

DESENVOLVIMENTO DO PROCESSO DE FABRICAÇÃO DE MINIPLACAS COM ALTA CONCENTRAÇÃO DE URÂNIO CONTENDO U_3Si_2

Paulo Ernesto de O. Lainetti, José Antonio B. de Souza, Oswaldo Julio Jr

Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares - IPEN-CNEN/SP
Travessa R, nº 400, C. Universitária - São Paulo-SP-CEP 05508-900

RESUMO

Este trabalho descreve a experiência adquirida no IPEN com a fabricação de miniplacas de U_3Si_2 disperso em alumínio, utilizando-se urânio natural. Este esforço de desenvolvimento está ligado à modernização e ao aumento de potência do reator IEA-R1, proporcionando condições para a produção de uma gama maior de radioisótopos e pesquisas físicas.

I. INTRODUÇÃO

O IPEN realiza no momento um esforço no sentido de ampliar a sua capacidade e flexibilidade na produção de radioisótopos, destacando-se o interesse na obtenção do tecnécio-99, de vasta aplicação na medicina. Este esforço implica no aumento da potência do reator dos atuais 2 MW para 5 MW, assim como alteração do modo de operação, que deve passar de intermitente para contínuo. O aumento de potência também permite maior versatilidade do reator na execução de pesquisas envolvendo testes de materiais, análise por ativação, pesquisas físicas e de difração de nêutrons. Uma das atividades essenciais para tornar estes objetivos possíveis é a fabricação de combustíveis mais avançados, contendo maior carregamento de urânio.

Nos primeiros reatores de pesquisa construídos nos anos 50 e 60 foi empregado urânio com enriquecimentos elevados (90 a 93 % em peso de ^{235}U). Contudo, face aos riscos existentes de proliferação de armas nucleares, restringiu-se mundialmente o fornecimento de urânio altamente enriquecido. A partir daí optou-se pelo emprego de urânio com enriquecimentos da ordem de 20 %. Diversos países realizaram um esforço de desenvolvimento no sentido de aumentar a fração volumétrica da fase dispersa, e analisar o comportamento sob irradiação, tanto dos compostos já empregados generalizadamente (UAl_x e U_3Og) como novos compostos a base de U-Si e U-Fe. A fração volumétrica da fase dispersa subiu dos cerca de 20 % (quando se utilizava urânio altamente enriquecido) até cerca de 45 a 50 %, que correspondem ao atual limite tecnológico de fabricação de combustíveis a base de dispersões (tipo MTR).

O reator IEA-R1, desde 1988, vem sendo mantido em operação por meio da substituição de elementos combustíveis importados, já altamente queimados (até 50 % dos átomos de ^{235}U contidos no E.C. já foram fissionados), por elementos combustíveis fabricados no IPEN, na Coordenadoria de Tecnologia de Combustíveis - MC- do Departamento do Ciclo do Combustível - M. Os elementos fabricados atualmente são constituídos de dispersões de U_3Og em alumínio, com concentrações de urânio de cerca de $1,8 \text{ g/cm}^3$ e aproximadamente 27 % de fração volumétrica da fase dispersa no núcleo. O enriquecimento do urânio empregado nos combustíveis é de $19,90 \pm 0,05 \%$ em peso de ^{235}U . Já foram produzidos até o presente 14 elementos completos (dos quais 3 do tipo controle) e 2 elementos parciais com as características citadas acima. Com a produção destes elementos no país, evitou-se a compra no mercado externo, representando uma economia de divisas superior a US\$ 000 000. Os primeiros elementos constituídos de dispersões U_3Og -Al produzidos no IPEN já apresentam taxas de queima próximas de 20 % (elemento IEA-R1 nº 130 já atingiu 20% de átomos de ^{235}U

queimados), o que atesta um bom desempenho operacional. Na figura 1 pode ser observada a taxa de queima dos diversos elementos que compunham o núcleo do reator em dezembro de 1993 [1].

II. CONSIDERAÇÕES QUANTO AOS COMBUSTÍVEIS COM MAIOR CARREGAMENTO DE U

Atualmente, o reator IEA-R1 trabalha em regime de 8 horas contínuas, potência de 2 MW térmicos e fluxos neutrônicos da ordem de 10^{13} nêutrons/cm²s. Devido às futuras necessidades do reator, em termos de maiores potências (5 MW ou >), fluxos neutrônicos próximos de 10^{14} nêutrons/cm²s e/ou maiores períodos de operação contínua, estão sendo estudados combustíveis alternativos, com maior carregamento de urânio, que possibilitem a viabilização destas modificações.

Cabe frisar que a necessidade de manter o projeto mecânico dos elementos combustíveis, aliada às restrições impostas em termos de fornecimento de urânio altamente enriquecido, determina que as únicas alternativas existentes, para atender as modificações no reator, são:

- aumentar a concentração de urânio dos combustíveis, mantendo-se o composto até agora utilizado, ou seja, o U_3Og -Al. Com este composto é possível atingir, para o limite tecnológico de fabricação atual, cerca de $3,2 \text{ gU/cm}^3$;

- desenvolver novos combustíveis na forma de dispersões que empreguem compostos com densidades de urânio mais elevadas. Neste caso, com o uso do composto U_3Si_2 , são possíveis concentrações de urânio de até $5,1 \text{ g/cm}^3$;

O limite tecnológico de fabricação está associado à máxima fração volumétrica da fase dispersa que pode ser utilizada no combustível. A utilização de limites quanto à máxima fração volumétrica da fase dispersa decorre do aparecimento de problemas no que diz respeito à fabricabilidade, além de ter implicações na posterior resistência dos combustíveis, durante a operação, ao aparecimento de defeitos decorrentes de danos por radiação. Em outras palavras, maiores frações volumétricas da fase dispersa implicam em maiores riscos em termos de desempenho operacional do combustível. Consequentemente, há necessidades maiores em termos de qualificação do combustível para garantir a segurança da operação, como por exemplo: maior número de ensaios não-destrutivos, testes preliminares de irradiação e avaliação do desempenho por meio de análises de pós-irradiação. Um programa de qualificação de combustíveis por meio de testes de irradiação é um processo demorado e, sobretudo, caro.

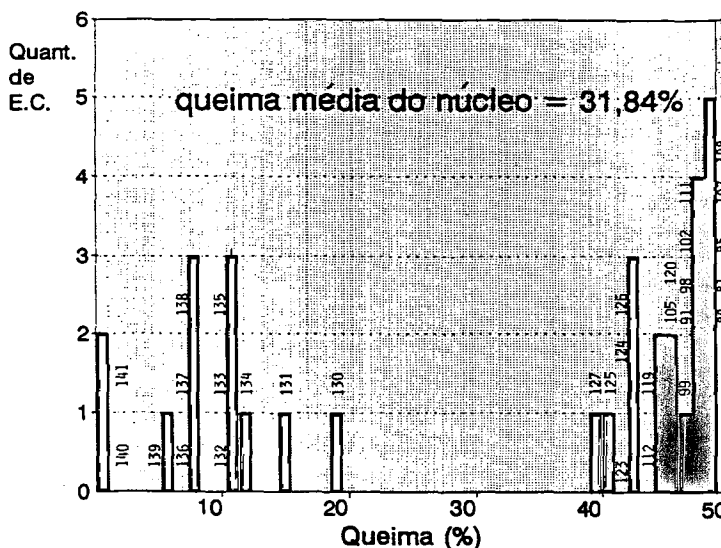


Figura 1 Taxa de queima dos diversos elementos que compunham o núcleo em dez.1993

Levando-se em conta o fato de que a qualificação dos combustíveis, atualmente fabricados no IPEN, realiza-se em operação, ou seja, no próprio reator, de forma gradativa e com monitoração constante, é recomendável que eventuais alterações no combustível sejam executadas com base na experiência já acumulada. A manutenção da fração volumétrica atualmente empregada, já testada até 20% de taxa de queima, é uma forma de garantir um bom desempenho operacional dos futuros combustíveis.

Dessa forma, a única alternativa restante para aumentar-se o conteúdo de urânio dos elementos combustíveis é a substituição do composto. Investigou-se, a nível mundial, paralelamente com o estudo do aumento da fração volumétrica, a possibilidade de utilizarem-se compostos com massa específica de urânio mais elevada. Compostos como o U_3Si_2 , U_3Si , U_3SiAl e U_6Fe , devido à maior massa específica de urânio em relação ao UAl_x e ao U_3O_8 , além de temperaturas de fusão relativamente elevadas, entre outras propriedades, foram considerados promissores e investigados quanto aos processos de fabricação e desempenho sob irradiação [2,3,4,5]. Na tabela 1 são apresentadas as propriedades de alguns compostos de urânio para utilização em combustíveis a dispersões. Em função das suas excelentes propriedades, tais como a massa específica de urânio elevada, relativa facilidade de fabricação e o bom desempenho sob irradiação, o U_3Si_2 foi o composto escolhido para a fabricação dos futuros elementos combustíveis do reator IEA-R1 com concentração de U elevada.

III. FABRICAÇÃO DE MINIPLACAS CONTENDO U_3Si_2

O domínio tecnológico de todas as atividades envolvidas, que vão desde a reversão do UF_6 para o UF_4 , redução deste último a U metálico, preparação do intermetálico U_3Si_2 por meio de técnicas de elaboração de ligas, cominuição do material em atmosfera controlada, otimização da faixa de tamanhos de partículas adequada ao emprego em combustíveis na forma de dispersões, fabricação dos núcleos ou cernes (briquetes) e laminação das placas com utilização da técnica denominada "picture frame", é de fundamental importância para o desenvolvimento dos programas do reator IEA-R1. Além disso, este tipo de combustível representa uma alternativa viável para reatores de pesquisa e testes de materiais, mesmo os que operarem a maiores potências, que venham a ser projetados e construídos no País.

O método empregado atualmente na fabricação das placas combustíveis a base de dispersões baseia-se na obtenção do núcleo por meio de técnicas de metalurgia do pó [6]. Neste caso, pós de U_3Si_2 com propriedades definidas são misturados a pós de alumínio

e, em seguida, compactados, obtendo-se um briquete que constituirá o núcleo das placas combustíveis.

III.1 OBTENÇÃO DA LIGA U_3Si_2

A matéria prima básica de partida, para fabricação dos pós de U_3Si_2 empregados nas dispersões, é o urânio metálico. Este pode ser obtido a partir da redução magnesiotérmica do UF_4 . Este, por sua vez, pode ser obtido da reversão do UF_6 pelas vias seca e úmida, ora em desenvolvimento no IPEN. A reversão via úmida obtém o UF_4 a partir da solução hidrolisada do UF_6 [7], sendo bastante flexível para permitir, com pequenas alterações, a utilização de outras matérias primas de partida.

O CDTN-CNEN de B. Horizonte preparou e forneceu, a partir de urânio metálico natural produzido no IPEN, cerca de 100 g de U_3Si_2 para execução deste desenvolvimento. A liga foi preparada em forno elétrico de indução sob vácuo. As propriedades deste material, após cominuição no IPEN, podem ser observadas na tabela 2. Na figura 2 é apresentado um difratograma da liga. Paralelamente, vem sendo desenvolvida a fabricação desta liga, no IPEN, em fornos resistivo e a arco elétrico. O forno de indução sob vácuo do IPEN da marca Sindus está sendo recuperado, prevendo-se o início da sua operação para meados de 1994. Uma fotografia do equipamento pode ser observada na figura 3.

III.2 PROCESSAMENTO CERÂMICO - FABRICAÇÃO DOS MINIBRIQUETES

Basicamente, a fabricação dos minibriquetes envolveu uma etapa prévia de trituração dos lingotes de U_3Si_2 em caixa-de-luvas, sob atmosfera de argônio. O gás inerte é necessário já que a liga é bastante pirofórica, oxidando-se caso a operação seja executada ao ar. Após a moagem, foi realizada uma classificação granulométrica, uma vez que as especificações dos combustíveis a base de dispersões definem uma faixa para o tamanho de partículas, que devem estar compreendidas entre 44 e 88 μm . Na figura 4 é mostrada a morfologia do pó, após a trituração, obtida por microscopia eletrônica de varredura. Nas especificações do pó também são definidos os limites máximos de concentração de impurezas e o conteúdo de silício (7,4 +0,5 -0,1 % em peso, na liga) [8].

Uma parcela de finos com tamanho de partícula inferior a 44 μm , correspondente a 20 % em peso, foi utilizada para compor a carga do composto na mistura. O pó de U_3Si_2 é misturado ao pó de alumínio especificação ASTM 1100, com granulometria inferior a 44

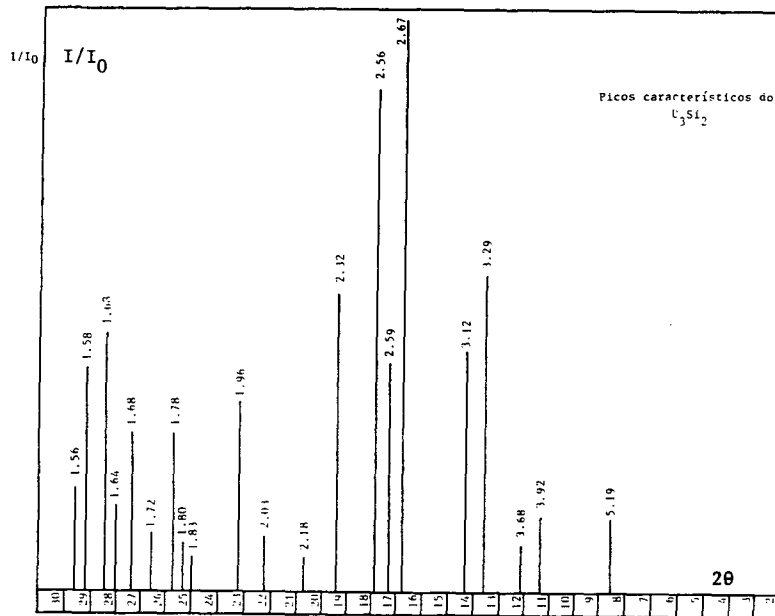


Figura 2 Difratograma mostrando os picos característicos do composto U_3Si_2 , fabricado no CDTN-BH

Tabela 1 - Propriedades de alguns compostos utilizados, ou com boas perspectivas de utilização, na forma de dispersões em combustíveis MTR

Composto	Massa específica teórica Mg/m^3	Conteúdo de U Mg/m^3	Máx. Conc. de U^1 Mg/m^3
UAl_2	8,1	6,6	3,2
UAl_3	6,7	5,0	2,5
UAl_4	6,0	4,1	-
U_3O_8	8,4	7,1	3,2
U_3Si_2	15,6	14,6	6,6
U_3SiAl^3	14,2	13,5	6,1
$U_3Si_2^4$	12,2	11,1	5,1
U_6Fe^5	17,7	17,0	7,9

- 1 Máxima concentração de urânio no núcleo da placa combustível para o limite tecnológico de fabricação, considerado com 45-50 % em volume da fase dispersa.
- 2 Composto constituído de U + 4% em massa de Si
- 3 Composto constituído de U + 3,5 % em massa de Si + 1,5 % em massa de Al
- 4 Composto constituído de U + 7,4 % em massa de Si.
- 5 Composto constituído de U + 4,0 % em massa de Fe.

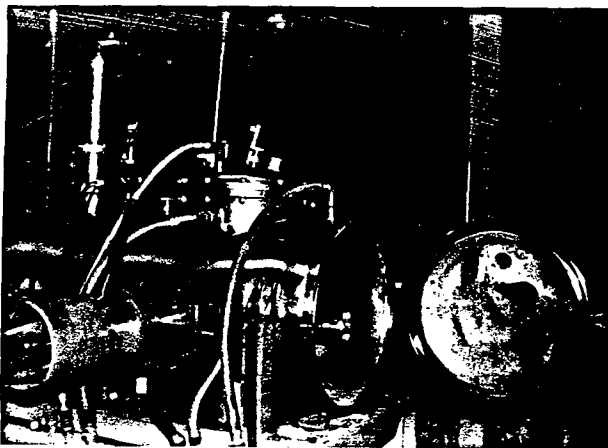


Figura 3 Forno Sindus de indução sob vácuo para elaboração de liga



Figura 4 Morfologia do U_3Si_2 , após cominuição, obtida por MEV.

Tabela 2 Propriedades do pó de U_3Si_2 utilizado na fabricação das miniplacas

Conteúdo de impurezas	Al	B	C	Cd	Co	Cu	Fe+Ni	Zn	Mg	Cr	Mn	P	
Especif. ppm	600	10	10^3	10	10	80	10^3	10^3	500	500	500	500	
Obtido ppm	180	1	410	3	10	75	540	100	15	15	400	500	
Conteúdo de U e Si			U						Si				
% em massa especificada	> 91,9						7,4 > % Si > 7,9						
% em massa obtida	92,2 ± 0,2						7,3 ± 0,2						
Granulometria	# (mesh)						µm						
Especificada	325 > TP > 170						44 > TP > 88						
% em peso finos especific.	< 325 # máximo 25 % em peso						< 44 µm máximo 25 % em peso						
% em peso finos utilizada	< 325 #						21 % em peso						

revestimento, para limpeza das superfícies de contato, de maneira a permitir o seu aquecimento durante a laminação. Basicamente, este tratamento constitui-se de uma decapagem em solução de hidróxido de sódio, neutralização em solução de ácido nítrico, lavagem em água deionizada e secagem.

A montagem do conjunto minibriquete-moldura é realizada por interferência, aquecendo-se a moldura. Os minibriquetes são mantidos numa estufa a vácuo previamente à montagem. A operação é concluída com a soldagem lateral das placas da moldura e de revestimento para evitar o deslocamento relativo dos componentes durante os passes iniciais da laminação. A soldagem é realizada por meio de arco elétrico com eletrodo de tungstênio em atmosfera de argônio (processo TIG), sendo realizados dez pontos de solda ao longo do contorno dos conjuntos, permitindo-se dessa forma que durante a laminação ocorra o escape dos gases eventualmente retidos.

Após a soldagem, executa-se a laminação a quente dos conjuntos, intercalando-se o aquecimento e os passes de laminação. Neste processo ocorre a ligação metalúrgica, ou caldeamento, entre revestimento e moldura. Ocorre uma redução na espessura e o conseqüente aumento do comprimento das placas. O processo de deformação mecânica ocorre ao longo de 10 passes a quente e dois passes a frio finais para obtenção da espessura da placa e comprimento do núcleo especificados. Entre os passes a quente e a frio, é realizado um aquecimento das placas para verificação da presença de "blisters", ou seja, bolhas devidas à presença de gases retidos. Este ensaio reflete a qualidade do caldeamento e do tratamento de degaseificação. A presença de bolhas desqualifica a placa. Na figura 7 é mostrada uma vista do setor de laminação, aparecendo em primeiro plano o laminador Stanat Mann.

Para o corte das miniplacas nas dimensões desejadas, a posição do núcleo foi previamente determinada por meio de radiografia. Este método também foi utilizado para, ajustando-se as condições do ensaio, localizar trincas e avaliar a homogeneidade da distribuição de urânio. As miniplacas foram cortadas em guilhotina, identificadas com algarismos em baixo relevo executados na fresadora pantográfica e submetidas novamente a um tratamento superficial de limpeza e decapagem, idêntico ao já descrito. Na figura 8 pode ser observada uma fotografia com a seqüência de operações de fabricação das miniplacas, aparecendo o briquete, a moldura, as chapas de revestimento e a miniplaca já cortada nas dimensões finais.

III.4 CONTROLE DE QUALIDADE DOS PROCESSOS

O processo de fabricação, desde a obtenção do UF_4 até a obtenção das miniplacas, envolve uma série de ensaios e análises para controle do processo e para controle de qualidade do produto final. Estes controles são de importância fundamental para assegurar que o elemento combustível apresente um desempenho satisfatório em operação no reator.

Na matéria prima, no caso o UF_4 , são analisadas a presença de impurezas (contaminantes que influenciem o comportamento do

combustível em termos de corrosão e de captura de nêutrons), a composição isotópica e o conteúdo de urânio. Também são caracterizados o U, o Si e o Al metálicos. Estas análises têm como objetivo o controle do processo. Possíveis desvios, como por exemplo algum contaminante excedendo os valores especificados, podem ser corrigidos antes do processamento cerâmico. Um exemplo seria a presença de alguma impureza metálica com valores elevados. O material pode ser dissolvido novamente, purificado por extração por solventes e ser precipitado novo UF_4 . Corrigir-se-ia, dessa forma, o problema, antes do seu processamento cerâmico.

O pó de U_3Si_2 tem uma especificação bem definida. Entre os requisitos técnicos encontram-se: requisitos químicos, como o conteúdo de urânio, limites máximos para a concentração de impurezas, conteúdo de boro equivalente, conteúdo de umidade, concentração isotópica; e requisitos físicos, como tamanho das partículas, área de superfície específica, massa específica. Essas propriedades têm seus valores determinados por meio de análises cujos procedimentos são bem estabelecidos, sendo definidos através de métodos normalizados por meio de documentos.

Os minibriquetes foram controlados quanto às dimensões, massa e homogeneidade da distribuição de urânio, sendo este último controle executado por meio de radiografia. Por fim, é realizada uma inspeção visual minuciosa. Antes da laminação, os componentes são controlados quanto às dimensões. Durante os passes de laminação é medida, a cada passe, a espessura de pelo menos uma placa do lote que está em processamento. Terminada a etapa de laminação a quente, realiza-se um ensaio para verificar a presença de gases oclusos e determinar a qualidade do caldeamento. A temperatura do ensaio depende do alumínio utilizado (ASTM 1060 ou 6262), situando-se em valores de 600 e 500 °C, respectivamente.

O controle da espessura do revestimento da miniplaca laminada é feito por meio de metalografia, que é uma técnica destrutiva. Com o exame metalográfico será possível avaliar o comportamento dos

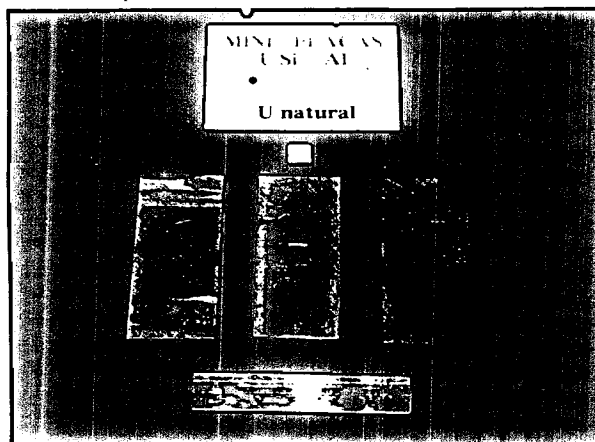


Figura 8 Seqüência de fabricação de miniplacas de U_3Si_2 , mostrando briquete, moldura, chapas de revestimento e miniplaca acabada.

µm. A mistura é realizada para cada briquete individualmente, pesando-se as quantidades de cada pó e executando-se uma homogeneização mecânica da carga. Os briquetes são obtidos pela compactação unidirecional das misturas de pós em uma prensa hidráulica com sistema de matriz flutuante, utilizando-se uma pressão de compactação de cerca de 3,0 t/cm². Foram produzidos 8 minibriquetes com dimensões de 24 x 24 x 4,3 mm e concentrações de urânio de: 2,0; 2,5; 2 X (dois minibriquetes) 3,0; 2 X (dois minibriquetes) 3,5; 4,0 e 4,5 g/cm³. Os minibriquetes foram caracterizados quanto às dimensões, densidade geométrica e radiografados para avaliação da homogeneidade da distribuição de urânio. A etapa seguinte foi a degaseificação dos briquetes sob vácuo para remoção de umidade e de gases adsorvidos, sendo os mesmos enviados, a seguir, ao setor de laminação. Um diagrama esquemático das operações executadas pode ser visto na figura 5. Na figura 6 é mostrada uma vista do setor de fabricação de briquetes onde aparece a caixa-de-luvas onde os pós são processados.

III.3 LAMINAÇÃO DAS MINIPLACAS

As placas combustíveis são obtidas por laminação conjunta dos minibriquetes constituídos de U₃Si₂-Al e os materiais utilizados como encamisante. Utiliza-se a técnica denominada quadro-moldura ou "picture frame technique" para montagem dos conjuntos, que são constituídos de uma moldura de alumínio, duas chapas de revestimento e o briquete. Neste desenvolvimento, foram empregados como material da moldura e revestimento o alumínio ASTM-1060 (minibriquetes com concentração de U entre 2,0 e 3,5 g/cm³) e o alumínio ASTM-6262 (minibriquetes com concentração de U entre 3,0 e 4,5 g/cm³). Este teste teve como objetivo avaliar a compatibilidade entre a deformação do núcleo e a da matriz (Al), levando-se em conta que o aumento da fração volumétrica aumenta a resistência à deformação mecânica do núcleo. A utilização do Al-6262 para as concentrações de urânio mais elevadas decorre da sua maior resistência mecânica em relação ao Al-1060, que é utilizado nos combustíveis atualmente fabricados. Para permitir uma avaliação do comportamento do Al-6262, foram realizados testes preliminares de decapagem, de laminação e de avaliação da qualidade do caldeamento.

A operação de fabricação das miniplacas inicia-se pelo corte das chapas de moldura e de revestimento em guilhotina. É realizada, a seguir, uma operação de faceamento dessas chapas em uma fresadora. A abertura da cavidade na moldura é realizada em uma fresadora pantográfica. Antes da montagem dos conjuntos, é realizado um tratamento superficial das chapas da moldura e do

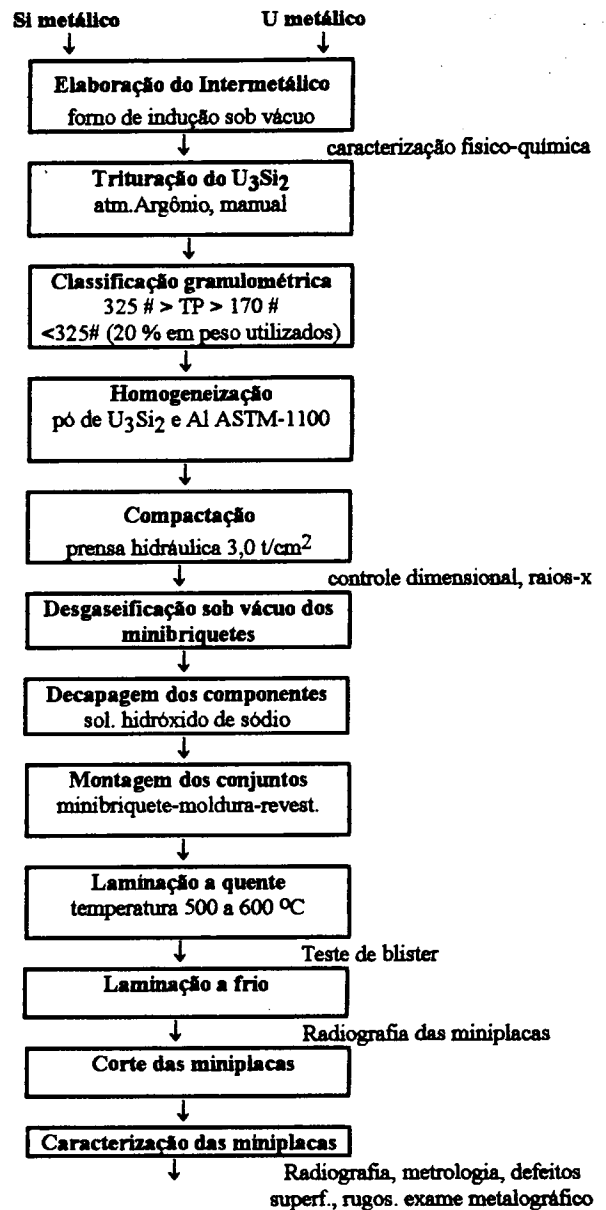


Figura 5 Fluxograma da fabricação de miniplacas de U₃Si₂-Al

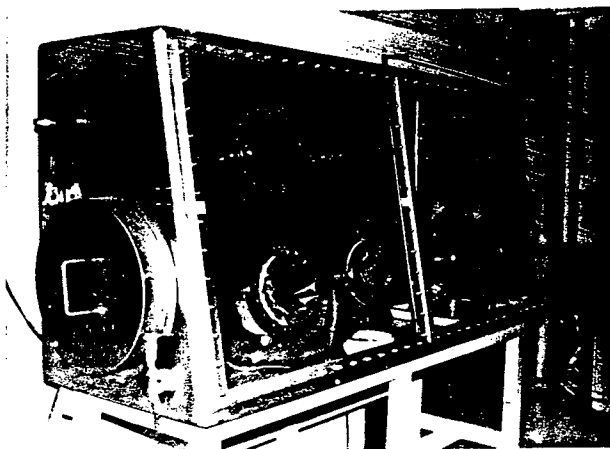


Figura 6 Vista do setor de fabricação de briquetes - caixa-de-luvas.

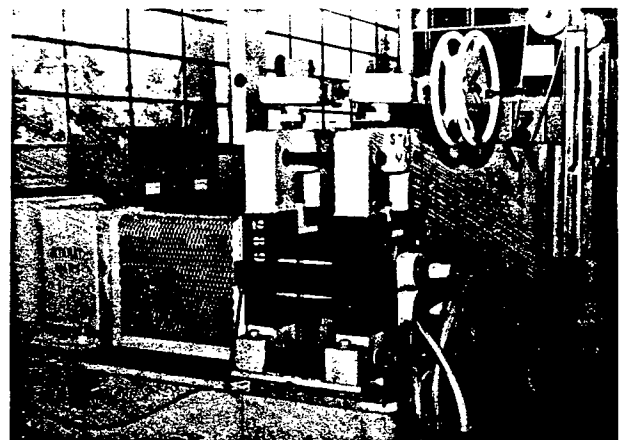


Figura 7 Vista do setor de laminação - laminador (em primeiro plano) e fornos de reaquecimento de placas.

núcleos com frações volumétricas crescentes, bem como verificar a compatibilidade do Al 6262 para as maiores concentrações de urânio. Particularmente na região do fim do núcleo, denominada de "dog bone", onde podem ocorrer diferenças na espessura, o exame metalográfico fornece informações importantes.

IV. CONCLUSÕES

A fabricação de 8 miniplacas, contendo U_3Si_2 com enriquecimento natural, em concentrações de urânio variando entre 2,0 e 4,5 g/cm³, permitiu a aquisição de uma experiência tecnológica considerável. Não houve, nesta etapa do desenvolvimento, a preocupação de atingir todos os parâmetros especificados em [8], mas sim verificar, de uma forma geral, os diversos problemas existentes em todo o processo, desde a reversão do UF_6 até a placa acabada. Alguns métodos, como por exemplo, a caracterização química em termos de conteúdo de urânio e silício e a simplificação de procedimentos de análise metalográfica (fases presentes e respectivos percentuais) encontram-se em desenvolvimento, em razão destas novas necessidades.

As miniplacas fabricadas não apresentaram quaisquer defeitos perceptíveis pelas técnicas de análise utilizadas. Mesmo as miniplacas com maiores concentrações de urânio, e que utilizaram Al ASTM-6262, com parâmetros de laminação diferentes, apresentaram excelente qualidade. As próximas etapas que darão continuidade a este trabalho serão a confecção de placas de tamanho normal ("Full Size") e urânio natural, além da fabricação de miniplacas com urânio enriquecido, que permitirão a execução de testes de irradiação no reator. Todos estes desenvolvimentos visam a consolidação da tecnologia de fabricação de placas combustíveis. Também estão em andamento tarefas ligadas à obtenção e aperfeiçoamento dos processos de: fabricação de UF_4 pela via úmida e pela via seca, obtenção de urânio metálico enriquecido, refino do urânio, e fabricação do intermetálico por técnicas de elaboração de ligas

AGRADECIMENTOS

Ao CDTN- Centro de Desenvolvimento de Tecnologia Nuclear- CNEN/BH pela elaboração da liga de U-Si natural que permitiu a fabricação das primeiras miniplacas, aos técnicos Suzana C. Figueiredo, Felipe B. J. Ferrufino e Davilson Gomes da Silva e a Izildinha P. M. Queiroz do MC-IPEN, em especial, e a todos os pesquisadores do IPEN que colaboraram direta ou indiretamente para a realização deste trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] COORDENADORIA DE TECNOLOGIA DE REATORES, *Resumo da Situação Atual dos Elementos Combustíveis do Reator IEA-R1, IPEN/CNEN-SP, dez. 1993.*
- [2] MARIN, J.; CASTILLO, J.; CHAVEZ, J.C.; HECHENLEITNER, H.; TESTART, E., CORTEZ, D.; *Fabricacion de Combustible Tipo Disperso (MTR), Nucleotécnica Ano 6 Nº 11, Comision Chilena de Energia Nuclear, (Octubre de 1986).*
- [3] DOMAGALA, R.F.; WIENCEK, T.C.; THRESH, H.R.: *U-Si and U-Si-Al Dispersion Fuel Alloy Development for Research and Test Reactors, Nuclear Technology, Vol. 62 September 1983, p. 353-360.*
- [4] NAZARÉ, S.: *Low Enrichment Dispersion Fuels for Research and Test Reactors, Journal of Nuclear Materials, 124, 1984, p.14-24.*

[5] SIMÕES, ANGELA V.: *Desempenho sob Irradiação de Combustíveis a Dispersão de MTR, Dissertação de Mestrado, IPEN-USP, 1993.*

[6] LEAL NETO, R.M.; *Estudo de Processos de Obtenção de P_6 de U_3O_8 Empregado em Elementos Combustíveis do Tipo MTR, Dissertação de Mestrado, Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares - Universidade de São Paulo, São Paulo, 1989.*

[7] FIGOLS, M. E. B. E GOMES, R.P.; *Desenvolvimento do Processo de Preparação do UF_4 a Partir da Solução Hidrolisada de UF_6 , Anais do IV CGEN, R. de Janeiro, 1992.*

[8] IAEA-TECDOC-467: *Specification for Low-Enriched Uranium-Silicide Fuel Plates for the ORR, Standardization of Specification and Inspection Procedures for LEU Plate Type Research Fuels, International Meeting, Geesthacht, Germany, 1986.*

ABSTRACT

This paper describes the experience obtained at IPEN with the fabrication of U_3Si_2 dispersed in aluminum miniplates, by using natural uranium. This development effort is related to the modernization and power increasing of IEA-R1 research reactor, making possible the production of a wider radioisotopes serie and physical researches.