



BR7701224

**CONTRIBUIÇÃO AO ESTUDO DE COMPACTABILIDADE
DE PÓS DE UO_2**

**Clovis Rolim Galvão, Erberto Francisco Gentile
Tharciso D. De Souza Santos e Heliton Motta Haydt**

**PUBLICAÇÃO IEA 437
CMN 59**

OUTUBRO/1976

**CONTRIBUIÇÃO AO ESTUDO DE COMPACTABILIDADE
DE PÓS DE UO_2**

**Clovis Rolim Galvão, Erberto Francisco Gentile
Tharcisio D. De Souza Santos e Heliton Motta Haydt**

**COORDENADORIA DE METALURGIA NUCLEAR
(CMN)**

**INSTITUTO DE ENERGIA ATÔMICA
SÃO PAULO – BRASIL**

APROVADO PARA PUBLICAÇÃO EM MAIO/1978

CONSELHO DELIBERATIVO

Engº Hélcio Modesto da Costa

Engº Ivano Humbert Marchesi

Prof. Admar Cervellini

Prof. Sérgio Mascarenhas de Oliveira

Dr. Klaus Reinech

Dr. Roberto Dutra Vaz

SUPERINTENDENTE

Prof. Dr. Rômulo Ribeiro Pieroni

INSTITUTO DE ENERGIA ATÔMICA
Caixa Postal 11.049 (Pinheiros)
Cidade Universitária "Armendo de Salles Oliveira"
SÃO PAULO - BRASIL

NOTA: Este trabalho foi conferido pelo autor depois de composto e sua redação está conforme o original, sem qualquer correção ou mudança.

CONTRIBUIÇÃO AO ESTUDO DE COMPACTABILIDADE DE PÓS DE UO_2 (1)

Clovis Rolim Galvão⁽²⁾, Erberto Francisco Gentile⁽³⁾,
Tharcisio D. De Souza Santos⁽⁴⁾ e Heliton Motta Haydt⁽⁵⁾

RESUMO

Na presente contribuição os autores procuram estabelecer os parâmetros que envolvem o processo de compactação de pós UO_2 , objetivando obtenção de pastilhas em escala piloto com alto nível de qualidade. Por isso foram selecionados três tipos de pós com características marcadamente diferentes.

Além de ter sido possível determinar os fatores relevantes que envolvem o processo, foi proposto um índice de compactabilidade com vistas à quantificação de qualidade do pó para a compactação automática. Esse índice apresentou coerência com os resultados obtidos nas experiências em que procurou-se levantar dados de energia absorvida pelo compactado durante o processo.

1 - INTRODUÇÃO

A Coordenadoria de Metalurgia Nuclear do Instituto de Energia Atômica está desenvolvendo um extenso programa no que se refere à fabricação de elementos combustíveis nucleares para reatores de potência. Atualmente, uma das principais linhas de combustíveis nucleares é a utilização de pastilhas de UO_2 em tubos de liga Zircalloy.

A Coordenadoria está particularmente interessada na produção dessas pastilhas em escala piloto⁽⁵⁾, mantendo as mesmas, dentro de um rígido controle que obedece especificações e padrões internacionais. Com esse objetivo foi desenvolvido um trabalho de pesquisa tecnológica no sentido de se obter todas as variáveis importantes que influenciavam as características das pastilhas bem como os dados necessários para projetar matrizes para as prensas de compactação utilizadas na usina piloto da Coordenadoria.

O estudo experimental tentou estabelecer a correlação entre os seguintes parâmetros: características físicas do pó de UO_2 , pressão de compactação, expansão da pastilha e densidade final do compactado.

Um dos objetivos do trabalho era estabelecer também um índice de compactabilidade de pós que intercorrelacionasse todas essas características de uma maneira quantitativa, facilitando a classificação dos diversos tipos de pós quanto à sua dificuldade de compactação.

(1) Trabalho apresentado no 30º Congresso Anual da Associação Brasileira de Metais, Rio de Janeiro, RJ, 29 de junho a 4 de julho de 1975.

(2) Engenheiro Mecânico, EPUSP, Coordenadoria de Metalurgia Nuclear, Instituto de Energia Atômica, São Paulo, SP.

(3) Membro da ABM; Mestre em Engenharia (Engenharia Metalúrgica); Supervisor de Agrupamento, Coordenadoria de Metalurgia Nuclear, Instituto de Energia Atômica, São Paulo, SP.

(4) Membro Honorário da ABM; Professor Catedrático, Departamento de Engenharia Metalúrgica, Escola Politécnica USP, Coordenador Geral, Coordenadoria de Metalurgia Nuclear, Instituto de Energia Atômica, São Paulo, SP.

(5) Membro da ABM; Doutor em Engenharia (Engenharia Metalúrgica); Coordenador de Área; Coordenadoria de Metalurgia Nuclear, Instituto de Energia Atômica, São Paulo, SP.

2 – CARACTERÍSTICAS DA COMPACTAÇÃO

O processo de compactação é levado a efeito em prensas automáticas do tipo Stokes de duplo efeito com matriz fixa.

Esse tipo de prensa possibilita variação no tempo do ciclo e no esforço de prensagem por utilização de um sistema mecânico hidráulico que absorve o esforço superior ao previamente estabelecido. Com isso sempre tem-se a pressão constante de compactação e por conseguinte obtêm-se pastilhas com densidades constantes.

A tabela I apresenta as principais características da prensa

Deve-se ressaltar que a densidade a verde das pastilhas (densidade das pastilhas como compactadas) é muito importante para obtenção das pastilhas sinterizadas dentro das especificações, sendo, talvez este o parâmetro um dos mais importantes, tendo-se em vista o ciclo de sinterização do UO_2 (2,3).

Dada as características inerente do pó cerâmico, o UO_2 em pó apresenta dificuldades intrínsecas de compactação, uma vez que apresenta baixa deformabilidade e baixíssimo índice de caldeamento entre partículas. Portanto a conformabilidade do pó de UO_2 deverá ser função da distribuição granulométrica dos grãos ou partículas assim como ao atrito recíproco entre os mesmos e resistência intrínseca.

Tabela I

Características da prensa automática Stokes

- | |
|---|
| <ul style="list-style-type: none"> - esforço máximo: 30 t - velocidade de operação: 10 pastilhas por min por cavidade - nº de cavidades em operação: 1 - diâmetro do furo da matriz: 11,80 mm - nº de cavidades máximo estimado: 5 cavidades - equalizador: hidráulico, agindo no punção inferior - alimentação: gravi-mecânica - extração da pastilha: punção inferior |
|---|

Comumente, dada as dificuldades apresentadas, o processo de compactação pode ser efetuado com pó de UO_2 no qual é adicionado aglomerantes para compensar a falta de caldeamento entre grãos, e lubrificantes, para diminuir o atrito entre paredes da matriz e a pastilha compactada. No entanto, o ideal é minimizar a utilização dessas adições no caso de ser necessário alta densidade para as pastilhas de UO_2 . Com isso é normal encontrar-se diversos defeitos nas pastilhas compactadas, tais como: laminação, Figura 1 devido à retenção de ar, excesso de pressão, etc.; perda das bases da pastilha, devido à umidade exagerada na lubrificação, falta de lubrificação, etc.; trincas transversais, Figura 2, devido alta velocidade de saída, expansão exagerada, excesso de pressão, etc.

Pode-se imaginar a complexidade dos problemas criados quando passa-se a produções da ordem de 10 pastilhas por minuto por cavidade de matriz, aliado à diversificada qualidade de pós de UO_2 produzidos em escala piloto.

3 – ESTUDO SISTEMÁTICO DAS CARACTERÍSTICAS DOS PÓS

A primeira parte do estudo cingiu-se ao aspecto das características dos pós de UO_2 existente para a compactação. Sendo de conhecimento que a análise química era constante para os pós de UO_2 foi feito apenas os controles físicos que estão relacionados na tabela II.

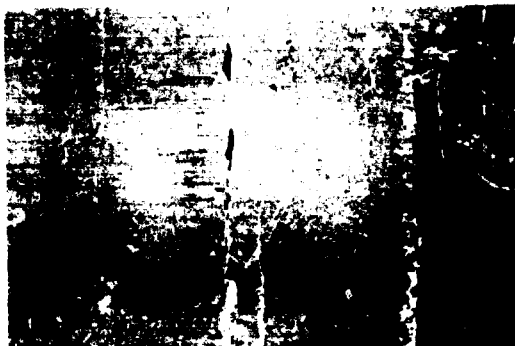


Figura 1 – Aspecto da superfície de pastilha de UO_2 , que se apresenta com uma série de trincas transversais e paralelas, denominado de "laminação". Aumento: 6 X.

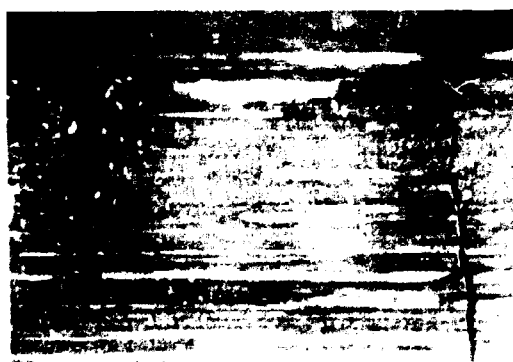


Figura 2 – Aspecto da superfície de pastilha de UO_2 trincada durante a extração da mesma, da matriz onde foi compactada. Aumento: 6 X.

Outros parâmetros importantes que foram estudados, ao lado desses característicos, são: distribuição granulométrica a qual está ligada diretamente a arranjos compactos, e forma dos grãos, ligando também ao aspecto de maior compacticidade do arranjo entre os mesmos⁽⁴⁾.

Tabela II
Característicos físicos dos pós de UO_2

Propriedades Tipos de UO_2	Diâmetro médio Fischer (μ)	Relação O/U	Densidades		
			Solta (g/cm^3)	Batida (g/cm^3)	Limite (g/cm^3)
$UO_2 - 78$	1,25	2,055	2,0	2,7	3,2
$UO_2 - G$	0,91	2,044	2,1	2,5	3,3
$UO_2 - C$	1,25	2,014	1,7	2,1	3,1

A distribuição granulométrica do pó está ligada diretamente a maior ou menor densidade solta e por conseguinte a maior ou menor possibilidade de retenção de ar durante a operação de compactação. Ao lado desse aspecto, uma grande porcentagem de pós finos (-200 malhas por polegada linear) ocasionará um melhor acabamento superficial das pastilhas a verde e conseqüentemente da pastilha sinterizada. Este fato não implica na obtenção de uma densidade maior na sinterização⁽¹⁾

Para as prensas automáticas sob outro aspecto é muito importante analisar se granulometria, se por um lado o pó, com grande porcentagem de finos dá ótimo acabamento superficial, pelo outro acarreta uma baixa escoabilidade, o que dificultará o preenchimento da cavidade da matriz, Figuras 3, 4 e 5.



Figura 3 – Micrografia eletrônica de um grânulo de pó de UO_2 do tipo 78-2, empregado na determinação de compactabilidade do UO_2 . Aumento: 4500 X

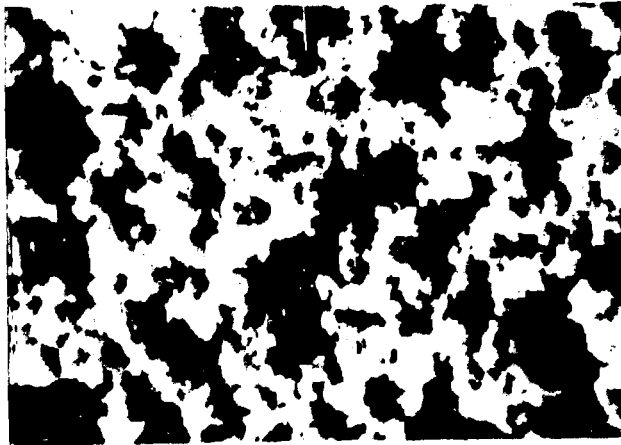


Figura 4 – Micrografia eletrônica de grânulos de pó de UO_2 do tipo "G", apresentando os aspectos característicos de aglomerados. Aumento 1000 X

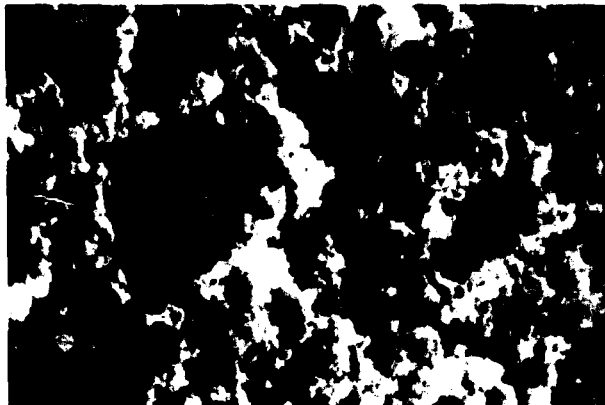


Figura 5 – Micrografia eletrônica de UO_2 tipo "C", mostrando aglomerados característicos de pó extremamente finos. Aumento: 1400 X.

Esse problema teve como primeira tentativa de solução a utilização de granulação para o pó fino (Figura 6), o que melhorou a escoabilidade porém ocasionou a formação de trincas superficiais nas pastilhas após a sinterização, além de apresentar uma superfície extremamente rugosa fazendo que essa solução fosse afastada. A Figura 7 mostra um aspecto da superfície da pastilha confeccionada com pó de UO_2 granulado previamente.

Provavelmente as trincas têm origem no mau acomodamento dos grânulos entre si, que devido à má distribuição granulométrica, apresenta grande deformação durante a prensagem. O que se pode prever devido a grande densidade alcançada por essas pastilhas no estado como compactada. No entanto, seria grande porosidade esperado uma vez que a distribuição granulométrica é fechada e, portanto passível de formação de poros internos.

Quanto à forma dos grãos, pode-se verificar que há uma influência marcante para os pós com grãos que fogem à forma esférica, passando para a prismática, por ser bem mais difícil a acomodação das partículas no arranjo mais compacto.

Um modo simples de verificar essas duas variáveis (forma e distribuição granulométrica) é observar como evoluem a densidade de solta para limite, dos pós a seus compactados.

O diâmetro médio dado pelo ensaio Fischer nos dá uma boa informação sobre a porosidade do grão do pó e com isso dá a resistência mecânica do mesmo. Isso torna-se importante à medida que foi de interesse controlar o processo de deformação elástica da pastilha, ou seja, o aumento de dimensões quando retirada da matriz.

A partir da tabela II pode-se inferir que o pó UO_2 -78 e o UO_2 -G devem apresentar ótima distribuição granulométrica devido as suas densidades soltas e limites e que o pó UO_2 -G possui menor resistência mecânica, devendo apresentar menor expansão na matriz de compactação. Por outro lado, a relação O/U nos mostra uma certa oxidação dos pós UO_2 -78 e G em relação ao UO_2 -C. Essa oxidação tem-se mostrado benéfica no processo de compactação, talvez por provocar um aumento do atrito interno entre grãos.



Figura 6 – Macrografia de pó de UO_2 granulado em peneira de 20 malhas por polegada linear. Aumento: 30 X.



Figura 7 – Macrografia da superfície de uma pastilha fabricada com pó de UO_2 granulado, apresentando as heterogeneidades resultantes do emprêgo da granulação. Aumento: 10 X.

4 – ÍNDICE DE COMPACTABILIDADE

Durante o estudo desenvolvido procurou-se estabelecer um índice que pudesse quantificar as qualidades que o pó UO_2 possuísse quanto à capacidade de ser compactado em matriz de dupla ação.

Com esse objetivo agrupou-se as variáveis que influenciam diretamente a compactação do UO_2 em pó e observou-se o comportamento das mesmas durante a compactação. As variáveis eram: densidade solta e limite do pó; forma e distribuição granulométrica do pó; presença ou não de aglomerante e lubrificantes; velocidade de compactação; pressão de compactação e densidade final do compactado.

Nas experiências realizadas, usando-se os pós já caracterizados nos itens anteriores, sem utilizar aglomerante, usando apenas 0,5% de lubrificante em massa e fixando as outras variáveis, chegou-se à conclusão de que o intervalo ótimo de densidade solta do pó é de $1,9 \pm 0,2 \text{ g/cm}^3$, para o tipo de prensa em questão.

As outras variáveis interagem de diversas maneiras a pressão de compactação e a densidade do compactado estão intrinsicamente ligadas, isto é, quanto maior a pressão maior a densidade, Figura 8, havendo apenas uma limitação dada pela plasticidade do compactado que, quando ultrapassado de certa deformação acarreta ruptura do mesmo.

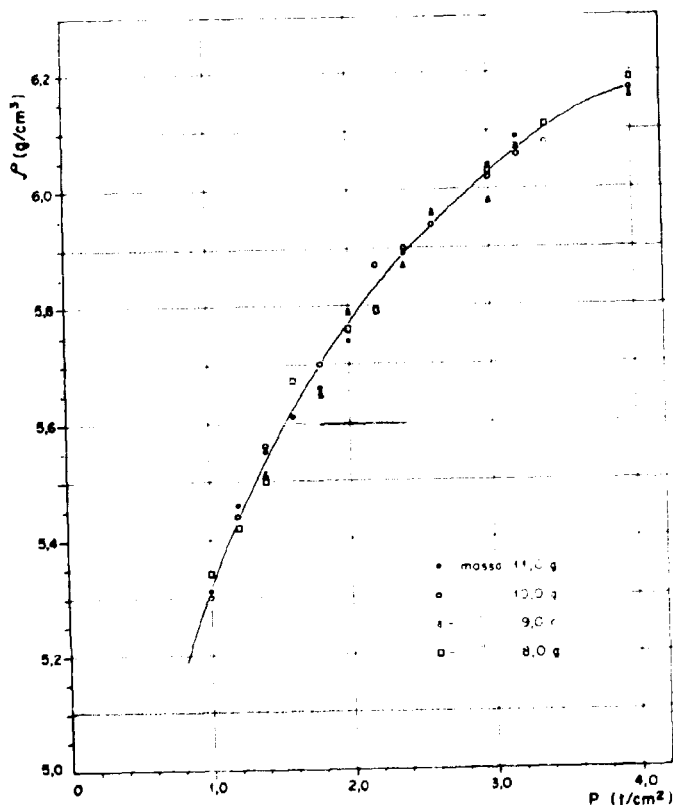


Figura 8 -- Gráfico representativo da densidade obtida em função da pressão empregada para várias massas compactadas

O lubrificante, na proporção usada, tem efeito maior sobre a vida da matriz e acabamento superficial do compactado, do que da pastilha em si.

A velocidade de compactação dentro do intervalo experimentado, isto é, de 1 a 12 pastilhas por minuto, só tinha influência marcante nos pós de baixa compactabilidade e que poderia ser minimizada pelo uso de um aglomerante.

Esse índice representa uma comparação relativa entre o pó em estudo e o melhor pó para compactação, desenvolvido nesse Instituto, isto é, confronto entre pó padrão de partículas facilmente acomodáveis na prensagem com outros cujas partículas podem se arranjar com maiores dificuldades.

As variáveis significativas apontadas foram correlacionadas pela expressão abaixo, sabendo-se: a) que quanto maior for a facilidade de acomodação das partículas, maior a densidade numa dada pressão, logo e diretamente proporcional; b) que quanto menor a facilidade de acomodação, maior a pressão necessária para atingir uma dada densidade. Logo:

$$IC = K \frac{(\rho - \rho_s)}{p^n}$$

onde:

IC = índice de compactabilidade

K = índice de proporcionalidade, função apenas da qualidade do pó padrão

ρ = densidade do compactado, que para o UO₂ deverá estar entre 5,0 a 6,0 g/cm³

ρ_s = densidade solta do pó (g/cm³)

P = pressão de compactação (t/cm²)

n = nº puro, calculado para um pó padrão de alta compactabilidade, ou seja, pó que fornece compactados de alta densidade mesmo com baixas pressões

Para os ensaios levados a efeito com os pós disponíveis chegou-se à seguinte expressão:

$$IC = 29,3 \cdot \frac{(\rho - \rho_s)}{p^n}$$

Os valores K e n foram encontrados para um índice de compactabilidade IC = 100,0 definido para pó de alta compactabilidade.

Os resultados dos ensaios podem ser agrupados em classes de qualidade apresentada na tabela III.

Tabela III

Classificação dos pós quanto as suas qualidades de compactação

IC	Qualidade p/compactação	OBSERVAÇÕES
acima de 105,0	ótima	Sempre compactados c/ alta densidade sob quaisquer condições
105,0 – 095,0	boa	Sempre compactada o efeito da velocidade é irrelevante
095,0 – 085,0	regular	Compactados geralmente com baixa densidade com pressão relativa alta
menor que 085,0	má	Difícil de ser compactado densidade muito baixa para altas pressões. Exige condições especiais.

Recomenda-se para maior precisão de cálculo do índice de compactabilidade no caso de pó de UO_2 tipo DUA-N em alta produção, usar pressões de $1,2\text{ t/cm}^2$ a $2,5\text{ t/cm}^2$. Esse índice mede quantitativamente a capacidade de acomodação de um dado pó sujeito a uma dada pressão, fornecendo uma dada densidade à pastilha a verde.

O índice de compactabilidade, obviamente, só é calculado para pastilhas que estejam perfeitas, sem trincas, pois as mesmas invalidariam a qualidade do pó.

5 – ESTUDO SÓBRE A ENERGIA ENVOLVIDA NO PROCESSO DE COMPACTAÇÃO

A densidade do pó de UO_2 é aumentada com o incremento da pressão ao qual está sujeito. Conforme a Figura 2, existe um valor máximo de pressão, acima do qual há a ruptura de corpo compactado. Esse valor máximo é da ordem de $3,5\text{ t/cm}^2$, dependendo dos característicos do UO_2 usado.

Com a utilização de uma máquina universal de ensaios, marca INSTRON, modelo TT DM-L, e com as próprias matrizes de compactação de pastilhas, conseguiu-se levantar os gráficos de compactação, isto é, esforço aplicado vs. contração axial. Esses resultados podem ser vistos nas Figuras 9 e 10.

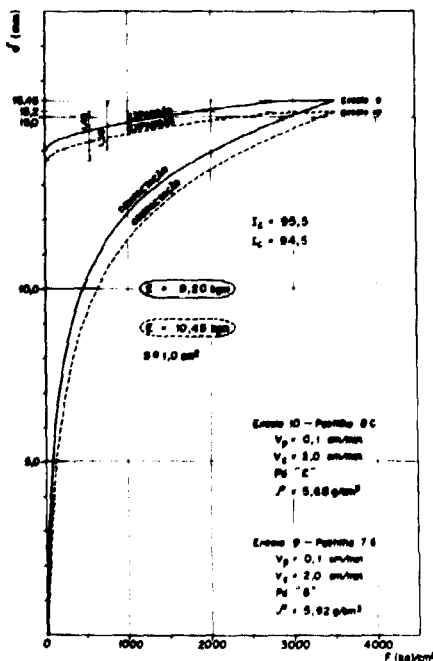
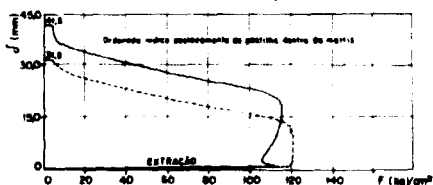


Figura 9 – Aspecto das curvas de compactação e extração de pastilhas de UO_2 , para velocidade de compactação = $0,1\text{ cm/min}$. Pós tipos "G" e "C".

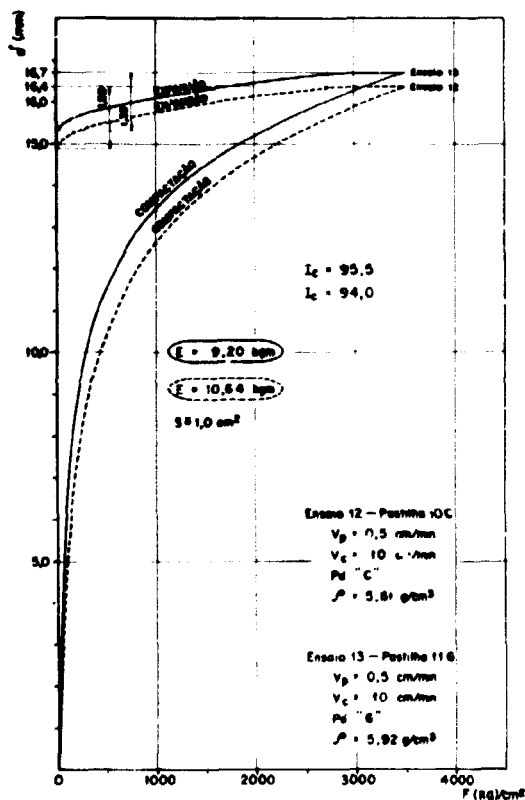
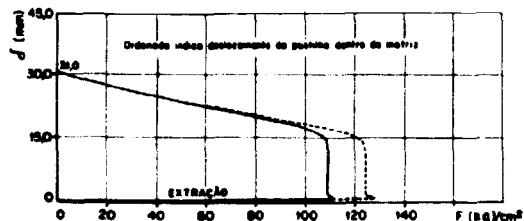


Figura 10 – Aspecto das curvas de compactação e extração de pastilhas de UO_2 , para velocidade de compactação = 0,5 cm/min. Pós tipos "G" e "C".

Para as experiências foram usados pós de UO_2 dos tipos: 1) tipo "C", pó de UO_2 obtido pelo processo DUA-N, classificado por peneiramento em -200 malhas por polegada linear e densidade solta de 1,7 g/cm³; 2) tipo "G", pó de UO_2 obtido pelo processo DUA-N, classificado a -200 malhas por polegada linear e com densidade solta de 1,9 g/cm³.

As tabelas IV e V apresentam os resultados das experiências de compactação efetuadas com os pós acima discriminados.

Os resultados dos ensaios apresentados na tabela IV nos leva a crer que o tipo "G" é superior ao UO_2 tipo "C", para qualquer velocidade de compactação. Mostra ainda que apesar de ser alterado de 5 vezes a velocidade, os I. C. dos pós mantiveram-se constantes e dependentes apenas da qualidade do pó.

Tabela IV

Resumo dos resultados para compactação de UO_2 a diferentes velocidades.

Tipo de UO_2	"G"	"C"	"G"	"C"
Variáveis				
Ensaio	9	10	13	12
Velocidade compactação (cm/min)	0,1	0,1	0,5	0,5
Pressão compactação (t/cm^2)	3,23	3,23	3,23	3,23
Densidade da pastilha (g/cm^3)	5,92	5,68	5,92	5,66
IC	95,5	94,5	95,5	94,0

Tabela V

Cálculo da energia absorvida na compactação

Propriedade	IC	E (Kgm)	Densidade a verde (g/cm^3)
Tipo de UO_2			
C	94,0	10,64	5,66
C	94,5	10,45	5,68
G	95,5	9,2	5,92

Ora, as curvas de compactação (força x deslocamento) fornecem a energia absorvida no processo e pode ser calculada por:

$$E = \int F(\delta) d\delta$$

que não é mais e do que a energia necessária para aglomeração das partículas de UO_2 para resultar o compactado. Esse raciocínio é válido para um processo quase estático, por isso procura-se então minimizar dispersão de energia (calor, ruído, etc) através de velocidades extremamente pequenas.

Observou-se que o UO_2 tipo "G" absorve menos energia para a conformação da pastilha do que o tipo "C", apesar de que a densidade do compactado do pó tipo "G" tenha densidade superior ao outro. Com isso pode-se concluir que para mesmas densidades de compactados com os pós de UO_2 tipos "G" e "C", o do tipo "G" gastará bem menos energia para sua conformação.

A comparação das energias consumidas com os IC mostra que existe uma variação inversa entre os dois, sendo coerentes, pois quanto maior o IC maior é a capacidade de acomodação do pó durante a prensagem e consequentemente menor a energia absorvida

Por outro lado o raciocínio de que a facilidade de acomodação do pó na cavidade da matriz ocasiona densidades a verde altas, leva à conclusão óbvia de que para um mesmo consumo de energia, dará maiores densidades o que se acomode melhor

6 – EXPANSÃO DAS PASTILHAS APOS COMPACTAÇÃO

Apos atingir-se a carga máxima de compactação inicia-se o processo de extração da pastilha da matriz com auxílio do punção inferior. Ao se relaxar a compactação do pó na matriz há uma expansão na direção axial da pastilha

Devido à parte da energia que fica armazenada na pastilha, esta fica sujeita a uma tensão residual, que se manifesta pelo aumento de força de atrito entre parede de matriz e a lateral da pastilha, portanto, as forças de expansão, devido a essa tensão residual, tem direção radial

Durante os ensaios realizados foi observado que variando apenas o tipo de UO_2 , o de maior IC apresenta expansão axial menor, pois a energia acumulada para uma mesma densidade é menor. Isso implica em deformações maiores para UO_2 com IC menores. Para velocidades de compactação maiores mantém-se a mesma tendência, porém notou-se um ligeiro aumento da expansão, devido naturalmente à dificuldade de serem acomodados os grãos em menor tempo e assim as tensões residuais serão maiores.

As tensões residuais armazenadas na pastilha compactada dentro da matriz refletem negativamente na extração. A tabela VI mostra como aquela que absorveu mais energia, precisará de um esforço maior na extração, dando uma probabilidade maior de ruptura por compressão numa secção perto da borda inferior da pastilha como mostra a Figura 11, no início da extração. A somatoria das forças de atrito é aumentada com a tensão residual

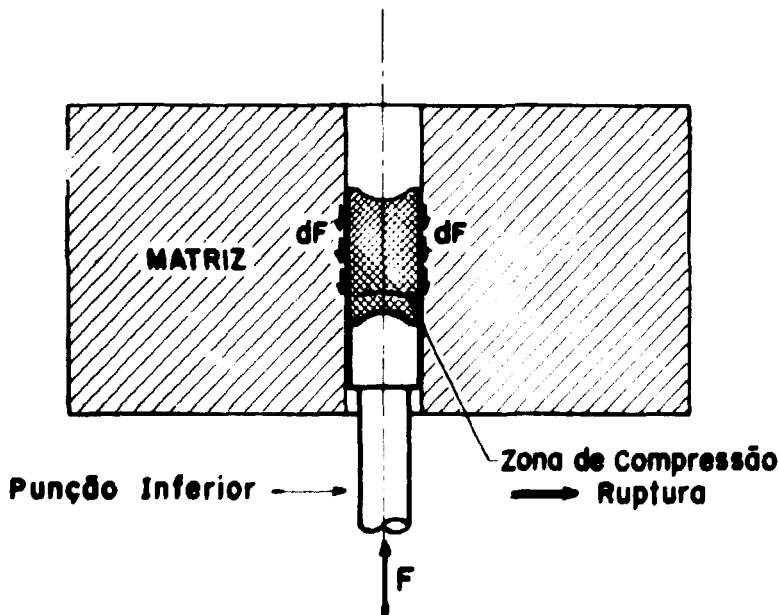


Figura 11 – Esquema do mecanismo pelo qual se julga que haja a ruptura da borda inferior da pastilha, durante o início da extração

O mesmo se pode concluir no caso da expansão axial uma descompressão rápida, usada para alta produção, poderá trincar com maior facilidade aquele pó que mais se expandir, ou seja, o que absorver maior energia que se manifestará elasticamente, isto é, energeticamente é mais instável.

Tabela VI
Resultado dos ensaios sobre expansão de UO_2

Pó de UO_2	Velocidade Compactação (cm/min)	E (Kgm)	Expansão Axial (mm)	IC	Fôrça Extração (Kg *)
G	0,1	9,2	1,30	95,5	117
C	0,1	10,45	1,45	94,5	120
G	0,5	9,2	1,30	95,5	116
C	0,5	10,64	1,50	94,0	124

As pastilhas ao serem extraídas apresentaram uma expansão radial, cerca de 0,1 mm, independente do pó.

7 - CONCLUSÕES

- 1) A distribuição granulométrica do pó de UO_2 mostrou-se de importância fundamental para a operação de compactação em prensas automáticas.
- 2) Um pó de alta compactabilidade absorve menos energia na prensagem e produz menor expansão à relaxação de pressão.
- 3) Um pó de baixa compactabilidade fica sujeito a maiores tensões residuais.
- 4) As tensões residuais, agindo tanto radialmente como axialmente, contribuem para o surgimento de trincas em pastilhas de UO_2 e devem ser minimizadas.
- 5) Um pó de IC alto (alta compactabilidade) possui uma capacidade de acomodação das partículas de UO_2 bastante elevada, contribuindo para o aparecimento de altas densidades, a pressões relativamente baixas, acarretando uma longa vida da ferramenta e da máquina em questão.
- 6) A facilidade de acomodação do pó diminui com o aumento da velocidade de compactação.

ABSTRACT

In this paper the authors try to establish the main parameters involved in the pressing of UO_2 powders with the objective of producing high quality pellets in pilot plant production line. Three different UO_2 powders were studied. The paper describes the methods used and the results obtained. A compressibility indicative number is proposed, aiming a quantitative approach to the UO_2 powder quality level for automatic pressing process. The values of the compressibility number agreed with the results obtained on the absorbed energy tests done under pressing in a Instron machine.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. CHALDER, G. H. et alii. The fabrication and properties of uranium dioxide fuel. In: UNITED NATIONS, Geneva. *Proceedings of the second United Nations international conference on the peaceful uses of atomic energy, held in Geneva 1 September - 13 September 1958*, v 6: *Basic metallurgy and fabrication of fuels*. Geneva, 1958. p.590-604.
2. FOGAÇA FILHO, N et alii. Contribuição ao estudo da sinterabilidade de U_3O_8 por dilatometria. *Metalurgia*, São Paulo, 32:35-40, 1976.
3. HAYDT, H. M et alii. Pastilhas de UO_2 de elevada densidade. *Metalurgia*, São Paulo, 24:139-44, 1968.
4. _____ et alii. Sinterización de dióxido de uranio: influencia de las características de los polvos. In: CENTRO REGIONAL DE AYUDA TÉCNICA, México, D. F. *Una vista interamericana, tecnología de materiales: 2ª conferencia interamericana en tecnología de materiales, 24-27 agosto 1970, México, D. F.* México, D. F., 1970. v.1, p.199-209.
5. SOUZA SANTOS, T. D et alii. Estudo atual dos desenvolvimentos tecnológicos de combustíveis nucleares no IEA. *Metalurgia*, São Paulo, 27:791-800, 1971.

