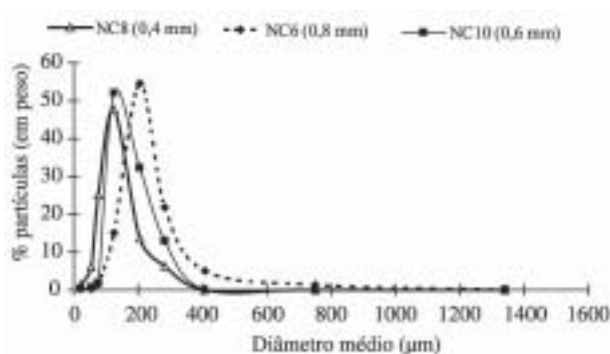
ção<sup>2</sup>, Figura 6.

Em termos de umidade residual, o uso de viscosidades mais elevadas origina valores ligeiramente superiores, uma vez que os tamanhos dos granulados são maiores e a água interior tem que migrar até a superfície de evaporação atravessando uma espessura maior. O ensaio com viscosidade mais elevada (NC1 com 1900 cp) origina granulados com 4,70 % de umidade, contra 2,95 % do ensaio NC3 (com 120 cp de viscosidade).

A variação da densidade da barbotina não origina alterações significativas na umidade do pó. Se, por um lado, densidades mais baixas correspondem a uma maior quantidade de água a remover, por outro lado os grãos formados são muito mais pequenos, sendo o processo de evaporação muito mais favorável. Assim, os valores oscilam entre 2,95 e 1,91 % de umidade, correspondendo este último à menor densidade (1,28 g/cm<sup>3</sup>).

## 2.2 - Influência do diâmetro do orifício do bico de pulverização

A função do bico de pulverização é a de acelerar e de-



**Figura 7.** Influência do diâmetro do orifício de pulverização na distribuição granulométrica dos pós obtidos (curva de frequência).

sintegrar um fluxo de suspensão aquosa, que culmina com a dispersão de uma enorme quantidade de pequenas gotículas na forma de um leque. Os jatos de pulverização formados têm uma forma cônica e podem ser ocos ou não. Deste processo resultam partículas aproximadamente esféricas, de centro oco e de tamanho variável, que caem por ação da gravidade para o fundo da câmara de atomização<sup>1</sup>.

O diâmetro do orifício da pastilha que integra o bico de pulverização interfere também nas características do pó obtido. Mantendo a pressão e as características da barbotina constantes, à medida que se aumenta o diâmetro do furo, aumenta também o ângulo de pulverização, o comprimento do leque e a quantidade de barbotina pulverizada. Segundo K. Masters<sup>1</sup>, o aumento do tamanho médio dos granulados atomizados é proporcional ao quadrado do diâmetro do orifício. Os resultados obtidos nas atomizações com diâmetros de orifício de 0,8 mm, 0,6 mm e 0,4 mm sugerem uma correlação desse tipo, ou seja, aos maiores diâmetros correspondem maiores granulometrias dos pós (Figura 7).

Em relação à porcentagem de umidade são, como era de esperar, as frações mais grosseiras a evidenciar maiores

valores (5,23 % no caso do ensaio NC6) embora os outros dois ensaios apresentem valores muito próximos (2,20 e 1,91 %, respectivamente para NC10 e NC8), em consonância com a proximidade entre o diâmetro médio dos pós.

### 2.3 - Influência das características da espiral

O princípio da atomização por bicos de pressão baseia-se na conversão da energia contida no líquido pressurizado em energia cinética imprimida ao líquido em movimento helicoidal. K. Masters<sup>1</sup> indica que a energia necessária para a pulverização ( $E_p$ ) é expressa pela seguinte equação:

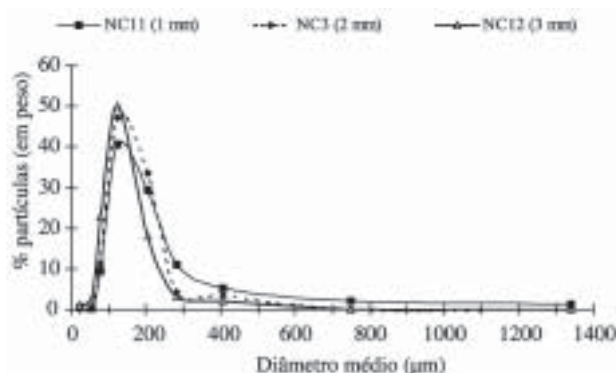
$$E_p = 0,98 Q \Delta P \quad (\text{kW})$$

em que  $Q$  é a vazão de barbotina em  $\text{m}^3/\text{h}$  e  $\Delta P$  é a queda de pressão em Pa.

A conversão da energia contida no líquido pressurizado em energia centrífuga no bico depende das características da espiral utilizada, nomeadamente em termos da sua curvatura e da sua espessura, Figura 8. As espirais mais largas e mais espessas permitem desenvolver maiores veloci-



**Figura 8.** Representação de detalhe da espiral usada num sistema de dispersão por bico de pressão.



**Figura 9.** Influência da espessura da espiral de pulverização na distribuição granulométrica dos pós obtidos (curva de frequência).

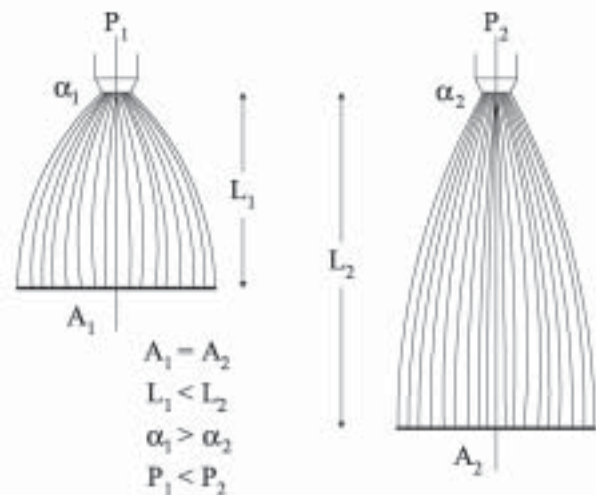
des de saída no fluxo da suspensão, dando origem a uma energia de pulverização mais elevada e conseqüentemente a uma distribuição granulométrica mais fina. Nestas circunstâncias, torna-se possível a utilização de bicos com orifícios mais largos, sem prejuízo da velocidade de saída, e obter o mesmo tipo de granulometrias com maior fluxo de barbotina (o que leva a maiores produções de pó).

A Figura 9 apresenta os resultados obtidos para três diferentes espirais, em que se manteve a mesma abertura e se variaram apenas as respectivas espessuras (de 1, 2 e 3 mm). Da sua observação constata-se a boa semelhança entre as respectivas distribuições granulométricas, o que parece indicar uma influência pouco significativa deste fator. No entanto, menores espessuras de espiral determinam tamanhos de grão ligeiramente maiores e distribuições granulométricas um pouco mais abertas (NC11 com 1 mm de espessura), dada a menor energia de pulverização existente (menor energia centrífuga à saída do bico). Em oposição, maior espessura da espiral origina grãos um pouco mais finos e uma distribuição granulométrica sensivelmente mais apertada.

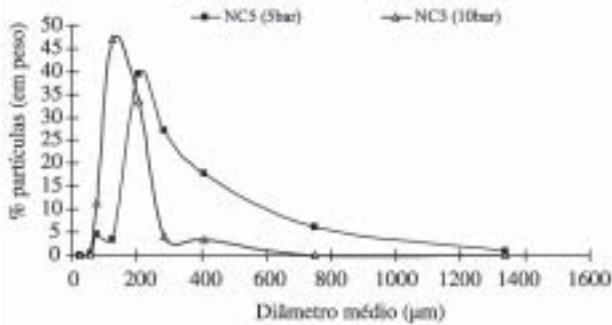
### 2.4 - Influência da pressão de bombeamento

A pressão de bombeamento de alimentação da barbotina ao atomizador influencia fortemente o tamanho final das partículas atomizadas. A elevada energia obtida com grandes pressões causa redução do tamanho dos grânulos. Por outro lado, o ângulo do leque de pulverização ( $\alpha$ ) diminui enquanto que o seu comprimento ( $L$ ) aumenta (Figura 10).

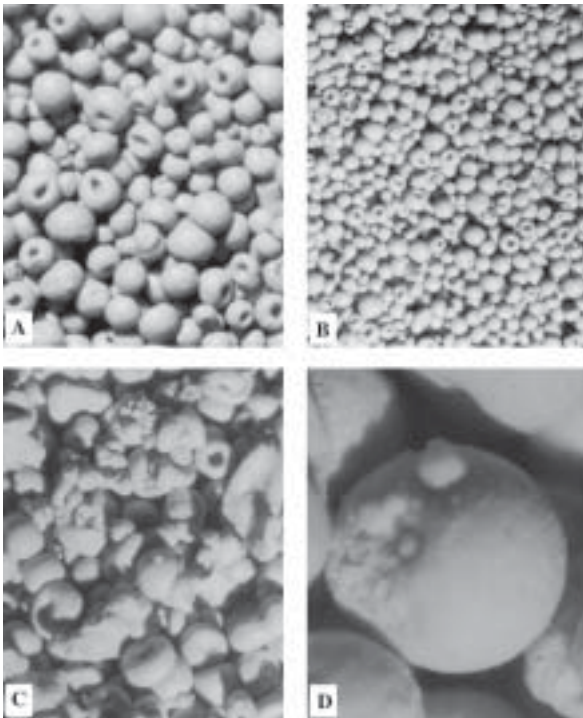
Em atomizações efetuadas a baixa pressão (5 bar, valor mínimo que garante a formação de um leque de pulverização) obtêm-se granulados mais grosseiros (Figura 11) e a produtividade é muito reduzida. Além disso a distribuição bimodal apresentada na Figura 11 sugere uma pulve-



**Figura 10.** Efeito da pressão de bombeamento ( $P$ ) no leque de pulverização.



**Figura 11.** Influência da pressão de bombeamento na distribuição granulométrica dos pós obtidos (curva de frequência).



**Figura 12.** Fotografias de alguns dos granulos obtidos. A- Ensaio NC1 com ampliação de 33 X. B- Ensaio NC7 com ampliação de 33 X. C- Ensaio NC9 com ampliação de 33 X. D- Detalhe de um granulo do ensaio NC9 com ampliação de 108 X.

rização menos eficaz, originando grãos pequenos soltos e quantidades elevadas de diferentes aglomerados.

Embora a umidade dos granulos atomizados com menor pressão de bombeamento seja superior, devido ao maior tamanho dos pós, a diferença é muito pouco significativa (3,12 e 2,95 %, respectivamente para os ensaios a 5 e 10 bar).

#### 2.4 - Influência da temperatura

A temperatura da câmara de atomização determina a percentagem de umidade do pó na saída e em casos extre-

mos pode também condicionar o tamanho final dos granulos, não por interferir diretamente no processo de pulverização mas sim por promover a aglomeração de grãos mais finos e úmidos. Esta situação está bem evidenciada no ensaio NC9, realizado a uma temperatura consideravelmente inferior (170 °C contra 290 °C para os restantes ensaios), durante o qual uma elevada quantidade de grãos ficaram retidos nas paredes da câmara de atomização e os que saíram mostram um elevado grau de aglomeração (imagens da Figura 12 C e D). Neste ensaio a maioria dos granulos é constituída por aglomerados de grãos de diferentes tamanhos, possuindo uma forma muito irregular e pouco característica de pós argilosos atomizados, como se pode concluir por comparação com as fotografias A (290 °C) e C (170 °C) Figura 12.

### 3. Conclusão

Os resultados experimentais permitiram avaliar a influência de algumas das variáveis da atomização na percentagem de umidade dos pós e na sua distribuição granulométrica. As características da barbotina (densidade e viscosidade), o diâmetro do bico, espessura da espiral de pulverização, a pressão de bombeamento e a temperatura da câmara de atomização foram as variáveis exploradas.

A distribuição granulométrica e o teor de umidade afetam a fluidez dos granulos atomizados durante o processo de preenchimento das cavidades dos moldes de prensagem, podendo alterar a uniformidade de distribuição no molde e, conseqüentemente, a homogeneidade, resistência mecânica e regularidade do produto prensado.

Relativamente à percentagem de umidade dos pós, importa referir que as variações obtidas estão em concordância com as alterações verificadas em termos de tamanho dos granulos. A exceção foi registrada no ensaio de diminuição da temperatura, sendo as diferenças pouco significativas.

### 4. Referências Bibliográficas

1. K. Masters, "Spray Drying Handbook", 4ª ed. Wiley, New York, 1990.
2. S. J. Lukasiewicz, "Spray-Drying Ceramic Powders", *J. Am. Ceram. Soc.*, 72 (4) 617-624, 1989.
3. Fiora e G. Aiazzi, "La Stoviglieria", Faenza Editrice, 1988.
4. A.T. Fonseca, "Tecnologia do Processamento Cerâmico", ed. Universidade Aberta, 2000.
5. X.Q. Cao, R. Vassen, S. Schwartz, W. Jungen, F. Tietz e D. Stöver, "Spray-drying of Ceramics for Plasma-spray Coating", *Jour. of European Cer. Soc.*, 20, 2433-2439, 2000.