

Tese de Mestrado

Estudos sobre traços anômalos observados  
em emulsões nucleares carregadas com urânio

Candidato: Julio Cesar Hadler Neto

Orientador: Prof. Dr. Cesare M.G. Lattes

1979

UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINAS  
INSTITUTO DE FÍSICA  
BIBLIOTECA

A Sissi e ao Alfredo

## AGRADECIMENTOS

A todo o pessoal do nosso departamento não sō pelo empenho a que se prestaram nas valiosíssimas críticas e sugestões ao nosso trabalho como também apoio humano que sempre nos dedicaram.

Ao Cesar, nosso orientador, pelo clima construtivo que soube criar neste departamento, pelas críticas precisas, pelas apostas perdidas, e pelos ensinamentos (que não estão nos livros).

A Maria Divanilde, que analisou ao microscópio a maior parte dos dados desta tese, pela sua disponibilidade e eficiência. Uma colaboradora excepcional.

A Marilena pela sua paciência e presteza com que sempre nos ajudou e pelo excelente trabalho de datilografia.

Ao Sr. Juvenal e todo o pessoal da oficina mecânica e ao Sr. Cícero e todo o pessoal da vidraria pela grande ajuda que nos prestaram.

Ao amigo Bigazzi pelo incentivo e orientação em nossos primeiros passos dentro da Cronologia.

Aos Profs. Martins e M. Damy, com quem iniciamos nossa vida acadêmica, pelas colaborações e exemplos dados.

A todo o pessoal do reator do Instituto de Energia Atômica e especialmente a R. Fulfaro pela simpatia com que nos receberam e pela eficiente colaboração.

Ao grupo do Prof. H. G. De Carvalho, CBPF, Rio de Janeiro, especialmente ao Jader e ao Odilon pelo acolhimento e pelos ensinamentos no carregamento de emulsões.

## ÍNDICE

PREFÁCIO .....	pag. 1
INTRODUÇÃO.....	pag. 3
CAPÍTULO 1: Emulsões: carregamento com urânio e sua me dida.....	pag. 8
CAPÍTULO 2: O Processamento Fotográfico.....	pag. 17
CAPÍTULO 3: A observação dos traços anômalos.....	pag. 22
CAPÍTULO 4: Características dos traços anômalos.....	pag. 26
CAPÍTULO 5: Testes adicionais e conclusões.....	pag. 36
APÊNDICE 1: As pesagens efetuadas durante o carregamen to da emulsão.....	pag. 43
APÊNDICE 2: Verificação se os traços anômalos se com- portavam como traços de partícula alfa emi tidos após a secagem da emulsão.....	pag. 45
APÊNDICE 3: Cálculo do fator de contração sofrido pe- las emulsões R55, R19 e R53.....	pag. 49
APÊNDICE 4: Probabilidade de que traços emitidos iso- tropicamente com alcance R sejam interio- res a uma emulsão de espessura E ( $E > R$ )..	pag. 52
BIBLIOGRAFIA.....	pag. 53

## PREFÁCIO

Em novembro de 1972 foi nos proposto como trabalho de tese de mestrado medir a constante de desintegração do  $^{238}\text{U}$  por fissão espontânea ( $\lambda_F$ ).

Utilizaríamos para tal a técnica experimental comumente conhecida como sanduiche mica-urânio utilizando porém, diferentemente de outros que a empregaram<sup>(1)(2)(3)</sup>, emulsão nucleares carregadas com quantidade conhecida de urânio como calibrador da dose de neutrons lentos a que seriam submetidas micas e alvos de urânio.

Após aproximadamente 6 anos de trabalho, obtivemos o resultado de nossa medida de  $\lambda_F$  e redigimos nossas conclusões. No entanto, por razões acadêmicas optamos por apresentar como tese de mestrado apenas a parte do trabalho referente ao estudo sobre traços anômalos observados em nossas emulsões carregadas com urânio.

Evidentemente poderíamos ter feito a medida de  $\lambda_F$  em 2 ou 3 anos. Para isto bastaria que: tivéssemos confiado somente no carregamento das emulsões através do método gravimétrico, não considerássemos os traços anômalos já que aparentemente não eram fissões e diminuíssemos, por exemplo, pela metade o número de traços observados.

É claro que este procedimento somente poderia ter algum sentido se o nosso trabalho fosse uma das primeiras medidas de  $\lambda_F$  efetuadas.

No entanto havendo mais de três dezenas de medidas de  $\lambda_F$  publicadas, sendo os resultados inconsistentes e objeto de discussão entre os geocronologistas, a pertinência de uma nova medida vinculava-se à possibilidade de atacar erros sistemáticos inerentes ao método utilizado e ao cuidado que fosse tomado durante a experiência e análise dos dados. Foi o que fizemos dentro de nossas limitações.

Gostaríamos de agradecer não só aqueles que nos acompanharam de perto no decorrer do trabalho, de quem recebemos mui-

to mais que preciosas sugestões e apoio, mas também a tolerância daqueles que embora não nos acompanhassem de perto, se dispuseram a ouvir nas diversas vezes que solicitaram os nossos responsáveis e entenderam as razões que motivaram a nossa demora.

## INTRODUÇÃO

Na época em que iniciamos o nosso trabalho já haviam sido efetuadas cerca de três dezenas de medidas de  $\lambda_F$ , com as mais variadas técnicas experimentais, e os resultados se agrupavam entre  $5 - 11 \times 10^{-17} \text{ a}^{-1}$ . Observava-se que haviam dois valores de  $\lambda_F$  obtidos com maior frequência: em torno de  $7,0 \times 10^{-17} \text{ a}^{-1}$  (1)(2)(3) e em torno de  $8,5 \times 10^{-17} \text{ a}^{-1}$  (4)(5)(6).

Deste modo medidas de idades de minerais empregando o método do traço de fissão - método que tem sido usado crescentemente nos últimos 10 anos - difeririam de  $\sim 20\%$  para os mesmos dados experimentais.

O ajuste de  $\lambda_F$  através do confronto entre idades de minerais obtidas através dos métodos do traço de fissão e radiométricos (K-Ar; Rb-Sr) mostrava resultados como o de Fleisher<sup>(1)</sup> e de Gentner<sup>(7)</sup>, onde, respectivamente,  $\lambda_F = 6,9$  e  $8,5 \times 10^{-17} \text{ a}^{-1}$  tornavam concordantes as idades obtidas.

Embora não queiramos, aqui, entrar na estrutura fina do método do traço de fissão há que se mencionar que os resultados de Gentner foram obtidos levando-se em conta a perda de imagem latente dos traços durante sua história geológica (fading).

Dentro deste quadro que se dispunha à época em que iniciamos o trabalho parecia bastante pertinente uma nova medida de  $\lambda_F$  que levasse em conta uma possível causa de erro sistemático inerente ao método do traço de fissão: a calibração da dose absoluta de neutrons lentos com que os minerais eram irradiados - para se obter a idade e  $\lambda_F$  através do método do traço de fissão utiliza-se o mesmo par de equações, com exceção à fonte de urânio - que no segundo caso é externa, e irradia-se o mineral com neutrons lentos.

Neste tipo de experiência, a vantagem do método de calibração empregado, através de emulsões carregadas com urânio, sobre as medidas convencionais de dose de neutrons lentos por reações

de ativação era evidente, pois quaisquer anomalias que o fluxo de neutrons apresentasse teria o mesmo efeito sobre os átomos de urânio dos dois detetores de fissão justapostos: as micas e as emulsões carregadas.

O emprego de emulsões nucleares em nosso trabalho requeria que se conseguisse carregá-las com urânio dentro de 1 - 2% de precisão e que para usá-las como um dosímetro de neutrons lentos se conseguisse revelá-las de modo que somente os traços de fragmentos de fissão fossem desenvolvidos apesar da presença de um fortíssimo fundo de traços de partículas alfa.

Como não era usual em nosso departamento o uso de emulsões convenientes ao trabalho que desenvolvíamos, sensíveis apenas a partículas alfa e a eventos mais ionizantes, fizemos um pequeno estágio no grupo do Prof. H.G. de Carvalho, CBPF, Rio, onde aprendemos como carregar emulsões com urânio, sua manipulação, etc..

No estágio inicial do trabalho com emulsões construímos um ambiente para secagem das emulsões e cuidamos de adaptar a técnica de carregamento empregada no Rio - emulsão com espessura final de  $\sim 150\mu$  e sem suporte - para as condições que desejávamos ou seja emulsão com espessura de  $\sim 50\mu$ , o que facilitou bastante a revelação das mesmas, colada sobre um suporte conveniente.

Efetuamos inúmeros testes de carregamento, nos quais sempre nos guiamos através dos resultados empíricos. Após a parte química do carregamento, secagem e revelações de diversos pedaços de emulsão carregada, era o confronto entre a medida do carregamento através da atividade alfa do urânio, observada ao microscópio, e entre a medida do carregamento através do método gravimétrico que guiava o acerto de nossas manipulações desde a adaptação já comentada, como também sobre a parte química do carregamento e as tentativas de otimizar o processo de revelação das emulsões carregadas.

Estes testes demoravam entre 15 e 40 dias de trabalho dependendo da precisão com que se queria determinar cada car



regamento. Após efetuarmos 12 testes de carregamento, no decorrer dos quais fomos sanando diversos tipos de erros inerentes ao uso de emulsões, pudemos ter certeza de que dominávamos a técnica de carregar emulsões dentro de 1 - 2% de precisão.

Para dominarmos a revelação com discriminação alfa-fissão fizemos uma série de revelações testes enfraquecendo gradativamente o banho revelador que desenvolvia bem os traços de partículas alfa do urânio.

Através da análise ao microscópio observou-se que emulsões irradiadas ao reator apresentavam densidade superficial de fissões compatível com as irradiações. Porém observou-se também traços cuja densidade de grãos era sensivelmente menor que a das fissões. Pensamos inicialmente se tratar de traços de partícula alfa do urânio, já que estes traços eram observados independentemente da irradiação ao reator.

No entanto após um exame um pouco mais detido, observou-se que estes traços (traços anômalos) apresentavam distribuição angular anisotrópica o que colocava dúvidas sobre a possibilidade de serem alfas do urânio.

A calibração da dose absoluta de neutrons através de emulsões carregadas era um dos pontos fundamentais de nossa medida de  $\lambda_F$ .

A observação sistemática destes traços anômalos em nossas emulsões, em densidades superficiais de  $10^2 - 10^3 \text{ cm}^{-2}$  introduzia incertezas inaceitáveis na calibração da dose de neutrons. Isto porque limitados por condições experimentais, quanto à densidade superficial total de fissões a ser obtida, dificilmente conseguiríamos fazer com que os traços anômalos representassem menos de 10% daquele total.

Não nos restou outro caminho senão estudar os traços anômalos. Após cerca de um ano e meio, de demoradas medidas ao microscópio e inúmeros testes experimentais, verificamos que uma possível explicação para os traços anômalos, que tornava claro

uma série de características que eles apresentavam, era a de que eram traços de partícula alfa do urânio emitidos durante a secagem da emulsão e que por razões que não investigamos tinham grãos tão fortemente ionizados que eram desenvolvidos até em revelações próprias para fragmentos de fissão.

Verificamos também que a diferenciação, ao microscópio, entre fissões e anômalos podia ser feita com precisão e que portanto a calibração da dose absoluta de neutrons era possível de ser feita com nossas emulsões carregadas.

Gostaríamos, aqui, de salientar que mais ou menos - na mesma época em que estávamos iniciando nossos estudos sobre os traços anômalos, recebemos uma cópia de um trabalho efetuado pelo grupo do Prof. H.G. De Carvalho<sup>(8)</sup> cujos resultados não eram inteiramente díspares das nossas observações.

Analisando emulsões do tipo K0, da Ilford, carregadas com urânio e armazenadas durante até 8 anos, observou-se, além dos traços de fissão espontânea, traços de alcance muito curto ( $\sim 9 \mu$ ). Uma possível explicação para o aparecimento - destes traços, sugerida também por outras evidências experimentais, é a emissão espontânea por núcleos pesados de elementos com massa entre 20 e 70.

Empregamos o mesmo tipo de emulsão e uma técnica de carregamento, a menos de pequenas modificações que introduzimos, bastante semelhante à do trabalho acima citado. Embora o alcance dos nossos traços anômalos (6 a  $30\mu$ ) não fosse incompatível com os  $9\mu$  acima, não era simples (e nem nosso objetivo) verificar se os nossos traços eram os mesmos observados por De Carvalho e colaboradores.

O estudo dos traços anômalos se fez necessário, mas era marginal em relação à medida de  $\lambda_F$ ; estudamo-los apenas com o intuito de verificar a confiabilidade da calibração da dose de neutrons empregada por nós.

Analisando emulsões armazenadas desde alguns dias

atē  $\sim 1$  ano e reveladas sob diversas condições, pudemos verificar que os traços anômalos apresentavam densidades superficiais de no mínimo 30 vezes maiores do que a que se verificaria se tivessem sido emitidos com a meia-vida estimada por De Carvalho e colaboradores.

Deste modo podemos apenas afirmar, baseado em inúmeras evidências experimentais, ver capítulo 4, que os traços anômalos que observamos, pelo menos em sua grande maioria, apresentam características tais que sō podem ser entendidas dentro da expliação que propusemos.

Sendo traços de partícula alfa detectados durante a secagem da emulsão, sua densidade superficial depende também da duração do intervalo de tempo durante a secagem no qual a emulsão os detecta não havendo então sentido em associã-los a uma constante de desintegração.

## CAPÍTULO 1

### Emulsões\*: carregamento com urânio e sua medida

O carregamento de emulsões nucleares é feito, basicamente, adicionando-se uma quantidade conhecida da substância que se deseja introduzir na emulsão sob a forma de gel a  $\sim 50^{\circ}$  C ( a esta temperatura o gel liquefaz-se). E em seguida faz-se a secagem da emulsão carregada.

Como queríamos fazer o carregamento com urânio, escolhemos a emulsão tipo K0 da Ilford, sob a forma de gel. Esta emulsão tem uma faixa de sensibilidade conveniente: detecta prótons até 5 M.e.v. ( $\beta \geq 0,1$ ), partículas alfa e outras partículas mais ionizantes. Além disso se quer medir o carregamento pelo método gaviométrico e também através da atividade alfa decorrente da presença de determinada quantidade de urânio na emulsão, a escolha de uma emulsão não sensível a raios beta (-) é mais conveniente.

Julgamos conveniente fazer emulsões com espessuras menores que  $60\mu$  no sentido de se simplificar as revelações. Isto porque a difusão do agente revelador em espessuras desta ordem é bastante rápida evitando-se assim a laboriosa técnica de revelação com 2 banhos reveladores.

A seguir descreveremos a técnica usada no carregamento e os dois métodos empregados para a sua medida: o gaviométrico e através da atividade alfa do urânio contido na emulsão.

---

\* A técnica do carregamento usada neste trabalho, a menos de pequenas adaptações introduzidas, foi desenvolvida pelo grupo do Prof. H.G. de Carvalho, CBPF, Rio de Janeiro.

### A) Descrição do Carregamento.

1) Colocamos em um frasco e pesamos em uma balança de precisão 0,27 ml de nitrato de uranila 0,125 M. Juntamos igual quantidade de citrato de amônia 0,25 M. e adicionamos algumas gotas de hidróxido de amônia (pH  $\sim$  11) até que o pH do "complexo de urânio" ficasse  $\sim$  5.

2) Colocamos em outro frasco uma quantidade conveniente de gel (para obter uma emulsão com  $\sim$  55 $\mu$  de espessura, na área desejada, após a secagem) e o aquecemos, em banho-maria a 50<sup>o</sup>C. Após alguns minutos de aquecimento o gel se liquefaz. Em seguida adicionamos o complexo de urânio ao gel e agitamos suavemente o frasco no sentido de homogeneizar a mistura.

3) Em seguida a "emulsão carregada" foi cuidadosamente despejada numa "piscina" nivelada de lucite e vidro especialmente preparado para carregamento (da Ilford), figura 1., e colocada para secar num ambiente a  $\sim$  28<sup>o</sup>C e 40% de umidade relativa.

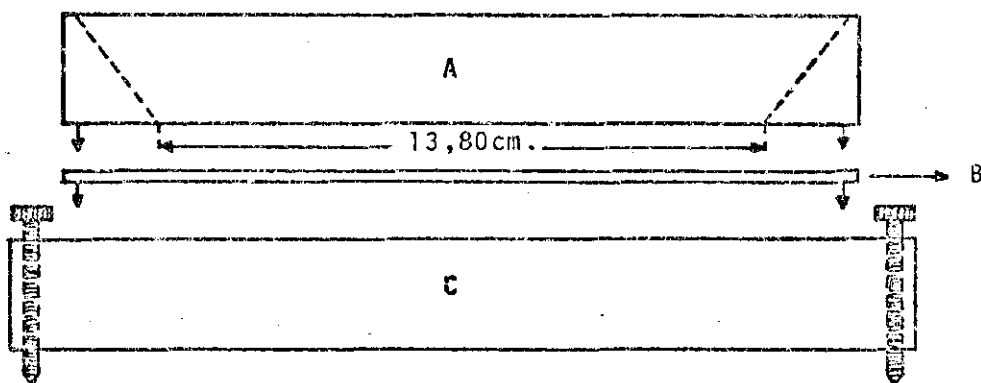


figura 1: A) Piscina sem fundo de lucite, B) Vidro especial para carregamento, da Ilford (15cmx15cmx0,12cm), C) Mesa niveladora de lucite. (Obs.; a junção das peças A) e B) era feita com silicone, para impedir vazamentos de emulsão durante a secagem).

4) Após a secagem por períodos  $\leq$  15 horas, tínhamos então a película de emulsão carregada colada sobre um suporte de vidro. Os diversos pedaços de emulsão, que usamos neste trabalho, quer na medida da quantidade de urânio, quer na calibração do feixe de nêutrons do reator, foram cortados (não com muita arte) com um cortador de diamante.

O armazenamento da emulsão foi feito numa geladeira ( $t \sim 5^{\circ}\text{C}$ , umidade relativa  $\sim 45\%$ )

B) Medida do carregamento de urânio da emulsão através do método gravimétrico

A quantidade de urânio na emulsão

A massa de 0,27ml de nitrato de uranila ( $\sim 0,125\text{M}$ ) pesou\* :

$$0,27\text{ml de N.U.} = (0,29307 \pm 0,00013)\text{g}$$

A quantidade de urânio em nosso nitrato de uranila (0,125M.) foi calibrada pesando-se aproximadamente 10ml de nitrato -e uranila que foi armazenado num secador e levado posteriormente ao forno durante 5 horas a  $800^{\circ}\text{C}$ . Após isto todo o nitrato de urânio se transformou em  $\text{U}_3\text{O}_8$  que é um composto bastante estável. A pesagem do  $\text{U}_3\text{O}_8$  nos deu então a massa de urânio relativamente à massa do nitrato de uranila 0,125M.

Através deste procedimento obtivemos que:

$$(10,38644 \pm 0,00012)\text{g de N.U.} = (0,31623 \pm 0,00005)\text{g de U.}$$

---

\* as pesagens referentes ao carregamento da emulsão através de método gravimétrico estão em detalhes no apêndice 1, pag. 43.

Daí, a quantidade de urânio contida no complexo de u  
rânio era =  $(8,923 \pm 0,006)$ mg.

Para calcularmos a quantidade de urânio colocada na  
emulsão temos que considerar o resíduo de citrato de amônia + ni-  
trato de uranila, que ficou no frasco em que o complexo de urânio  
foi preparado. Após alguns dias de secagem ( $t = 28^{\circ}$  C e umidade  
relativa = 40%) este resíduo pesou:

$$\text{Resíduo} = (0,63 \pm 0,06)\text{mg}$$

No complexo de urânio (citrato + nitrato) colocamos  
aproximadamente 0,27ml de citrato de amônia 0,25 M. o que equiva-  
le a aproximadamente 16mg de citrato de amônia seco, e colocamos  
aproximadamente 0,27ml de nitrato de uranila 0,125 M. o que equi-  
vale a  $\sim$  19mg de nitrato de uranila seco.

Então, fazendo o raciocínio em termos de massa, tere-  
mos no complexo de urânio 46% e 54% em massa de citrato e nitrato  
respectivamente. Considerando um erro de 10% nesta parte, devi-  
do às 2 medidas de volume com precisão de 5% (0,01ml) cada, tere-  
mos:

$$\begin{aligned} (0,63 \pm 0,006)\text{mg} \times (0,54 \pm 0,05) &= (0,34 \pm 0,06)\text{mg de nit. de} \\ &\text{uran. seco} = \\ &= (0,16 \pm 0,03)\text{mg de urânio} \end{aligned}$$

Então, a quantidade de urânio colocada na emulsão  
foi:

$$(8,923 \pm 0,006)\text{mg} - (0,16 \pm 0,03)\text{mg} = (8,763 \pm 0,036)\text{mg}$$

E o número de átomos de urânio colocado na emulsão  
foi:

$$(2,216 \pm 0,008) \times 10^{19}$$

Cálculo das perdas de gel + "complexo de urânio" du-  
te o carregamento da emulsão

Ao fazer a emulsão há 2 tipos de perdas de gel (supo-  
mos que a massa e o volume da emulsão seca não são alterados pela  
pequena quantidade de "complexo de urânio" que lhe acrescentamos):

19) No frasco em que pesamos o gel ficou a quantidade  
residual de  $(54,0 \pm 0,1)$ mg de gel seco (ou emulsão).

Como a densidade da emulsão seca é  $(3,828 \pm 0,018)$ g/  
 $\text{cm}^3$  e como  $10,4\text{g}^*$  de emulsão sob a forma de gel, quando seca resul-  
ta em  $1\text{cm}^3$  de emulsão seca, então:

$$(54 \pm 0,1)\text{mg de emulsão} = (0,147 \pm 0,001)\text{g de gel}$$

20) Há também uma perda de "gel + complexo de urânio"  
nas bordas da emulsão.

Isto ocorre devido à perda de volume do gel durante  
a secagem e também porque o gel subiu na parede lateral da "pis-  
cina" (fig. 1) quando da sua colocação, pois a inclinamos suavemen-  
te em diversas direções para fazer com que o gel cobrisse toda a  
sua área.

Esta área lateral (com altura  $\sim 0,2\text{cm}$ ) da emulsão foi  
cuidadosamente cortada e limpa, e pesou  $(135 \pm 1)$ mg. Semelhante-  
mente ao item 19), isto equivale a uma perda de gel:

$$(135 \pm 1)\text{mg de emulsão} = (0,367 \pm 0,005)\text{g de gel}$$

Somando as 2 perdas de gel, temos:  $(0,514 \pm 0,006)$ g

---

\* A precisão desta medida é limitada pelo erro da densidade da emul-  
são seca,  $(3,828 \pm 0,018)$ g/ $\text{cm}^3$ , dado pela Ilford.



Cálculo do carregamento de urânio

A massa de gel que foi misturada com o complexo de urânio pesou:

$$\text{gel} = (8,837 \pm 0,001)\text{g}$$

Como 10,4g de gel = 1cm<sup>3</sup> de emulsão seca, então - (8,837 ± 0,001)g de gel resulta em (0,850 ± 0,005)cm<sup>3</sup> de emulsão seca.

Então, o carregamento de urânio, em número de átomos/cm<sup>3</sup>, na emulsão foi:

$$N / \text{cm}^3 = \frac{(2,216 \pm 0,008) \times 10^{19}}{(0,850 \pm 0,005)\text{cm}^3}$$

$$N / \text{cm}^3 = (2,606 \pm 0,025) \times 10^{19}$$

O carregamento em número de átomos de urânio/cm<sup>2</sup>, cuja conveniência discutiremos mais a frente, foi feito sabendo-se que a quantidade de gel que se espalhou sobre a área da "piscina", fig. 1, pag. 9

$$(\text{área} = \frac{\pi}{4} (2R)^2 = \frac{\pi}{4} (13,80 \pm 0,05)\text{cm}^2 = (149,6 \pm 1,1)\text{cm}^2) \text{ foi:}$$

$$\begin{aligned} \text{gel} - \text{perdas de gel} &= (8,837 \pm 0,001)\text{g} - (0,514 \pm 0,006)\text{g} = \\ &= (8,323 \pm 0,007)\text{g} \end{aligned}$$

Então, o número de átomos de urânio/cm<sup>2</sup> colocado na emulsão é dado pela razão entre o número de átomos de urânio colocado na "piscina" e a sua área:

$$N_U/cm^2 = (2,216 \pm 0,008) \times 10^{19} \text{ ats de urânio}$$

$$\times \frac{(8,323 \pm 0,007)g}{(8,837 \pm 0,001)g} \times \frac{1}{(149,6 \pm 1,1)cm^2}$$

$$N_U/cm^2 = (1,396 \pm 0,017) \times 10^{17}$$

### Cálculo da espessura média da emulsão

A quantidade de gel colocada na piscina,  $(8,323 \pm 0,007)g$ , usando a relação:  $10,4g$  de gel =  $1cm^3$  de emulsão seca, equivale a  $(0,801 \pm 0,005)cm^3$  de emulsão seca.

Então, a espessura média da emulsão é dada por:

$$E = \frac{(0,801 \pm 0,005)cm^3}{(149,6 \pm 1,1)cm^2}$$

$$E = (53,6 \pm 0,7) \mu$$

### C) Medida do carregamento de urânio da emulsão através da atividade alfa do urânio

Quando se separa quimicamente uma certa quantidade  $N$  de átomos de urânio ela contém, além do  $^{238}U$ , os isótopos  $^{235}U$  e  $^{234}U$ . Estes 3 isótopos de urânio são emissores alfa.

Como o  $^{234}U$  pertence à cadeia radioativa do  $^{238}U$  as atividades de ambos serão iguais ( $N_{238} \lambda_{238} \approx N_{234} \lambda_{234}$ ) por muitos anos após a separação química já que as meias vidas de ambos são maiores que  $10^5$  anos.

Então, a atividade alfa de  $N$  átomos de urânio separados quimicamente será dada por:

$$\text{Atividade} = N(C_1 \lambda_1 + C_2 \lambda_2)$$

onde:  $C_1$ ,  $\lambda_1$  e  $C_2$ ,  $\lambda_2$  são as concentrações isotópicas e constantes de desintegração para emissão alfa do  $^{238}\text{U}$  e  $^{235}\text{U}$ , respectivamente.

Esta atividade vale por muitos anos após a separação química porque os próximos emissores alfa tanto na cadeia do  $^{238}\text{U}$  como na cadeia do  $^{235}\text{U}$  tem meias vidas maiores que  $10^4$  anos.

$$\text{Como: } C_1 = 0,9927$$

$$C_2 = 0,0072$$

$$\lambda_1 = (4,89 \pm 0,02) \times 10^{-18} \text{ (s}^{-1}\text{)*}$$

$$\lambda_2 = (3,09 \pm 0,02) \times 10^{-17} \text{ s}^{-1}$$

$$\text{Então: Ativ.} = N (9,93 \pm 0,04) \times 10^{-18} \text{ (s}^{-1}\text{)}$$

$$= N (8,58 \pm 0,04) \times 10^{-13} \text{ (dia}^{-1}\text{)}$$

O número de alfas/cm<sup>2</sup> que se acumula na emulsão carregada com urânio, após a sua secagem é dado por:

$$N_{\alpha/\text{cm}^2} = (8,58 \pm 0,04) \times 10^{-13} \times N_{\text{U}/\text{cm}^2} \times t$$

onde:  $t$  = idade ou tempo de armazenamento da emulsão, em dias, ( $t=0$  é o instante em que a emulsão ficou seca).

Esta equação nos permitiu obter a quantidade de urânio/cm<sup>2</sup> (ou por cm<sup>3</sup>, pois  $N_{\text{U}/\text{cm}^2} = N_{\text{U}/\text{cm}^3} \times E(\text{cm})$ ) em nossa emulsão carregada.

---

\* O erro que atribuímos a  $\lambda_1$ , fez com que os resultados de 5 entre 7 medidas de que temos conhecimento se situem no intervalo por ele delimitado.

Medimos o carregamento da emulsão em  $N_U/cm^2$  porque verificamos em diversas emulsões que carregamos anteriormente que a espessura média obtida através de medidas em pelo menos 3 pedaços cortados de diferentes regiões da emulsão, coincidia, dentro de 3%, com a espessura média calculada da emulsão; evitando assim as trabalhosas medidas da espessura de cada pedaço de emulsão.

Medindo-se, ao microscópio óptico, a densidade superficial de traços de partícula alfa em diversos pedaços da emulsão, fig. 2a, abaixo, processados adequadamente (ver cap. 2, pag. 18) em dias sucessivos, obteve-se que a medida do carregamento de urânio através da atividade alfa, fig. 2b e tabela 1, resultou em  $(1,37 \pm 0,04) \times 10^{17}$  átomos de urânio/cm<sup>2</sup>, que é concordante, dentro de ~ 2%, com o resultado obtido através do método gravimétrico.

Tabela 1

Processamento	t(dias)	$N_\alpha/cm^2 (\times 10^5)$	Pelo método dos mínimos quadrados obteve-se: $N_\alpha/cm^2 = a + bt$
1º	0,500	$0,725 \pm 0,023$	$a = (0,095 \pm 0,036)$
2º	1,318	$1,559 \pm 0,038$	$b = (1,158 \pm 0,022)$
3º	2,273	$2,753 \pm 0,067$	

a)

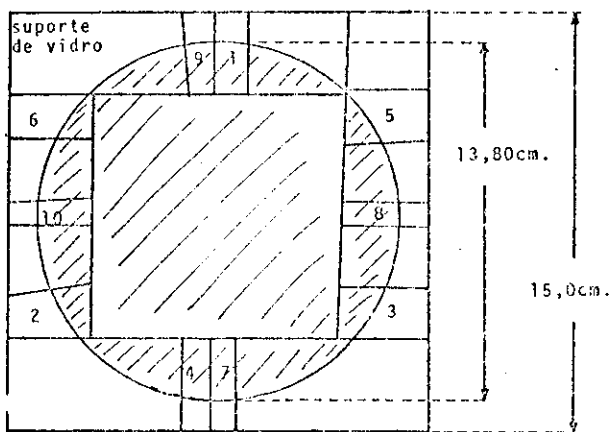


fig. 2a: Emulsão colada sobre o vidro suporte. Diversos pedaços da emulsão foram cortados e analisados (1º processamento: pedaços 1, 2 e 3, etc.).

b)

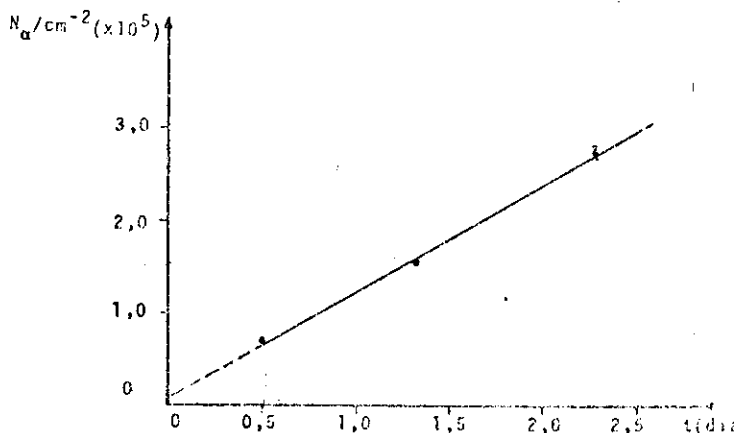


fig. 2b: Variação do nº de traços de partícula alfa/cm<sup>2</sup> em função do tempo de armazenamento da emulsão

## CAPÍTULO 2

### O Processamento Fotográfico

Faremos aqui uma breve descrição dos 3 procedimentos usados neste trabalho:

- 1) Procedimento para partículas alfa de urânio
- 2) Procedimento para fragmentos de fissão
- 3) Procedimento intermediário alfa-fissão ou revelações para os traços anômalos.

Inicialmente um comentário é pertinente: a otimização das revelações foi obtida de maneira totalmente empírica.

### O Revelador

O revelador que usamos era composto de: ácido bórico, sulfito de sódio, brometo de potássio e amidoí.

O ácido bórico e o sulfito de sódio agem como substâncias tampão no ajuste do pH do revelador, que sempre mantivemos fracamente ácido (pH  $\sim$  6,7). O sulfito tem também a propriedade de proteger o agente revelador da oxidação.

O brometo de potássio, é um inibidor do processo de revelação.

O amidoí é o agente revelador. Pelo fato dele se oxidar com certa rapidez, perdendo assim seu poder de revelação, usamos água desmineralizada e soluções frescas de revelador. Com estes cuidados, apenas, verificamos que o poder de revelação permaneceu constante por várias horas ( $t \approx$  6hs. a  $10^{\circ}\text{C}$ ).

A menos deste inconveniente, o amidoí apresenta características vantajosas: pequena formação de vêu, boa difusibilidade na emulsão, boa densidade de grãos e praticamente não introduz distorções na emulsão, mesmo a grandes concentrações.

1) Procedimento para partículas alfa

As emulsões carregadas usadas na calibração da quantidade de urânio/cm<sup>2</sup> através da medida da atividade alfa, foram processadas\* do seguinte modo:

	Revelador (1L)	temperatura	tempo
Revelação	ac. bórico: 12g sulf. de sódio: 7g brom. de potássio: 0,2g amido: 2,5g	~ 20°C	~ 50'
Freiamento	Freiador (1L)		
	sulf. de sódio: 5g ac. acético até pH ~4	~ 20°C	~ 5'
Fixação	Freiador (1L)		
	hipossulfito de sódio: 400g sulf. de sódio: 5g	~ 20°C	~ 25'

Após a fixação as emulsões foram lavadas em água - desmineralizada durante ~ 20' a ~ 18°C, imersas em seguida - num banho de água-alcool etílico-glicerina (composição em volume: água 20%, álcool etílico 75% e glicerina 5%) durante ~ 10' a ~ 16-17°C e então postas para secar.

2) Procedimento para fragmentos de fissão

As emulsões carregadas usadas para medir o dose absoluta de nêutrons com que irradiamos as micas, foram proces

\* Nesta revelação e nas que se seguem, todos os banhos de revelador, fixador, lavagem, etc., foram suavemente agitados.

sadas da seguinte maneira:

	Revelador (1L)	Temperatura	tempo
Revelação	ac. bórico: 6g sulf. de sódio: 1,7g brom. de potássio: 1,2g amidol: 0,3g	$\sim 8^{\circ}\text{C}$	240'
Freiamento	Freiador (1L)	$9-10^{\circ}\text{C}$	15'
	igual ao da revelação para alfa		
Fixador	Fixador (1L)	$10-12^{\circ}\text{C}$	40'
	igual ao da revelação para alfa		

O tratamento a que as emulsões foram submetidas após a fixação foi igual ao do procedimento para alfa a menos da temperatura que fizemos subir gradativamente até  $\sim 15^{\circ}\text{C}$ .

Cabe aqui uma observação sobre o tempo de revelação que usamos. A partir de 60' de banho revelador os traços de fissão já estavam desenvolvidos. Estendemos o tempo de revelação até 240' para facilitar o trabalho de microscopia:

i) a imagem dos traços de fissão ficava com uma densidade de grãos tal que era possível fazer sua contagem com aumentos  $\sim 250$  vezes.

ii) como o aumento da densidade de grãos dos traços anômalos com o tempo de revelação era significativamente menor - que os dos traços de fissão, a diferenciação anômalo-fissão se tornava mais fácil para tempos de revelação mais longos.

3) Procedimento intermediário alfa-fissão ou procedimento para os traços anômalos

Consideramos procedimento para os traços anômalos os que nos permitiram diferenciá-los e estudá-los na presença de traços de fissão e/ou traços de partículas alfa.

Então consideramos revelações deste tipo aquelas que:

i) desenvolveram tão fracamente os traços de partícula alfa que estes puderam ser diferenciados dos traços anômalos.

Como por exemplos podemos citar:

a) revelação ã que foram submetidas as emulsões T31 a T34, Apêndice 2, pag. 48:

	Revelador (1L)	temperatura	tempo
Revelação	ac. bórico: 7g sulf. de sódio: 2,1g brom. de potássio: 0,8g amido1: 0,53g	17°C	60'-240'

b) revelação a que foram submetidas as emulsões R55 e R19, cap. 4, pag. 26:

	Revelador (1L)	temperatura	tempo
Revelação	ac. bórico: 6,5g sulf. de sódio: 1,5g brom. de potássio: 1,0g amido1: 0,3g	17°C	240'

As etapas seguintes a que as emulsões foram submetidas (freimento, fixação, lavagens, etc.), a menos da temperatura que mantivemos constante em 17°C, foram iguais às do procedimento para partículas alfa.



ii) não desenvolveram traços de alfa e desenvolveram traços anômalos e traços de fissão (em emulsões irradiadas com nêutrons). Como exemplo deste tipo de revelação podemos citar a que foi submetida a emulsão R53, cap. 4, pag. 26:

	Revelador (1L)	Temperatura	Tempo
Revelação	ac. bórico: 6,5g sulf. de sódio: 1,5g brom. de potássio: 1,0g amidol: 0,3g	10°C	240'

As etapas seguintes a que a emulsão foi submetida, a menos da temperatura que fizemos subir gradativamente até  $\sim 17^{\circ}\text{C}$ , foram iguais às do procedimento para fragmentos de fissão.

### CAPÍTULO 3

#### A observação dos traços anômalos

Para a utilização, neste trabalho, de emulsões nucleares carregadas com urânio como detetor de fragmentos de fissão (calibração da dose de neutrons) era necessária processá-las de modo a discriminar os traços de partículas alfa do urânio dos traços de fissão.

O que se fez para se conseguir tal processamento foi enfraquecer gradativamente a revelação que desenvolvia bem os traços de partícula alfa de urânio. Isto foi feito: diminuindo-se a quantidade do agente revelador, o amidol; aumentando-se a quantidade do inibidor do revelador, o brometo de potássio, e abaixando-se a temperatura da revelação (mantendo-se sempre o pH  $\approx$  7).

Nos testes de revelação utilizamos algumas emulsões carregadas com  $\sim 10^{17}$  átomos de urânio/cm<sup>2</sup>, que após algumas semanas de armazenamento teriam  $\sim 10^7$  alfas/cm<sup>2</sup> potencialmente reveláveis e algumas emulsões carregadas, irradiadas com neutrons lentos no reator do I.E.A..

Esperava-se que atingida uma revelação onde se anulassem totalmente os traços de alfa de urânio, se estaria próximo de uma boa revelação para fragmentos de fissão, em nossas emulsões carregadas.

Observou-se, porém, tanto nas emulsões irradiadas com neutrons como nas que foram apenas armazenadas, que o número de alfas/cm<sup>2</sup> diminuiu rapidamente com o enfraquecimento da revelação, mas traços com alcance de  $\sim 20\mu$ , com número total de grãos igual a  $\sim 20$  ainda estavam presentes em densidades superficiais da ordem de  $10^3$ /cm<sup>2</sup> quando nossos processamentos teste se aproximavam de processamentos padrão para fragmentos de fissão<sup>(9)</sup>.

Inicialmente pensou-se que estes traços eram alfas de urânio não apagadas pelas revelações; pelo menos não eram, em sua maioria, fragmentos de fissão pois apareciam em nossas emulsões carregadas independentemente da irradiação com neutrons. No entanto, em duas experiências efetuadas verificou-se que estes traços, que denominamos anômalos, não se comportavam como partículas alfa do urânio emitidas após a secagem da emulsão. (Ver apêndice 2, pag. 45).

Diferenciação ao microscópio, entre traços anômalos

e de fissão e entre anômalos e de partícula alfa.

O critério de diferenciação anômalos-fissão e anômalos-alfa empregado era baseado na diferença de densidade de grãos que os traços apresentavam sob determinadas condições de processamento.

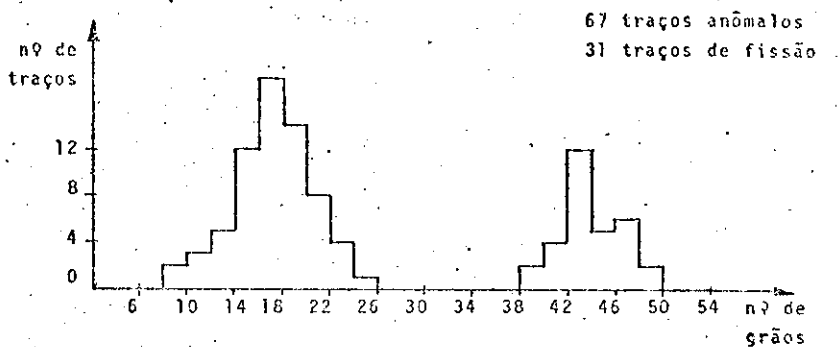


figura 3: Histograma de nº de grãos dos traços de fissão e anômalos

Num processamento típico destes testes, fig. 3 as fissões observadas tinham número médio de grãos e alcance médio iguais a 44,0 e 23,7 $\mu$ , respectivamente, enquanto que os anômalos tinham 17,2 e 18,8 $\mu$ , respectivamente, ver também foto nº 1, pag. 24.

Num processamento em que as partículas alfa do urânio apareciam próximas ao mínimo de ionização, a diferenciação anômalos-alfa empregada era possível de ser feita pois nestes casos os

anômalos apresentavam densidade de grãos bem maior que as alfa, ver foto nº 2, abaixo.

É claro que este critério é arbitrário e sujeito a identificações equivocadas, porém era o mais simples e fácil de aplicar. Enquanto o utilizávamos observamos, no entanto, que os traços anômalos apresentavam certas características muito convenientes para as desejadas diferenciações:

a) ~ 70% deles apresentavam ângulo zenital próximo de  $90^\circ$ , ou seja, quase paralelos ao plano da emulsão, alcance entre 20 e  $30\mu$  e densidade de grãos ~  $1g/\mu$ , como o anômalo da foto nº 1 abaixo.

b) ~ 20% deles apresentavam ângulo zenital ~  $70^\circ$ , alcance entre 12 e  $20\mu$  e densidade de grãos entre 1,1 e  $1,3/\mu$ , como o anômalo da foto nº 3.

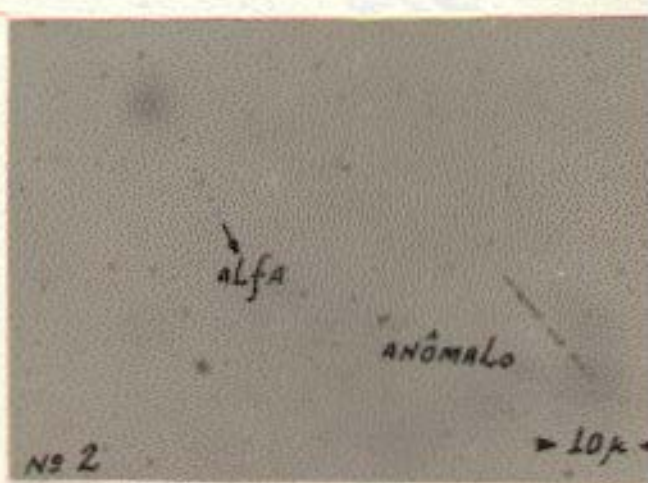
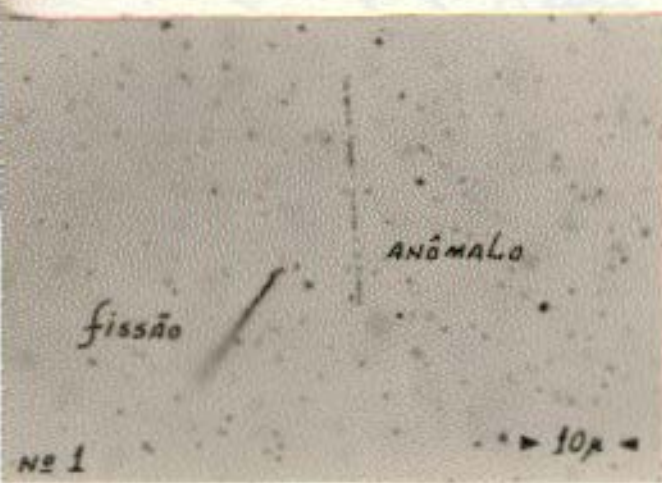


foto nº 1: Traço de fissão e anômalo; foto nº 2: Traço anômalo e de partícula alfa; fotos nºs 3 e 4: Traços anômalos

c)  $\sim 10\%$  deles apresentavam ângulo zenital  $\sim 50^\circ$ , alcance entre 6 e  $12\mu$  e densidade de grãos  $\approx 1,5g/\mu$ , foto nº 4, pag. 24.

Observou-se que os traços anômalos deste grupo, notadamente os menores, podiam ser confundidos com traços de fissão, porém nestes casos utilizamos como critério de diferenciação o alcance dos traços já que as fissões contidas no interior da emulsão tinham alcance de  $\sim 24\mu$ .

É claro que os traços anômalos deste grupo que eram superficiais à emulsão não podiam ser diferenciados das fissões, no entanto estes casos eram poucos e nas condições em que trabalhamos podiam ser classificados como fissões sem prejuízo à nossa análise, ver capítulo 5, pag. 40.

## CAPÍTULO 4

### Características dos traços anômalos

Para se estudar as características dos traços anômalos, tomamos 3 pedaços de uma mesma emulsão-mãe (cujo carregamento era  $\sim 1,4 \times 10^{17}$  átomos de urânio/cm<sup>2</sup>), dois dos quais, os pedaços ou melhor, as emulsões R55 e R53, como as denominaremos daqui para frente, foram irradiadas com nêutrons frios.

As emulsões R55 e R19, e a R53 foram reveladas nas condições especificadas nas páginas 20 e 21, respectivamente.

A revelação à temperatura mais alta foi feita como uma tentativa de se obter, nas emulsões R55 e R19, traços de partículas alfa do urânio em mínimo de ionização, além dos traços anômalos e dos da fissão.

As revelações foram feitas quando as emulsões tinham  $\sim 5$  meses de armazenamento, então independentemente da irradiação com nêutrons, as emulsões acima, nesta época, tinham  $\sim 10^7$  alfas/cm<sup>2</sup> e  $\sim 5$  fissões espontâneas/cm<sup>2</sup>.

As emulsões R55, R53 e R19 foram analisadas por 2 observadores que mediram alcance, ângulo zenital, número de grãos e profundidade dos traços na emulsão em todos os traços que apareceram durante as suas varreduras ao microscópio.

Para se calcular o alcance de um traço observado ao microscópio, usamos:

$$\text{Alcance} = \sqrt{x^2 + (z \times FC)^2}$$

onde:

x = medida da projeção do traço sobre o plano de emulsão

z = medida da projeção do traço num plano perpendicular ao plano da emulsão.

FC = fator de contração da emulsão, que foi tomado

como 2,4 para as emulsões R55, R53 e R19 (ver apêndice 3)

As medidas de x foram feitas com uma ocular com fílar acoplada ao microscópio, com precisão de  $\sim 1/15\mu$ , e as medidas de z com um micrômetro de precisão acoplado ao microscópio, cuja precisão era  $0,5\mu$ .

Encontramos nas emulsões R55 e R53 traços que classificamos como anômalos e fissões, e na emulsão R19 (revelada em condições iguais à R55) traços que classificamos como anômalos e alfa de urânio.

Atribuímos a desigualdade de comportamento (R55 não registrou traços de alfa) dessas regiões adjacentes da mesma emulsão mãe às suas diferentes histórias. Enquanto a R19 foi apenas armazenada à baixa temperatura, a R55 sofreu algum tratamento térmico durante a irradiação (temperatura  $\sim 28^{\circ}\text{C}$ ,  $t_{\text{irr.}} \sim 2$  hs.) e durante o encapsulamento e transporte.

#### a) Densidades superficiais de traços

As emulsões R55 e R53 eram pedaços da emulsão R5 que foi irradiada com neutrons em condições tais que deveria ter uma densidade superficial de traços de fissão  $\sim 1,9 \times 10^3/\text{cm}^2$  (carregamento  $\sim 1,4 \times 10^{17}$  átomos de urânio/ $\text{cm}^2$ ,  $\phi \sim 1,9 \times 10^9$  neutrons/ $\text{cm}^2$ ,  $\sigma_{\text{fis.}} \sim 10^3$  barns).

As densidades superficiais dos traços observados foram:

$$\text{R55: } N_{\text{fis.}} = (2,3 \pm 0,2) \times 10^3/\text{cm}^2 \quad N_{\text{an.}} = (1,8 \pm 0,2) \times 10^3/\text{cm}^2$$

$$\text{R53: } N_{\text{fis.}} = (2,1 \pm 0,2) \times 10^3/\text{cm}^2 \quad N_{\text{an.}} = (0,8 \pm 0,1) \times 10^3/\text{cm}^2$$

$$\text{R19: } N_{\text{alfa}} = (0,4 \pm 0,1) \times 10^3/\text{cm}^2 \quad N_{\text{an.}} = (1,5 \pm 0,2) \times 10^3/\text{cm}^2$$

Como as revelações a que foram submetidas as emulsões, pags. 20 e 21, eram "super" revelações para fragmentos de fissão, de veria se esperar que as densidades superficiais das fissões fossem independentes da revelação e compatíveis com a esperada pelas condições de irradiação, o que se verifica dentro de  $\sim 10\%$ .

As densidades superficiais dos traços classificados como anômalos, porém, variam de um fator  $\sim 2$  nas duas emulsões reveladas diferentemente. E são compatíveis nas emulsões reveladas em iguais condições (R19 e R55).

b) Distribuição dos traços em profundidades.

Poderia ocorrer, devido o erro sistemático ocorrido na revelação, que tomássemos por anômalo alguma fissão sub-revelada (ou por fissão algum anômalo super-revelado) em emulsões que apresentassem anômalos e fissões. E isto poderia ocorrer se houvesse, por exemplo, dificuldade de penetração do agente revelador na emulsão, ocasionando um gradiente de revelação na direção perpendicular ao plano da emulsão. Se isto ocorresse, deveríamos ter um maior número de anômalos (traços com menor densidade de grãos) próximo ao vidro suporte da emulsão e um maior número de fissões próximo à outra superfície da emulsão, aquela que fica em contacto com o banho revelador.

Observa-se nas figuras 4a,b, pag. 29, onde reproduzimos o comportamento de parte dos traços que analisamos, na emulsão R55, em função da altura de seus pontos médios (tomando-se o vidro suporte como referência), que os traços de fissão e anômalos se distribuem de maneira razoavelmente uniforme em relação à altura da emulsão.



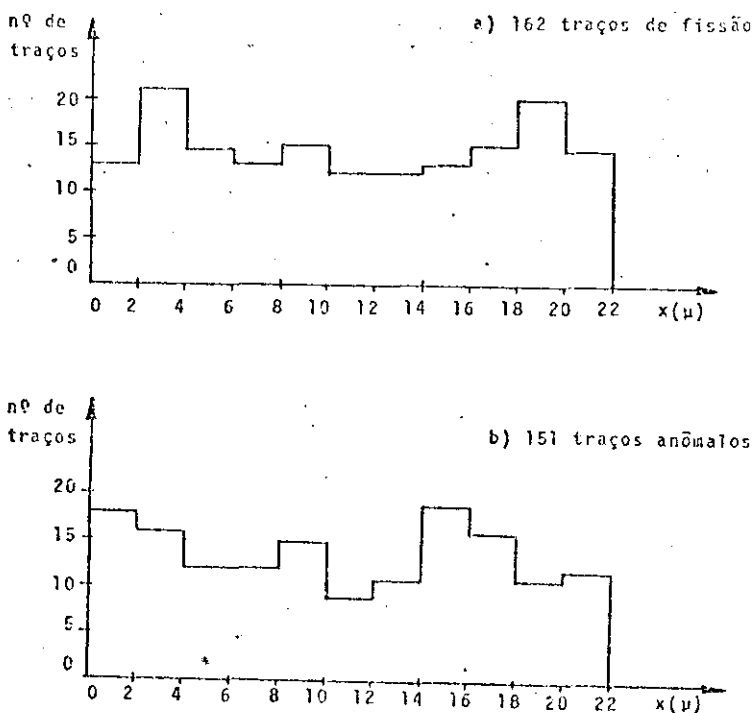


figura 4: Histograma de altura na emulsão de traços anômalos e de fissão.

c) Alcance dos traços.

Os resultados de alcance médio dos fragmentos de fissão em nossas emulsões, da ordem de  $24\mu$ , estão de acordo com os de outros trabalhos (8).

O alcance não serve como critério de diferenciação pois anômalos e fissões tem alcances médios próximos, figs. 5a e b, pag. 30.

Os traços de partícula alfa na emulsão R19 estão em "mínimo de ionização" (alcance  $\sim 12\mu$  e número médio de grãos  $\sim 8$ ). O alcance médio dos traços anômalos, nesta emulsão, é de  $\sim 20\mu$ , porém, como os dois histogramas, figs. 5c e d, apresentam grande dispersão dos alcances em torno dos valores médios, verifica-se que o alcance não é um critério preciso de diferenciação alfa-anômalo.

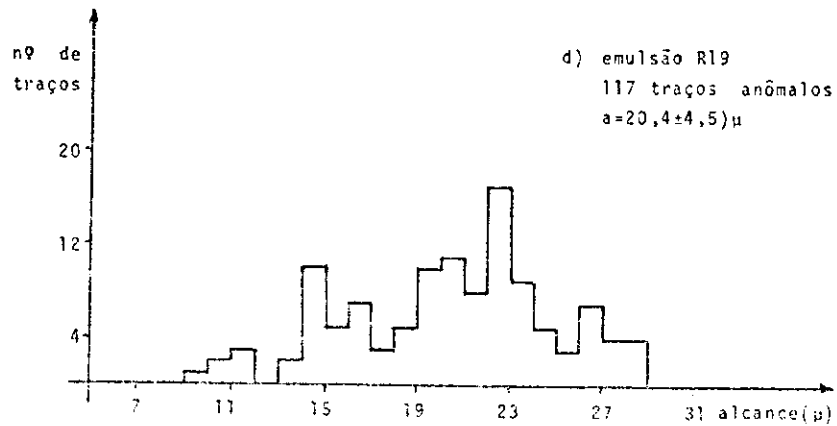
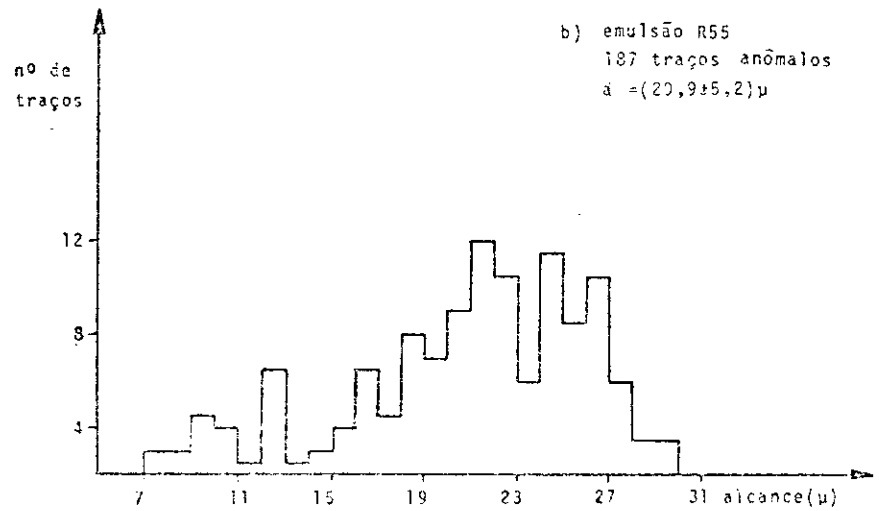
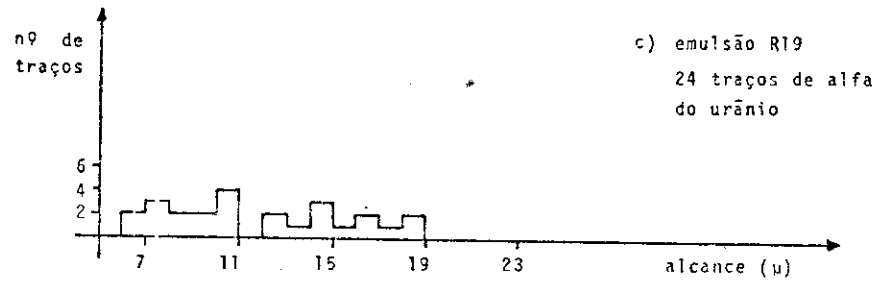
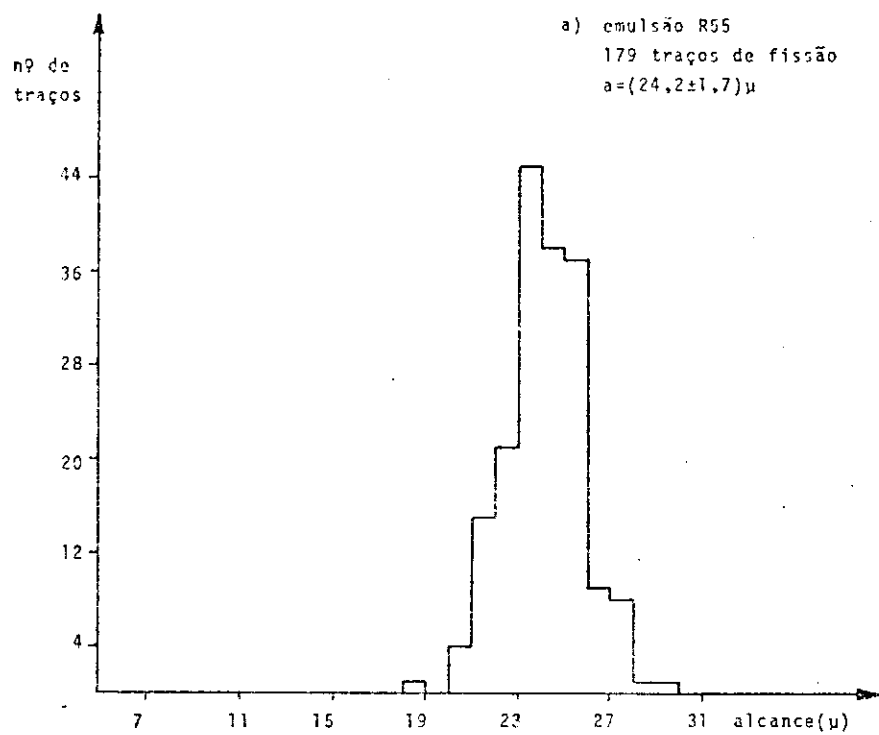


figura 5: Histogramas de alcance dos traços de fissão, anômalos e de partícula alfa

d) Distribuições angulares dos traços.

As distribuições angulares zenitais dos traços de alfa do urânio e das fissões do  $^{235}\text{U}$  induzidas por neutrons frios ( $E_n = 0,008$  e.v.) devem ser isotrópicas.

Nestas condições o histograma da distribuição angular zenital em função de  $\cos \theta$ , deve revelar uma distribuição uniforme, ou seja, devemos obter o número de traços por intervalo de  $\cos \theta$  em torno do número médio de traços (número total de traços/número de intervalos), independentemente do ângulo zenital.

Os histogramas de distribuição angular de todos os traços (interiores à emulsão e superficiais) encontrados nas emulsões R55, R53 e R19 e classificados como fissões, anômalos e alfas estão nas figuras 6a, b, c, d, e e f, pag. 32.

Nestes histogramas, devemos ter erros sistemáticos - nos dois extremos de  $\cos \theta$ . Para  $\cos \theta \approx 1$  temos maior probabilidade de perder traços numa varredura ao microscópio, e para  $\cos \theta \approx 0$  a medida da projeção do traço na direção z é da ordem do erro do micrômetro e portanto possível de ser incorreta.

Verificamos, nas figuras abaixo citadas, que as distribuições angulares de fissões e alfas são aproximadamente uniformes, e que as dos anômalos, nas 3 emulsões, são concordantes entre si e não uniformes. Esta última afirmativa pode ser feita visto que os erros sistemáticos levantados não alteraram substancialmente as distribuições angulares de fissões e alfas.

As distribuições angulares dos traços anômalos mostram que a maioria destes traços tem ângulos zenitais próximos de  $90^\circ$ , ou seja são aproximadamente paralelos ao plano da emulsão.

e) Correlações.

i) Entre alcance e densidade de grãos.

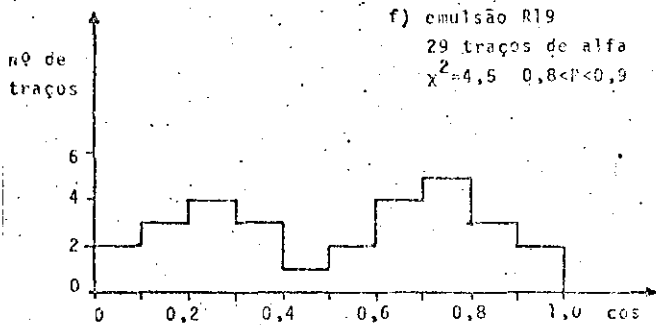
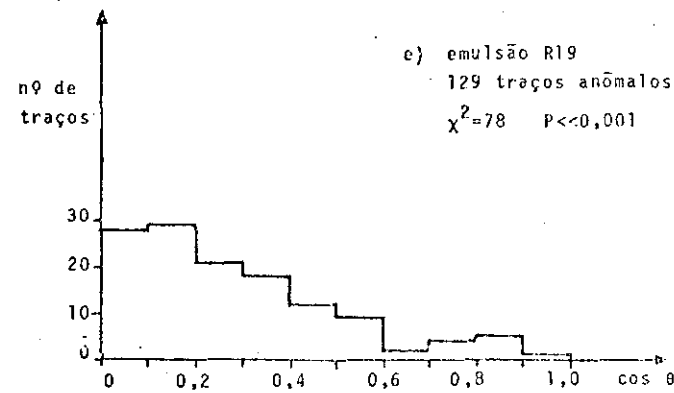
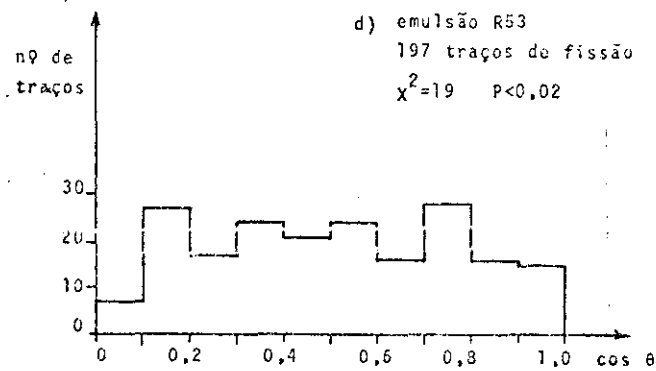
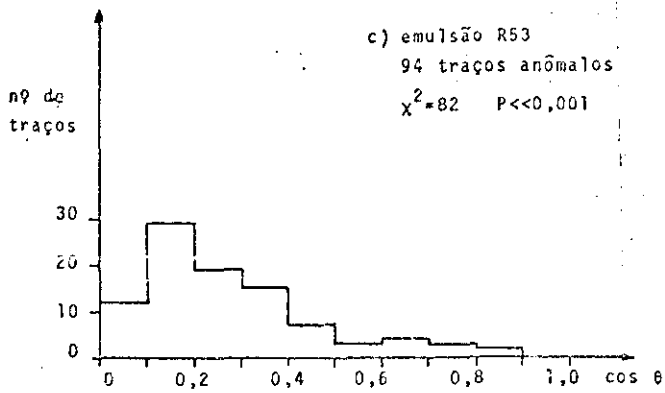
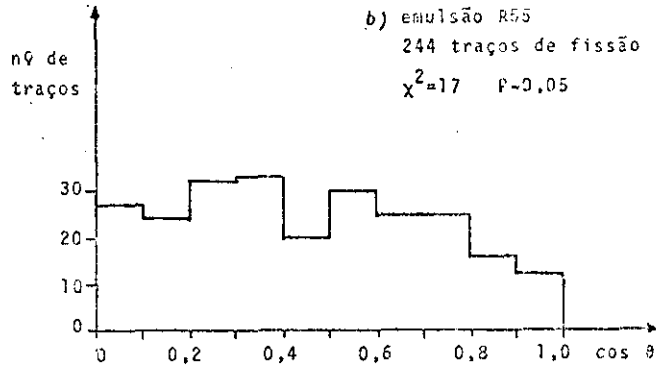
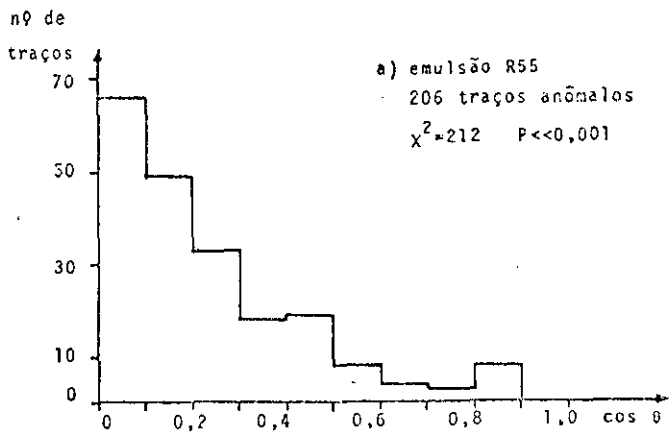


figura 6: Histogramas de distribuição angular dos traços de fissão, anômalos e de partícula alfa.

Os traços de fissão encontrados nas emulsões R55 e R53 tem densidades de grãos de  $\sim 2$  grãos/ $\mu$ , independentemente de seus alcance. No entanto, os traços anômalos apresentam uma clara correlação entre alcance e densidade de grãos fig. 7a, abaixo, de modo que os traços de maior alcance tem menor densidade de grãos e à medida que o alcance diminui a densidade de grãos aumenta.

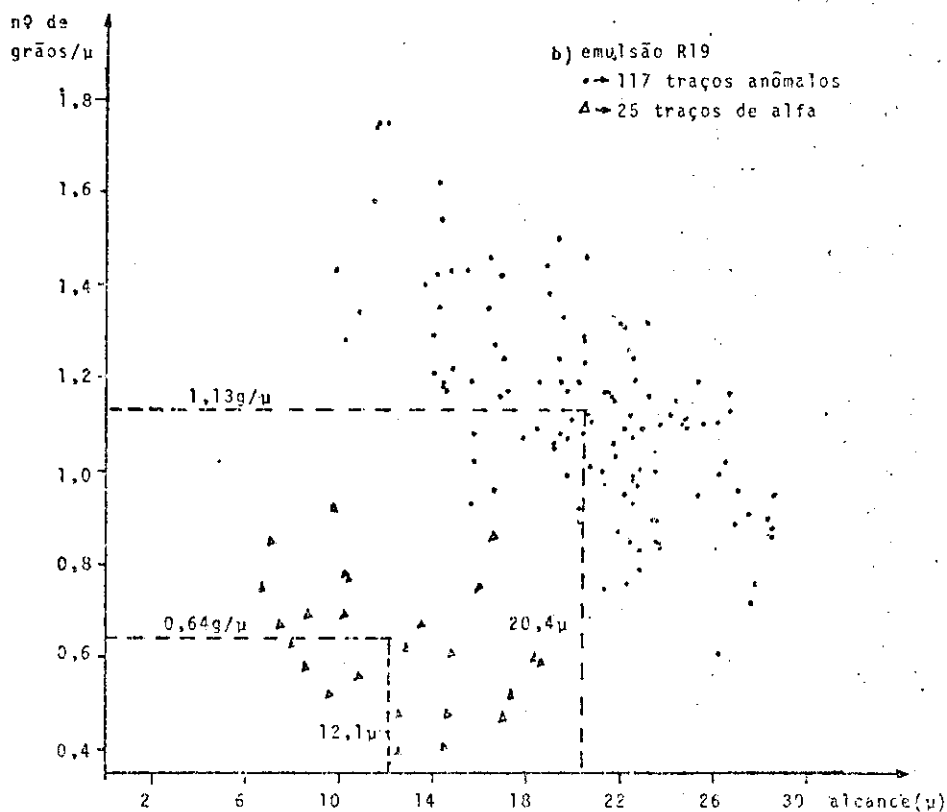
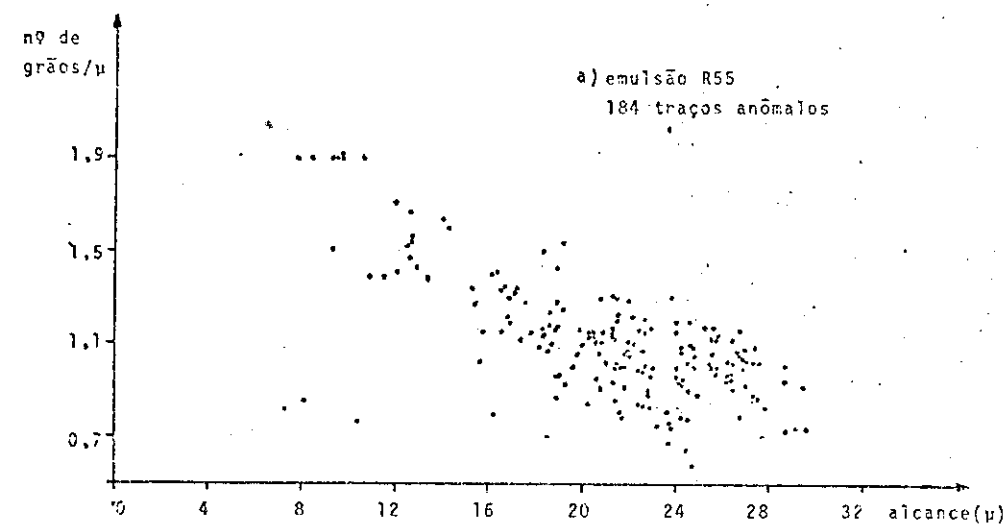


figura 7: Correlação entre alcance e densidade de grãos para traços anômalos e de partícula alfa.

Os traços que classificamos como anômalos na emulsão R19, fig. 7b, pag. 33, tem uma correlação entre densidade de grãos e alcance semelhante aos da emulsão R55. Nota-se, nesta figura, que há 2 grupos de traços com densidades de grãos e alcance diferentes: os anômalos com  $1,13\text{g}/\mu$  e  $20,4\mu$  e os alfas de urânio com  $0,64\text{g}/\mu$  e  $12,1\mu$ . Podemos ter classificado incorretamente alguns traços, porém, a existência de 2 grupos de traços indica que observamos na emulsão R19 2 tipos de "partículas" com diferentes perdas de energia por ionização por unidade de comprimento.

ii) Entre alcance e ângulo zenital.

É interessante notar que os traços anômalos de maior alcance são os que tem ângulos zenitais próximos de  $90^\circ$  e que à medida que o alcance vai diminuindo, o mesmo acontece com o ângulo zenital, o que pode ser visto nas figuras 8b e c, pag. seguinte, onde vemos uma clara correlação entre alcance e ângulo zenital dos traços anômalos. Se os traços anômalos não tivessem sido medidos nas mesmas emulsões (e mesmas áreas) em que medimos fissões e alfas de urânio, diríamos que este resultado nos indicaria que o fator de contração das emulsões para os traços anômalos foi subestimado.

No entanto, nas figuras 8a e 8c, podemos ver que os alcances dos traços de fissão e das alfas do urânio (apesar da estatística mais modesta) são independentes do ângulo zenital. O que mostra que o fator de contração usado para estas emulsões estava razoavelmente correto.

Vemos, na figura 8a, que temos poucas fissões com  $\cos \theta \sim 1$ ; isto ocorreu porque somente colocamos nesta figura as fissões cujas extremidades eram interiores à emulsão, então, como o alcance dos fragmentos de fissão é da ordem da metade da espessura da emulsão, as fissões emitidas a  $\theta$  pequenos tem maior probabilidade de serem superficiais à emulsão do que as emitidas a  $\theta$  grandes.

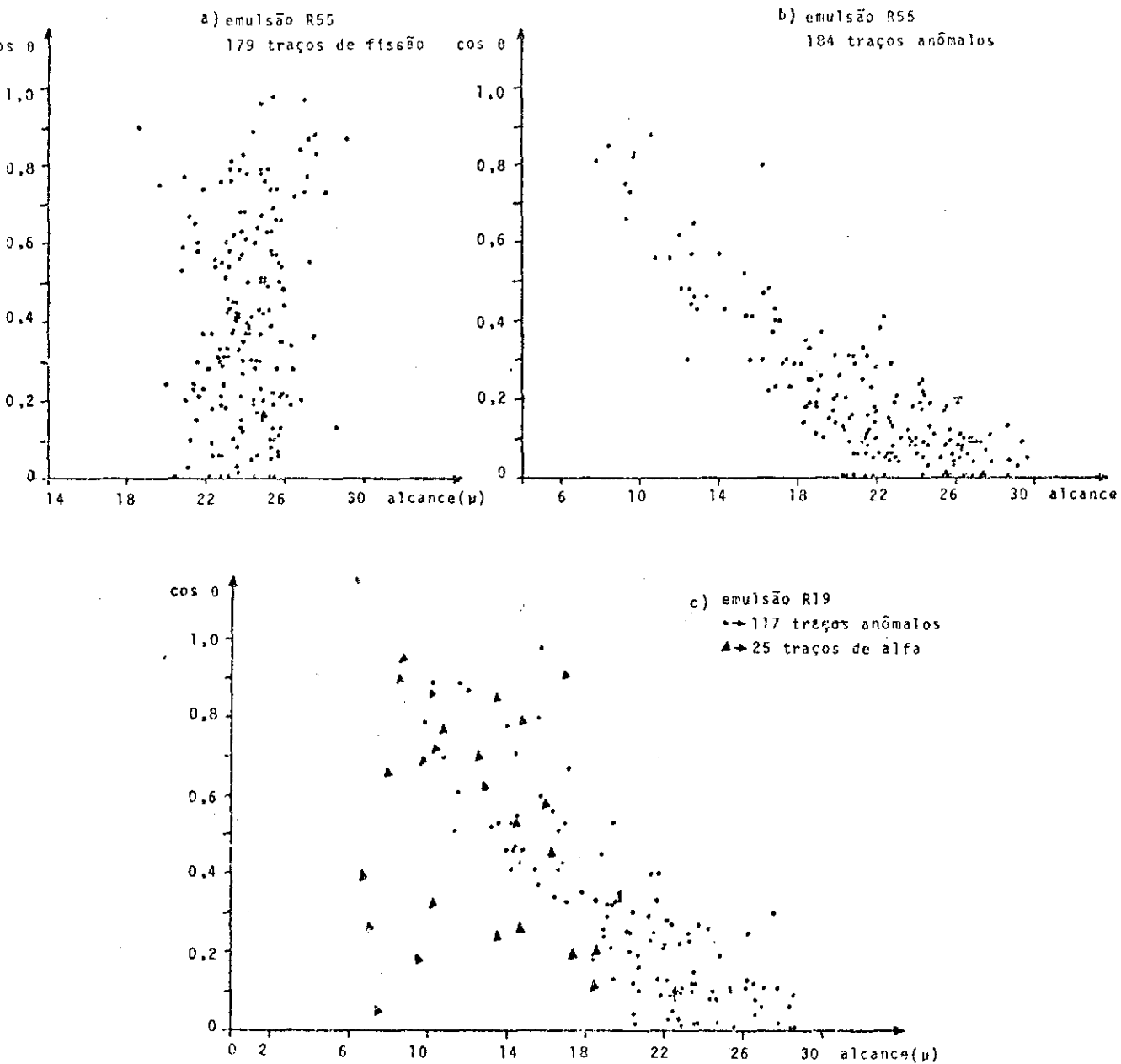


figura 8: Correlação entre alcance e ângulo zenital para traços de fissão, anômalos e de partícula alfa.

Resumimos as características dos traços anômalos, fissões e alfas que medimos em nossas emulsões, na tabela abaixo:

partículas \ características	Alfa	Fissões	Anômalos
	Alcance Médio	$\sim 12\mu$	$\sim (23,5 \pm 2,0)\mu$
Densidade de grãos	$\sim 0,6g/\mu$	$\sim 2,0g/\mu$	$0,9 \sim \sim 1,5g/\mu$
Distrib. angular	isotrópica	isotrópica	anisotrópica
Dist. em profundidade	-	uniforme	uniforme
Correlação entre alcance e densidade de grãos	não	não	sím
Correlação entre alcance e $\cos \theta$	não	não	sím

## CAPÍTULO 5

### Testes adicionais e conclusões

#### a) Testes do gel usado para fazer as emulsões.

Fizemos uma emulsão a partir do gel, porém sem carregamento de urânio. Esta emulsão não apresentou traços anômalos.

Fizemos também irradiações de alguns pedaços desta emulsão descarregada, com uma fonte externa de  $U_3O_8$  a uma distância de  $\sim 1\text{mm}$ , com tempos de irradiação de até 3 semanas.

Estes pedaços, revelados de modo que os traços das partículas alfa da fonte externa aparecessem próximos do "mínimo de ionização", não apresentaram traços anômalos.

Este resultado indicou não serem os anômalos decorrentemente intrinsecamente do urânio (exemplo: emissão de partícula com carga e massa intermediária entre alfa e fragmento de fissão) e correlacionou os anômalos com o carregamento de urânio da emulsão.

#### b) Variação da densidade superficial dos anômalos com o tempo de armazenamento da emulsão.

Os resultados de inúmeras medidas de densidade de traços que foram feitas em emulsões carregadas e reveladas quimicamente sob diversas condições de quantidade de revelador, tempo e temperatura, indicaram que a densidade superficial de anômalos variava de 0,4 a  $3 \times 10^3 \text{ cm}^{-2}$ . As mesmas medidas, feitas para pedaços de uma mesma emulsão, revelados em condições iguais, porém com tempo de armazenamento diferente (20 a 130 dias), pareciam indicar que o número de anômalos/ $\text{cm}^2$  não aumentava com o tempo de armazenamento.



Fizemos então uma emulsão carregada com urânio (carregamento  $\sim 1,2 \times 10^{17}$  átomos de urânio/cm<sup>2</sup>) e revelamos, sempre nas mesmas condições, alguns pedaços desta emulsão de modo que os traços de alfa do urânio aparecessem em "mínimo de ionização". As revelações foram feitas com intervalos de alguns dias entre uma e outra. Esta experiência foi feita para verificar a variação da densidade superficial de alfas e anômalos com o tempo de armazenamento da emulsão, a partir do dia do carregamento, fig. 9, abaixo.

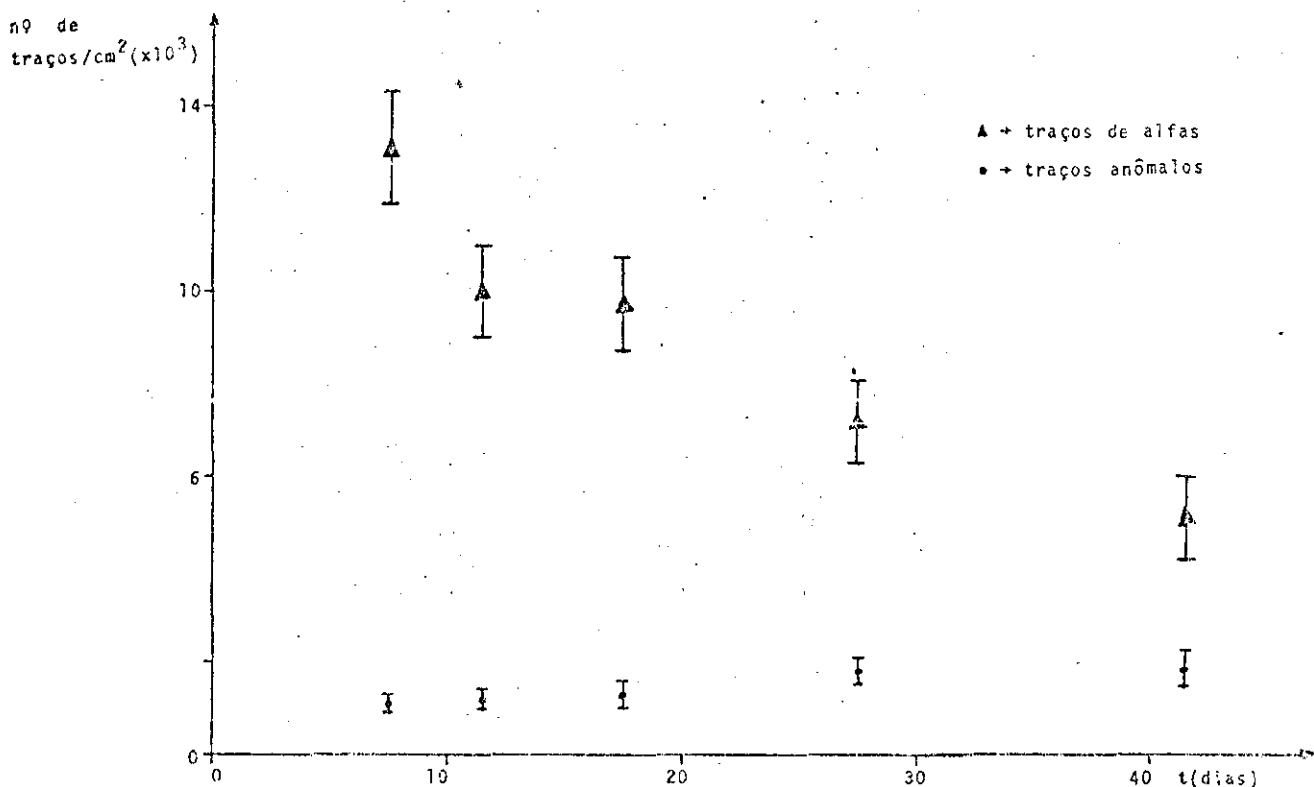


figura 9: Variação da densidade superficial dos traços anômalos e de partícula alfa com o tempo de armazenamento da emulsão.

Analisando a fig. 9 verifica-se que enquanto a densidade superficial dos alfas decresce com o tempo de armazenamento, a dos anômalos é aproximadamente independente do mesmo.

### Conclusões

I) Sobre os traços anômalos.

Se os traços anômalos estão relacionados com o carregamento de urânio da emulsão e independem do seu tempo de armazenamento então eles devem ter sido produzidos somente durante a secagem da emulsão carregada, e provavelmente são traços de partícula alfa do próprio urânio e/ou contaminação (do tipo P<sub>0</sub>) emitidos naquele período\*.

Então, embora não saibamos em que período da secagem eles foram produzidos, deve ser possível encontrar um fator de contração médio de secagem que levado em conta deve trazer a emulsão às condições médias de secagem em que os traços anômalos foram produzidos. Nestas condições, estes alfas (os anômalos) devem ter uma distribuição angular zenital aproximadamente isotrópica.

Variamos o fator de contração para procurarmos, para nossos dados de fissões e anômalos, qual o fator de contração que resultava na distribuição angular mais próxima da uniforme, através do teste  $\chi^2$ . Verificou-se que para fatores de contração de revelação da ordem de 2,5 a distribuição angular das fissões resultaram uniformes, e que para fatores de contração entre 6 e 8, fig. 10, pag. 39, as distribuições angulares dos anômalos resultaram razoavelmente uniformes.

Então os traços anômalos sofreram 2 fatores de contração: o de revelação e o "fator de contração médio de secagem" ( $FC_{total} = FC_{rev.} \times \overline{FC}_{secagem}$ ).

É interessante notar que a existência de 2 fatores de contração em nossas emulsões, tornou possível explicar os principais resultados que obtivemos sobre os traços anômalos, resumidos na tabela 2, pag. 35, ou seja:

---

\* Não analisamos, neste trabalho, porque os grãos dos traços anômalos parecem ter sido mais ionizados que os dos traços de alfa do urânio emitidos quando a emulsão já estava seca, o que pode ser visto, por exemplo, através da fig. 7b, pag. 33.

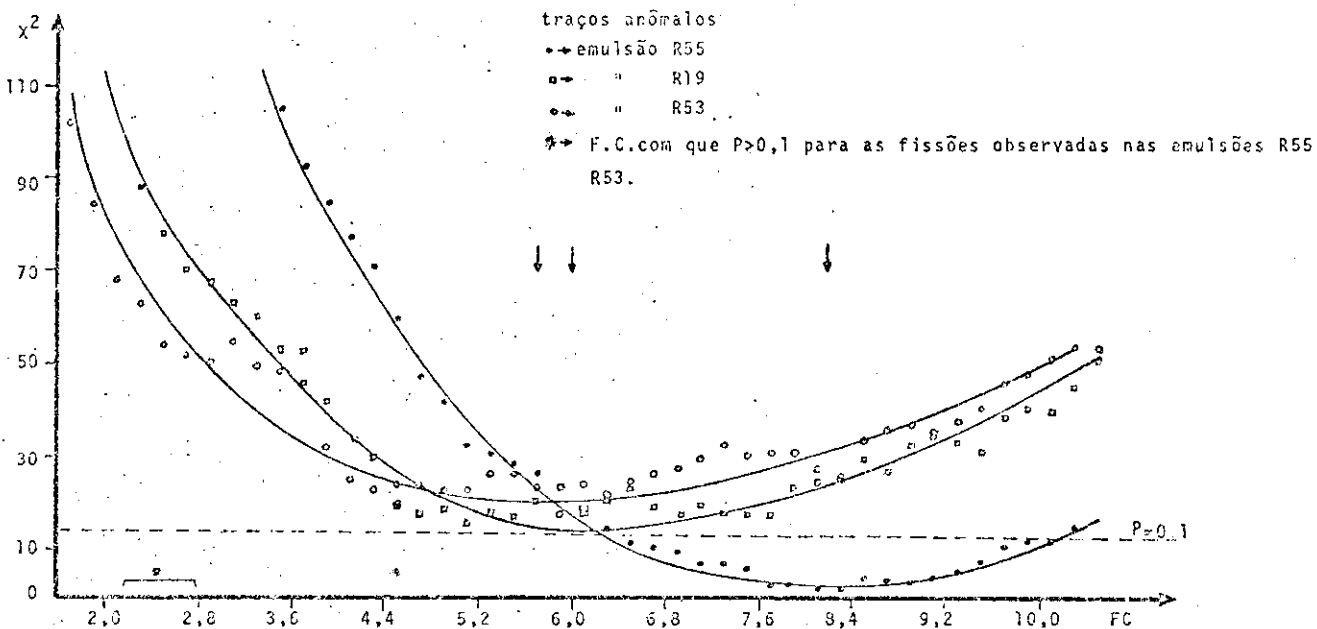


figura 10: Teste do  $\chi^2$  (9 graus de liberdade) contra distribuição uniforme em função do fator de contração.

Como não levamos em conta o fator de contração de secagem, quanto mais se afastasse de  $90^\circ$  o ângulo zenital de emissão dos anômalos, maior seria a densidade de grãos e menor o alcance dos traços observados, o que explica as correlações encontradas, a distribuição angular onde traços com  $\theta \sim 90^\circ$  foram observados em maior número e resultados como os da fig. 12 do apêndice 3, pag. 50, onde a emulsão R55 parece ter sofrido 2 fatores de contração na direção z, um da ordem de 2,5 relativo às fissões e outro da ordem de 7 relativo aos anômalos.

O fator de contração médio de secagem pode ser estimado, pois  $FC_{\text{secagem}} = FC_{\text{total}} / FC_{\text{revelação}}$ . Para as emulsões R55 e R53 obtivemos  $FC_{\text{secagem}} \cong 2,7$ . Como durante a secagem a emulsão perde  $\sim 10$  volumes de água, podemos concluir que a detecção dos traços anômalos se deu na parte final da secagem.

II) Viabilidade da utilização de emulsões carregadas como dosímetro de neutrons lentos.

a) Tomando-se pequenos cuidados com o processamento das emulsões ver cap. 2, pag. 19, um observador experimentado consegue distinguir facilmente ao microscópio, para aumento  $\approx 200$  vezes, os traços de fissão da grande maioria dos traços anômalos.

No entanto, os traços anômalos de menor alcance (ver foto nº 4, pag. 24) e ângulo zenital  $\approx 45^\circ$  apresentavam densidade de grãos tal que poderiam ser confundidos com fissões, notadamente se estes traços fossem superficiais; neste caso a medida de comprimento do traço não diferenciaria anômalo de fissão, não se podendo decidir entre anômalo ou fissão onde um dos fragmentos perde maior parte de sua energia fora da emulsão.

Para a contagem da densidade superficial das fissões em algumas emulsões carregadas utilizadas como dosímetro de neutrons observamos o seguinte critério de análise para estes traços duvidosos:

Eles tinham suas coordenadas anotadas e eram reanalisadas mais detidamente com objetiva de imersão (aumento de  $\approx 800$  vezes); nesta observação os traços que não podiam ser diferenciados pelas características apresentadas (estudadas no capítulo 4) eram contados como traços de fissão.

Supondo-se que todos os traços anômalos superficiais foram contados como traços de fissão, estimaremos qual o aumento indevido no número de fissões observadas a que este critério conduziria numa emulsão que apresentasse uma razão entre fissões e anômalos observados de  $\approx 1 : 1$ .

Os traços anômalos foram emitidos durante a secagem quando a emulsão tinha  $\approx 2,7$  vezes o volume da emulsão seca, - ver final do cap. 4, com alcance  $\approx 30\mu$ .

Pode-se mostrar, ver apêndice 4, que a probabilidade de  $W(R)$  de que traços emitidos isotropicamente com alcance  $R$  sejam

teriores à uma emulsão de espessura  $E$  ( $E > R$ ), é dada por:

$$W(R) = 1 - \frac{R}{2E}$$

Então para os traços anômalos acima a probabilidade de que eles sejam superficiais à emulsão é:

$$1 - W(R) = \frac{R}{2E} = \frac{30\mu}{2 \times 145\mu} = 0,1$$

onde tomamos  $E$  como o produto da espessura da emulsão seca ( $\sim 53\mu$ ) por 2,7.

Como já foi dito no cap. 3, pag. 25,  $\sim 10\%$  dos anômalos podiam ser confundidos com traços de fissão quando a diferenciação era feita através da densidade de grãos dos traços; este percentual pode ser verificado, por exemplo, através da fig. 7a, pag. 33 (traços com alcance  $\approx 12\mu$  e com densidade de grãos  $\approx 1,5$  grãos/ $\mu$ ).

Então  $\sim 10\%$  dos anômalos superficiais à emulsão não podem ser diferenciados de fissões, resultando num aumento indevido na densidade superficial das fissões observadas de  $\sim 1\%$ .

Evidentemente os aumentos tanto da razão entre as densidades superficiais de fissões e anômalos numa emulsão como de sua espessura conduzem a uma diminuição do erro acima estimado.

b) Irradiamos com neutrons frios 4 conjuntos de emulsão carregada-mica-alvo de urânio.

Como já foi abordado na introdução, a dose total de neutrons que atravessa tanto a mica como a emulsão é a mesma e portanto a razão entre as densidades superficiais de fissões observadas na mica e na emulsão deve, para cada conjunto, independer das condições em que foram feitas as irradiações, ou seja:

$$\text{MICA: } N_{F/cm^2} = \phi \sigma N_U R \epsilon C^{235} t_{irr.}$$

$$\text{EMULSÃO: } N'_{F/cm^2} = \phi \sigma N'_U E C^{235} t_{irr.}$$

onde:

$\phi$  = fluxo total (neutrons/cm<sup>2</sup>)

$\sigma$  = seção de choque por fissão do <sup>235</sup>U, induzida por neutrons

$N_U$  = número de átomos de urânio/cm<sup>3</sup> no alvo de urânio

$R$  = alcance médio dos fragmentos de fissão no alvo

$\epsilon$  = eficiência da mica como detetor de fragmentos de fissão nas condições da experiência

$C^{235}$  = abundância isotópica do <sup>235</sup>U no urânio natural

$t_{irr.}$  = tempo de irradiação

$N'_U$  = número de átomos de urânio/cm<sup>3</sup> na emulsão

$E$  = espessura da emulsão

Então:

$$\frac{N_{F/cm^2}}{N'_{F/cm^2}} = \frac{N_U R \epsilon}{N'_U E} = \text{constante}$$

	Mica: $N_{F/cm^2} \times (10^4)$	Emulsão: $N'_{F/cm^2}$	$N_{F/cm^2} / N'_{F/cm^2}$
1º conjunto	9,49 ± 0,23	2384 ± 40	39,8 ± 1,2
2º "	2,90 ± 0,09	678 ± 25	42,7 ± 2,1
3º "	10,50 ± 0,17	2548 ± 50	41,2 ± 1,1
4º "	11,87 ± 0,24	2990 ± 53	39,7 ± 1,1

Na tabela acima observa-se, através de  $N_{F/cm^2} / N'_{F/cm^2}$ , a consistência da calibração da dose de neutrons empregada.

Observou-se também que a densidade superficial dos anômalos resultou aproximadamente constante ( $\sim 650$  traços/cm<sup>2</sup>) e não se correlacionou com  $N'_{F/cm^2}$ .

APÊNDICE 1

As pesagens efetuadas durante o carregamento da emulsão

Nas pesagens que efetuamos, utilizamos uma balança cuja precisão era 10µg. Colocamos como erro de nossas pesagens o desvio padrão quando efetuamos diversas medidas e 100µg quando fizemos somente uma medida. A razão deste erro foi porque raramente obtivemos um desvio padrão 100µg nas inúmeras vezes que utilizamos a balança.

A umidade relativa do ar, durante as pesagens, esteve sempre entre 60% e 70%.

A quantidade de urânio colocada na emulsão:

$$\begin{aligned} \text{frasco} + 0,27\text{ml de nitrato de urânio} &\sim 0,125\text{M} \\ &= (25,18677 \pm 0,0001)\text{g} \\ \text{frasco} &= (24,89370 \pm 0,00003)\text{g} \\ 0,27\text{ml de nitrato de urânio} &= (0,29307 \pm 0,00013)\text{g} \end{aligned}$$

A calibração da quantidade de urânio no nitrato de urânio ~0,125M

$$\begin{aligned} \text{cadinho} + 10\text{ml de nitrato de urânio} &= (22,51289 \pm 0,0001)\text{g} \\ \text{cadinho} &= (12,12645 \pm 0,00002)\text{g} \\ 10\text{ml de nitrato de urânio} &= (10,38644 \pm 0,00012)\text{g} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{cadinho} + \text{U}_3\text{O}_8 &= (12,49936 \pm 0,00004)\text{g} \\ \text{cadinho} &= (12,12645 \pm 0,00002)\text{g} \\ \text{U}_3\text{O}_8 &= (0,37291 \pm 0,00006)\text{g} \end{aligned}$$

E a quantidade de urânio contida no cadinho é:

$$U = \text{U}_3\text{O}_8 \times 0,8499 = (0,31623 \pm 0,00005)\text{g}$$

Através desta calibração obtivemos que

(10,38644 ± 0,00012)g de nitrato de urânio 0,125M  
= (0,31623 ± 0,00005)g de urânio

Resíduo de complexo de urânio

O resíduo que ficou no frasco em que preparamos o complexo de urânio, depois de seco, pesou:

frasco + resíduo = (24,89533 ± 0,00003)g

frasco = (24,89470 ± 0,00003)g

resíduo = (0,63 ± 0,06)mg

- - - - -

Resíduo de gel + complexo de urânio

O resíduo que ficou no frasco em que preparamos a emulsão carregada (gel + complexo de urânio) pesou:

frasco + resíduo de gel + complexo de urânio  
= (24,02679 ± 0,00003)g

frasco = (23,97284 ± 0,00006)g

resíduo de gel = (0,05395 ± 0,00009)g  
= (54,0 ± 0,1)mg

- - - - -

Perda de gel + complexo de urânio nas bordas da emulsão

Esta perda lateral de emulsão foi cuidadosamente cortada e limpa, e pesou:

perda lateral = (135 ± 1)mg



APÊNDICE 2

Verificação se os traços anômalos se comportavam como traços de partículas alfa emitidos após a secagem da emulsão

1) Bombardeamos várias emulsões carregadas com urânio com partículas alfa e fragmentos de fissão de uma pequena fonte externa de  $Cf^{252}$  (atividade  $\sim 10^{-4}$  u Ci).

Como a região ativa da fonte tinha  $\sim 0,3\text{cm}^2$ , foi feita uma máscara nesta região de modo que um bombardeamento onde a fonte ficasse justaposta a uma emulsão, somente uma pequena região era bombardeada pela fonte, deixando áreas livres que permitiam comparar sem mistura as regiões que tinham sido ou não bombardeadas.

Nestes testes, novamente, partimos de revelações para alfa e as enfraquecemos gradativamente.

Do exame ao microscópio óptico destas emulsões, contamos:

i) Em emulsões reveladas sem inibir o registro das partículas alfa, essas partículas do urânio ou do califórnio, e as fissões do califórnio eram difíceis de diferenciar (todos os traços apresentavam número muito grande de grãos/u).

ii) Em emulsões reveladas de modo que os traços de alfa do urânio se apresentavam perto do mínimo de ionização (alcançe  $\sim 10 - 14$  u e número de grãos  $\sim 10$ ), diferenciava-se bem os traços de fissão do califórnio dos de alfa do califórnio ou do urânio, e estes entre si somente pelo fato de que, na região bombardeada, os primeiros eram os que começavam próximos da superfície superior da emulsão e os segundos eram aqueles que se encontravam no interior da emulsão.

Nestas emulsões era difícil saber se haviam os traços anômalos pois a grande maioria dos traços ( $\sim 10^5/\text{cm}^2$ ) eram

iii) Em emulsões reveladas de modo que na região bombardeada sã haviam traços de fissão do califórnio, e fora dela não haviam traços de alfa do uranio, o exame mais minucioso mostrou que tanto na região bombardeada como fora dela haviam traços em sua grande maioria interiores à emulsão, com densidades superficiais  $\sim 10^3 \text{ cm}^2$  e com as características citadas nas páginas 24 e 25 : os traços anômalos.

### Conclusão:

A perda de energia por unidade de comprimento de uma partícula alfa do urânio ( $E \sim 4,8 \text{ M.e.v.}$ ) ou do califórnio<sup>252</sup> ( $E \sim 6,2 \text{ M.e.v.}$ ) dentro da emulsão (que consideraremos meio homogêneo e composto de AgBr somente, por simplicidade) através de choques e elásticos com eletrons, ou melhor, através de ionizações de átomos de Ag da emulsão, produzindo na região próxima a sua trajetória grãos reveláveis, pode ser dada aproximadamente pela fórmula de Bohr:

$$\left(-\frac{dE}{dx}\right)_{\text{Ag}} = \frac{4 \pi z^2 e^4}{m_e v^2} N Z \ln\left(\frac{2 m_e v^2}{I}\right)$$

onde:

$m_e$  = massa do eletron

$v$  = velocidade da partícula alfa

$N Z$  = densidade de eletrons de átomos de Ag/cm<sup>3</sup>

$I$  = potencial de ionização médio da Ag

$z$  e  $\approx 2$  e  $\bar{e}$  é a carga da partícula alfa

Podemos escrever a equação acima da forma:

$$\left( - \frac{dE}{dx} \right)_{Ag} = \frac{K z^2}{E} \ln\left(\frac{E}{I \cdot 2800}\right)$$

onde:

K = constante

E = energia da partícula alfa

Vemos então que para E significativamente maiores - que 2800 I ( $\sim 0,8$  M.e.v. para  $I \sim 300$  e.v.),  $\frac{dE}{dx} \sim \frac{1}{E}$ , ou seja a diminuição da energia da partícula ao atravessar a emulsão leva a um aumento da ionização específica/unidade de comprimento.

Porém, a medida que a energia da partícula diminui, processos de troca de carga ( $He^{++} + e \rightleftharpoons He^+$ ) começam a diminuir a carga efetiva ( $z^{ef} = 1,88$  para  $E = 1,7$  M.e.v.,  $z_{ef} = 1,5$  para  $E = 0,65$  M.e.v.) da partícula alfa e além disto quando  $E \sim 2800$  I o termo entre parenteses na equação cai rapidamente para zero. Então a ionização específica/unidade de comprimento passa por um máximo e cai rapidamente para zero.

Então, o fato da fonte de califórnio ser externa e possuir auto-absorção não desprezível faz com que (pelo menos em relação às partículas alfa que deixaram traços visíveis na emulsão) as partículas alfa percam energia antes de penetrar na emulsão, no entanto a maior ionização específica/unidade de comprimento destas partículas ocorre dentro da emulsão (meio para fim do alcance conforme nossas considerações anteriores).

Da equação acima podemos ver que o comportamento  $-\frac{dE}{dx}$  em função da energia das partículas alfa do urânio ou do califórnio é bastante semelhante.

Deste modo podemos afirmar, que na experiência levada a efeito, que se uma determinada revelação discriminou todas as partículas alfa do califórnio, ela deve ter discriminado também as do urânio. Então, se os traços anômalos são observados, isto significa que os grãos revelados destes traços foram significativamente mais ionizados que os das partículas alfa do urânio ou califórnio.

2) Outro teste que fizemos foi o de revelar 4 pedaços adjacentes de uma emulsão carregada com urânio, não irradiada com neutrons, de tal modo que observamos ao microscópio traços anômalos (fissões se houvessem) e os traços de partículas alfa do urânio perto do mímimo de ionização. Os 4 pedaços foram revelados em iguais condições variando-se apenas o tempo de revelação de 60' até 240', ver pag. 20, e os resultados, fig. abaixo, mostram que enquanto o número de alfas/cm<sup>2</sup> cresce exponencialmente com o tempo de revelação, os anômalos saturam em  $\sim 3 \times 10^3$  cm<sup>-2</sup>. Este resultado mostra que os traços anômalos, nesta experiência, não se comportam como partículas alfa do urânio, pois se isto ocorresse, sob qualquer critério de diferenciação alfa-anômalo, as duas curvas apresentariam comportamentos semelhantes.

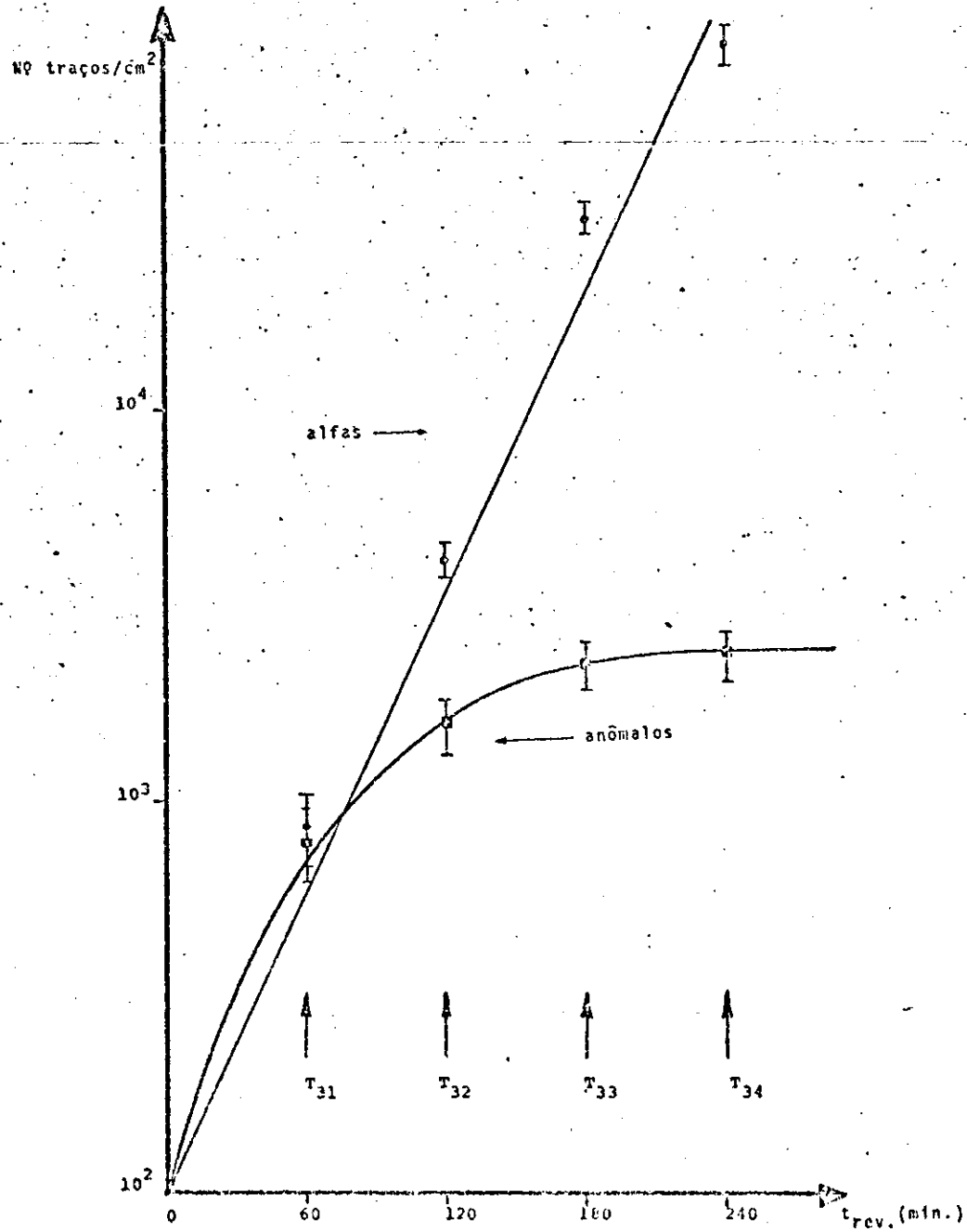


figura 11: Variação da densidade superficial dos traços anômalos e de partícula alfa com o tempo de revelação.

### APENDICE 3

#### Cálculo do fator de contração sofrido pelas emulsões R55, R19 e R53.

A contração das emulsões ocorre porque durante a fixação, os grãos de AgBr que não foram desenvolvidos pelo agente revelador são dissolvidos pelo fixador, e como estes são fracamente majoritários a emulsão perde fração apreciável de seu volume inicial, restando depois da fixação apenas a gelatina e os grãos revelados.

Para medirmos o fator de contração sofrido por nossas emulsões, isto é, a razão entre os volumes antes e depois da fixação, usamos 2 métodos experimentais:

1) Como nossas emulsões eram coladas sobre vidro, obtinhamos a espessura da emulsão seca através da diferença entre as espessuras da emulsão seca + vidro suporte e do vidro, antes de colar a emulsão. Estas medidas eram feitas em diversas regiões da emulsão e do vidro, com micrômetro de precisão.

Durante as nossas medidas ao microscópio, mediamos sistematicamente a espessura da emulsão através de um micrômetro de precisão acoplado ao microscópio, obtendo-se assim a espessura média da emulsão após a revelação.

O fator de contração médio (FC = espessura média da emulsão seca/espessura média da emulsão revelada) calculado deste modo deu 2,5 para as emulsões R55, R19 e R53.

2) Na figura 12 referente à emulsão R55 representamos em abcissas os valores das medidas (efetuadas ao microscópio) das projeções dos traços que classificamos como fissões e anôma-

los sobre o plano da emulsão, e em ordenadas as projeções dos mes  
nos sobre a direção z (perpendicular ao plano da emulsão).

Como a distribuição angular dos fragmentos de fissão de urânio, induzida por nêutrons frios é isotópica deveríamos obter uma elipse com eixo menor na direção z se houvesse contração somente nesta direção. E sô isto pode ocorrer porque a emulsão está colada sobre um vidro suporte que inibe a contração da mesma nas direções do plano perpendicular à direção z.

Da comparação dos valores obtidos para o semi-eixo maior com o valor extrapolado para o semi-eixo menor (isto porque traços de ângulo zenital pequeno são pouco prováveis e mais fáceis de não serem vistos numa varredura ao microscópio) pudemos obter o fator de contração sofrido pelas emulsões, através dos traços de fissão. Deste modo, fig. 12a, obtivemos  $FC \approx 2,4$  para a emulsão R55, e tomamos o mesmo valor para a emulsão R19 (não possuía traços de fissão para fazer este tipo de gráfico), porque foram reveladas em condições idênticas e obtivemos,  $FC \approx 2,2$  para a emulsão R53.

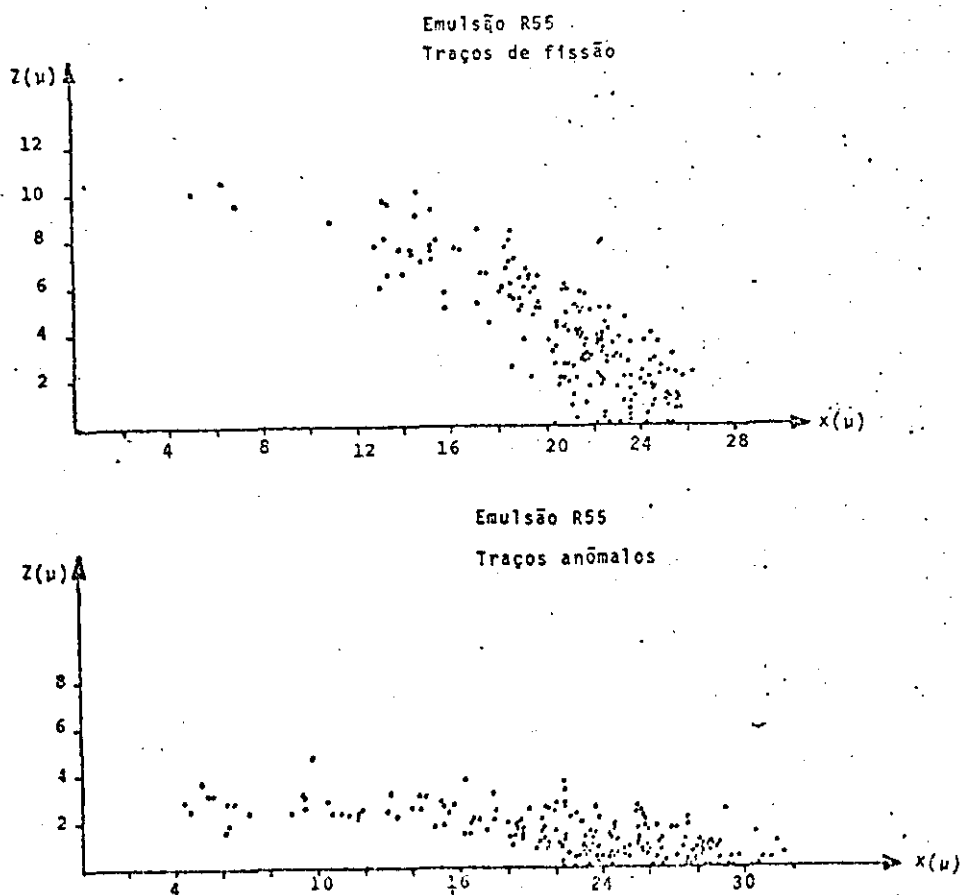


figura 12: Projeção do alcance dos traços de fissão e anômalos sobre o plano da emulsão, x, e sobre um plano perpendicular a este, z.

Nota-se, comparando as fig. 12a e b que, enquanto as elipses dos traços que classificamos como fissão indicam um fator de contração da ordem de 2,4 para estas emulsões, se impuséssemos isotropia de distribuição angular zenital para os traços anômalos, a fig. 11b nos indica um fator de contração da ordem de 7 para traços encontrados numa mesma varredura, numa mesma emulsão.

Os fatores de contração que usamos foi a média entre os obtidos nos itens 1) e 2). Utilizamos  $FC = 2,4$  para as emulsões R55, R19 e R53.

APENDICE 4

Probabilidade de que traços emitidos isotropicamente com alcance R sejam interiores a uma emulsão de espessura E (E > R)

O nº de traços por unidade de volume, N, que tem ângulo zenital entre  $\theta - \theta + d\theta$  e vem de altura compreendida entre  $t - t + dt$ ,  $\bar{e}$ :

$$N \frac{d\Omega}{4 \pi} dt = N'(\theta) d\theta dt$$

Para determinado valor de  $\theta$  a mínima distância que as extremidades dos traços podem ter das superfícies da emulsão para não serem superficiais  $\bar{e}$ :  $R \cos \theta$ .

Então o nº de traços emitidos com ângulo zenital entre  $\theta - \theta + d\theta$  e interiores à emulsão  $\bar{e}$  dado por:

$$N \frac{d\Omega}{4 \pi} 2 \int_{R \cos \theta}^T \frac{dt}{T} = N \left( 1 - \frac{R \cos \theta}{E} \right) \text{sen } \theta d\theta$$

E a probabilidade de que traços emitidos com alcance R sejam interiores à emulsão  $\bar{e}$  dada por:

$$W(R) = \int_0^{\pi/2} \left( 1 - \frac{R \cos \theta}{E} \right) \text{sen } \theta d\theta = 1 - \frac{R}{2 E}$$



BIBLIOGRAFIA

- 1) R.L. Fleischer e P.B. Price, Phys. Rev., B63 (1964)133
- 2) J.H. Roberts, R.Gold e R.J. Armani, Phys. Rev.,174(1968),  
1482
- 3) M.P.T. Leme, C.Renner e M. Cattani, Nucl. Instrum.Methods,  
91(1971), 577
- 4) E. Segrè, Phys. Rev., 86 (1952), 21
- 5) A. Spadavecchia e B. Hahn, Helv. Phys. Acta, 40 (1967),1063
- 6) D. Galliker, E. Hugentobler e B.Hahn, Helv. Phys. Acta, 43  
(1970),593
- 7) W. Gentner e D. Storzer, Trans. Amer. Nucl. Soc.,15 (1972),  
125
- 8) H.G. De Carvalho, J.B. Martins, I.O. De Souza e O.A.P. Tavar  
res, comunicação 180 - 2.1, SPPC - 1976
- 9) R.A.M.S. Nazareth, tese de Mestrado, CBPF, Rio de Janeiro,  
1971