



INSTITUTO DE ENGENHARIA NUCLEAR

RT-IEN-01/2009

**MONTAGEM DO SISTEMA PARA DOSIMETRIA DE
NÊUTRONS COM DETECTORES DE BOLHAS**

por

Luiz C. Reina P. da Silva

Paulo R. Ramos

Luis F. Bellido

Mario Pereira

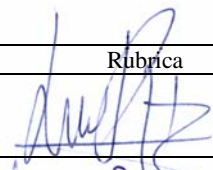
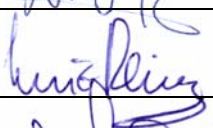
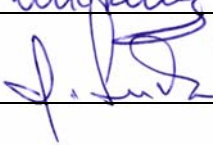
Ademir X. Silva

J. Regis dos Santos

Fevereiro/ 2009

NOTA
ESTE RELATÓRIO É PARA USO EXCLUSIVO DO INSTITUTO DE
ENGENHARIA NUCLEAR

O direito a utilização de informações relacionadas ao trabalho de pesquisa realizado no IEN é limitado aos servidores da CNEN e pessoal de organizações associadas, nos limites dos termos contratuais que regem os respectivos convênios. O conteúdo dos relatórios não pode ser separado ou copiado sem autorização escrita do IEN.

Título: Montagem do sistema para dosimetria de nêutrons com detectores de bolha				
Autor(es): Luiz C. Reina, Paulo R. Ramos, Luis F. Bellido, Mario Pereira, Ademir X. Silva. J. Regis dos Santos				e-mail: Lbellido@cnen.gov.br
Identificação: RT-IEN-01/2009	Nº de páginas: 09	Tipo de Divulgação: Irrestrita (x) Restrita ()	Divulgar para: IEN	Localização: Intranet.ien
Publicação externa associada (congresso/periódico):				
Palavras chave: Dosimetria de nêutrons, detectores de bolhas, RDS-111, contagem de bolhas, análise de imagens.				
<p>Resumo: São descritos a montagem e o procedimento desenvolvido para a aquisição e análise de imagens obtidas com os novos detectores de bolha BDS, para dosimetria de nêutrons ou nas medições de fluência e distribuição de energia de nêutrons de uma instalação nuclear.</p>				
<p>Abstract: This report describes the experimental setup and the developed procedure for acquiring and processing of digital images for data analysis of personal neutron dosimetry, for the new BDS bubble detectors (superheated drop detectors), or in the neutron fluence and energy measurements of a nuclear facility.</p>				
Emissão		Nome	Rubrica	Data
Data:	Elaboração:	Luis F. Bellido		20/02/2009
Divisão:	Revisão:	Luiz C. Reina		27/02/2009
Serviço:	Aprovação:	Júlio Cesar Suita	 Julio Cesar Suita Diretor do IEN Mat. 4151-7	06/03/2009
<p>Instituto de Engenharia Nuclear: Via 5 s/n, Cidade Universitária, Ilha do Fundão, CEP 21945-970, CP 68.550, Rio de Janeiro – RJ - Brasil. Tel.: 00 55 21 2173-3700 Internet: www.ien.gov.br</p>				

1. INTRODUÇÃO

Em radioproteção se faz necessário a avaliação da dose efetiva, que não é mensurável, devendo considerar as diferentes situações em que o trabalhador é exposto à radiação, tais como a duração, os diferentes tipos de radiação, se é parcial, total, interna, externa, etc. Em termos operacionais a exposição externa é realizada através de dosímetros pessoais e a dose é expressa em dose equivalente pessoal.

Para a integração dos diferentes dados dosimétricos acima referidos, é requerida uma completa caracterização das condições de exposição ocupacional presente na instalação nuclear ou radiativa, e é primordial ter a disposição equipamentos e ferramentas adequados para a realização de tais medições.

Numa instalação onde há a produção de radioisótopos, seja por fonte de nêutrons, ou por aceleradores de partículas ou fótons de alta energia, haverá sempre a presença de nêutrons, que são penetrantes devido à ausência de carga elétrica, e ao colidir com a matéria produzem íons, radicais e elétrons livres, e ainda podem ser capturados por certos núcleos (ativação).

A dosimetria de nêutrons normalmente é feita através da técnica de albedo, e/ou com detectores de traço (PADC, CR39, etc.) ou com detectores de termoluminescência - TLD ($^7\text{LiF}/^6\text{LiF}$), sendo que estes apresentam limitações e são dosímetros passivos. Nas últimas décadas vem sendo desenvolvidos novos dispositivos conhecidos como “*superheated droplet detectors*” - SDD ou detectores de bolha. Este último apresenta uma grande vantagem sobre os demais, por permitir a visualização instantânea da taxa de exposição, pelo número de bolhas formadas na interação com os nêutrons.

Em 2008, o Programa de Engenharia Nuclear da COPPE, adquiriu o kit de detectores de bolha BDS36 e um recompressor Modelo RC-18, estes comercializados pela Bubble Technology Industries – BTI, do Canadá. O kit BDS consiste em uma série de 36 tubos que abrangem a faixa de nêutrons de 10 keV até 20 MeV. O equipamento RC-18 permite recuperar os detectores de bolha para novas medições, desta forma é um sistema relativamente barato e pode ser reutilizadas centenas de vezes.

No presente trabalho apresenta-se o sistema montado no IEN para a realização da dosimetria de nêutrons com detectores de bolha, ou levantamento da fluência e distribuição de energia de nêutrons de uma instalação. Reporta-se o desenvolvimento da rotina em Macro (em Visual Basic) para as contagens de bolhas utilizando o programa computacional Image Pro 4, e os resultados obtidos na aplicação destes detectores no levantamento dosimétrico de nêutrons durante a operação do ciclotron RDS-111 do Instituto de Engenharia nuclear.

2. DESCRIÇÃO DO MÉTODO E DO SISTEMA DE AQUISIÇÃO

2.1. Descrição do Método

No kit adquirido da BTI Inc. há seis conjuntos de tubos com seis tipos de emulsões diferentes, uniformemente distribuídos em um gel aquoso, de modo a cobrir a faixa de energia de nêutrons com os seguintes limites de energia: 10 keV, 100 keV, 600 keV, 1,0 MeV, 2,5 MeV e 10 MeV. Cada tubo BDS vem de fábrica com seu respectivo certificado de calibração. Para a determinação da dose de exposição, basta contar o número de bolhas formadas durante a exposição aos nêutrons e dividir pelo fator apresentado no certificado ou no rotulo do tubo, que está logo abaixo da identificação do código de barras.

Para a contagem de bolhas dos referidos tubos foi montado no SEAQE/IEN o sistema apresentado na Figura 1. Utiliza-se uma câmara fotográfica digital com resolução de 3,34 Mega pixels, uma mesa rotatória graduada, e as imagens obtidas são processadas através do programa de análise de imagens *Image Pro Plus* Versão 4, conforme o procedimento descrito na seção 2.3.

2.2. Sistema de Aquisição

A mesa rotatória serve para obter imagens dos tubos BDS para as análises em três dimensões (trabalho em andamento) ou quando houver uma grande quantidade de bolhas no tubo BDS, devido a uma alta taxa

de nêutrons. Neste último caso, dever-se-á obter pelo menos 13 imagens a cada 15° , correspondendo a uma varredura de 180° do corpo de prova (tubo), em torno do seu eixo vertical. Com a rotação do tubo é possível, em determinados ângulos, melhorar a visualização das bolhas, já que estas tendem a aparecer individualizadas.

As imagens são obtidas com uma câmara fotográfica digital Nikon Modelo COOLPIX 995 a uma distancia de 24 cm do corpo de prova, utilizando-se um diafragma de 5,3, velocidade de 1/125, sensibilidade de 400 ASA, operada na função MACRO e modo AUTOMÁTICO. Estas imagens são gravadas no formato TIFF (*Tagged Image File Format*) com 16 milhões de cores (24 bits) com tamanho de 2048 x 1536 pixels de 9327 kB, e o nome atribuído ao arquivo será constituído pela identificação do tubo, contendo a energia limiar do tubo, o fator de sensibilidade e o número que identifica a imagem obtida (ver Tabela 2).

Após a transferência das imagens adquiridas para o disco rígido de um computador (PC – IBM compatível) executa-se o tratamento da imagem com o programa Adobe Photoshop Versão 6,0. Inicialmente, corrigem-se manualmente os ajustes de níveis, para remover eventuais ruídos, e em seguida se reduz a imagem para 256 cores em cinza (8 bits), obtendo um arquivo com 3075 kB.

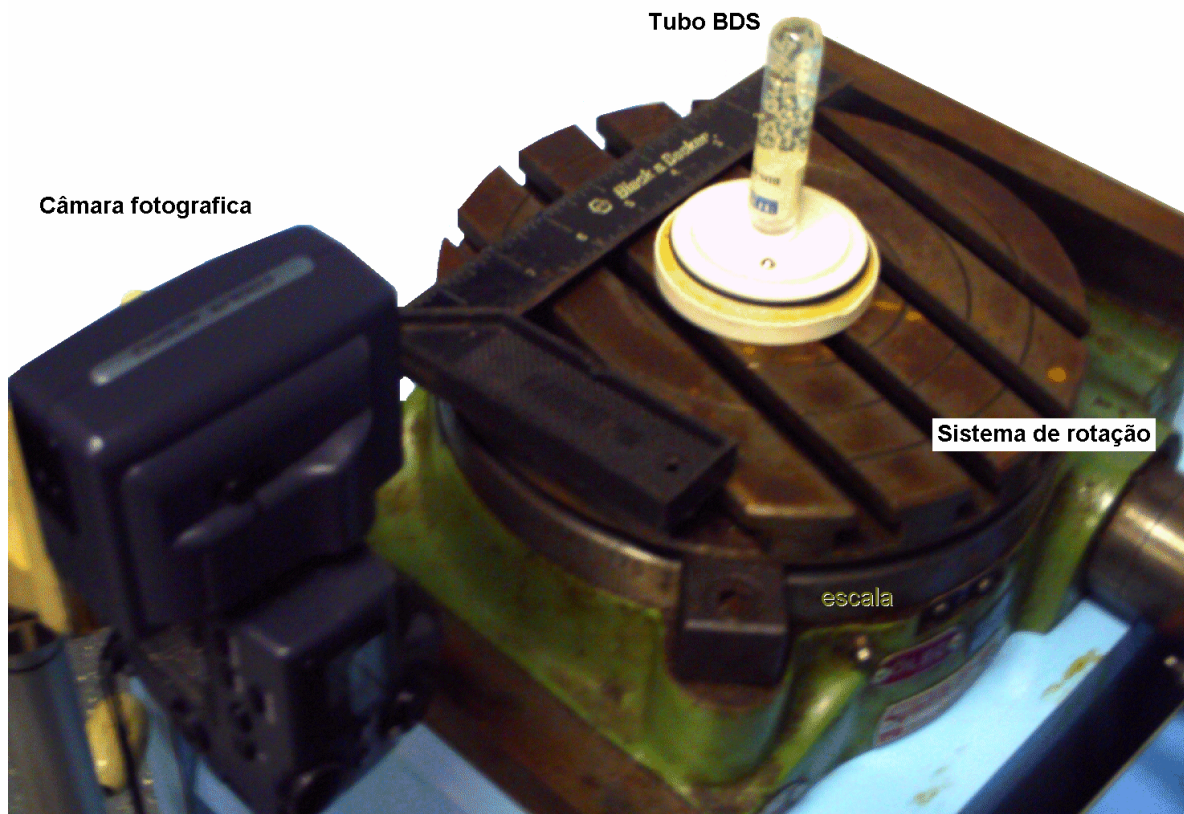


Figura 1 Sistema para aquisição de imagens montado no IEN

2.3. Processamento das imagens

O programa de análise utilizado é o *Image Pro Plus* que é um software específico para o processamento de imagens em 2D e 3D, com extensas ferramentas de medida e muito apropriado para a contagem de polígonos fechados (bolhas), permitindo ainda a elaboração de macros. O programa disponibiliza, através do comando *Count/Size*, opção: *Measure*, três opções de análise com relação à intensidade e tamanho dos objetos, estes são: Modo Manual, Automático Claro e Automático Escuro. Mas, é necessário selecionar previamente alguns parâmetros, para avaliação linear e espacial dos objetos, e fornecer os respectivos valores inferiores e superiores. Os parâmetros escolhidos no presente trabalho são:

- **Área** – área de cada bolha representada na imagem;
- **Aspecto** – relação entre o maior e o menor eixo de cada bolha medida;
- **Diâmetro** (max.) (médio) (min.) – Diâmetros máximo, médio e mínimo das bolhas;
- **Margem** – distribuição relativa da densidade óptica do objeto medida do centro para a periferia; esta medida serve para diagnosticar a espessura da parede da bolha em relação ao seu tamanho;
- **Perímetro** – perímetro da bolha;
- **Esfericidade** – medida de esfericidade da bolha: $(\text{Perímetro}^2)/(4 \cdot \pi \cdot \text{Área})$.

Na tabela a seguir encontram-se os valores, dos referidos parâmetros, utilizados nas análises de bolhas dos tubos BDS.

Tabela 1. Limites estabelecidos para os parâmetros de análise de bolhas.

	Limites*	
Área	75	3700
Aspecto	1	1,9
Diâmetro (max.)	10	146
Diâmetro (médio)	7	90
Diâmetro (min.)	9	60
Margem	0,2	0,4
Perímetro	30	265
Esfericidade	1	2

* Os valores acima estão em elementos de imagem (“pixel”)

Em vista do elevado número de imagens por amostra, e principalmente para o caso de tubos com mais de 130 bolhas, foi desenvolvida uma macro (conjunto de comandos e instruções) escrita em *Visual Basic* para a realização de análise em lotes (“*batches*”). Este macro está baseado no seguinte algoritmo:

1. Aplicação de seqüência de filtros para unir possíveis descontinuidades nas paredes das bolhas;
2. Aplicação de filtro de tons de cinza para reconhecimento automático das bolhas;
3. Aplicação de filtro morfológico para eliminação de bolhas sobrepostas;
4. Mensuração das bolhas individualizadas e;
5. Gravação dos resultados em arquivo formatado.

O *macro* é executado através da tecla F12 e os arquivos com as imagens dos tubos a serem analisados devem constar na pasta Imagens <c:\Bolhas\Imagens>. O programa realiza as contagens das bolhas de forma automática seguindo os critérios predefinidos dos parâmetros acima descritos e que constam no *script* BOLHAS.SCR. Em seguida, utiliza-se o modo interativo, para eliminar as bolhas sobrepostas e/ou separar bolhas pedunculadas (muito agregadas) e depois, marcam-se manualmente, as bolhas que eventualmente não foram marcadas, i.e., aquelas que foram rejeitadas no modo automático por não estarem de acordo com os parâmetros estabelecidos. Para a marcação, basta clicar sobre as bolhas com a tecla esquerda do mouse, ver Fig. 2. Uma consideração importante é que as bolhas formadas nas paredes do tubo não devem ser contadas. No modo automático em torno de 80% das bolhas são marcadas.

Na pasta <c:\Bolhas\Dados> o arquivo bolhas.txt contém o nome do tubo analisado, a contagem manual e automática e os resultados das medidas dos diversos parâmetros selecionados. Estes dados devem ser transferidos para o programa MS Excel, ou programa equivalente, para se efetuar o soma total das contagens e a avaliação estatística do conjunto de tubos analisados.

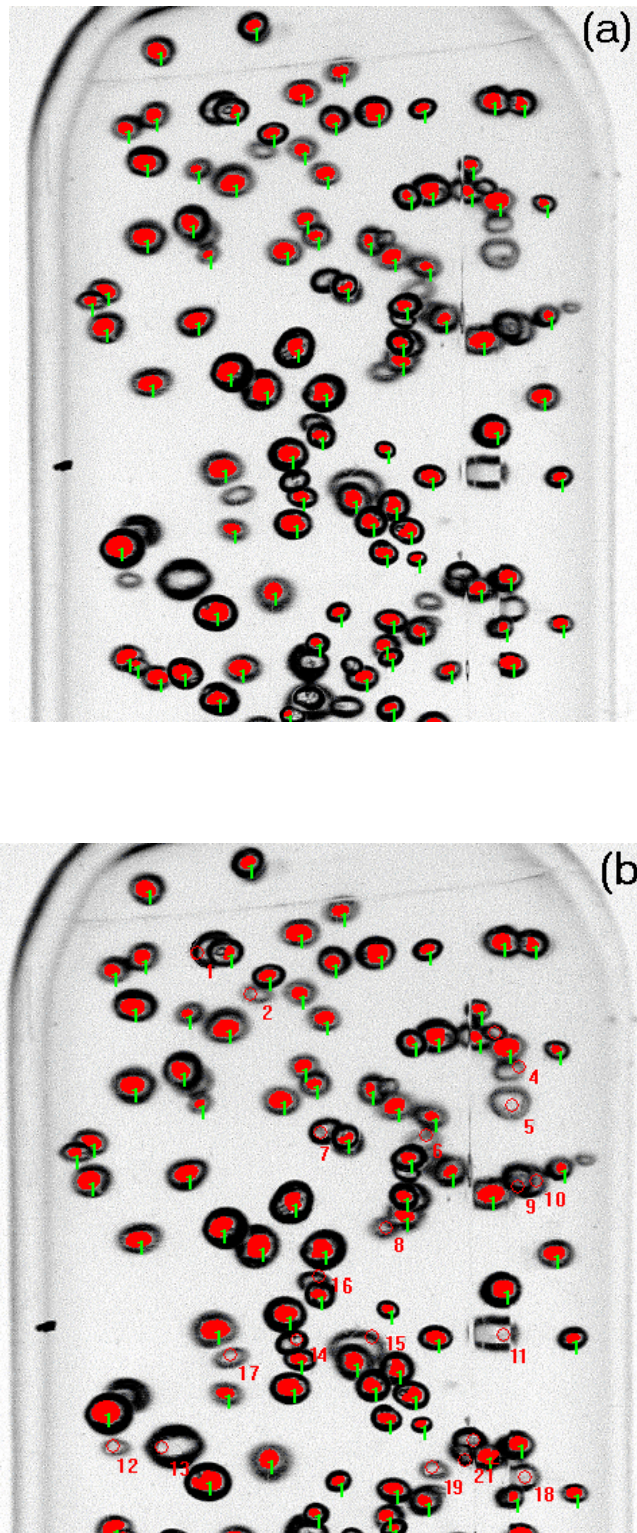


Figura 2. Contagem do número de bolhas pelo método automático, aplicando filtros (a); e complementando a contagem manualmente (b).

Uma mudança que aprimorou a imagem das bolhas foi à amplificação das bolhas com água, conforme a foto da figura 3.



Figura 3. Dispositivo que envolve o tubo detector com água para amplificação da visualização das bolhas.

3. DOSIMETRIA DE NÊUTRONS NO CÍCLOTRON RDS-111

As primeiras medições dosimétricas, com os novos detectores de bolhas BDS, foram realizadas em 12 de Agosto e em 03 de Setembro de 2008, durante a produção do radioisótopo F-18, no ciclotron RDS-111. Os tubos BDS foram colocados a aproximadamente 90 cm do alvo No.1, fixados na blindagem externa da unidade.

• RDS - Feixe de prótons No. 660

Nesta operação utilizaram-se simultaneamente apenas seis tubos para medir nêutrons com energias entre 10 e 600 keV, a saber: BDS 10 (s/n 7341455 e 7341401); BDS 100 (s/n 735 4250 e 735 4246) e; BDS

600 (s/n 7344234 e 7344232). A corrente no alvo No. 1 foi de 55 μA e o tempo de exposição de 180 minutos.

• **RDS - Feixe de prótons No. 678**

Os tubos empregados foram: BDS 1000 (s/n 7354335 e 7354324) e BDS 2500 (s/n 7354446 e 7354443). A corrente no alvo foi de 51 μA e o tempo de exposição de 150 minutos.

Não foram utilizados os detectores BDS 10000 (acima de 10 MeV), já que os nêutrons gerados através da reação nuclear $^{18}\text{O}(p,n)^{18}\text{F}$, possuem energia menores que 8,6 MeV, para feixes de prótons de 11 MeV ($Q \cong -2,44$ MeV).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na tabela 2 se encontram os resultados das doses obtidas, com os tubos BDS, expostos à radiação de nêutrons durante a produção do F-18, no ciclotron RDS-111. Para ilustração, estão também apresentados os valores encontrados para os diversos parâmetros analisados com o programa *Image Pro*, as contagens das bolhas obtidas através da execução do macro desenvolvido no presente trabalho, e as contagens realizadas manualmente. Nesta última, selecionou-se a melhor imagem do conjunto de fotos e após amplificação da imagem, esta foi impressa em papel e cada bolha foi marcada e enumerada.

Comparando os resultados das contagens pode-se observar que houve uma discrepância apenas para os dois tubos que tiveram maior número de bolhas, mas os desvios foram menores que 15%. O método, ainda está sendo aperfeiçoado, e já se tem conseguido melhores resultados considerando-se a luminosidade no centro das bolhas, faltando a sua implementação no macro. Contudo, ainda há uma limitação referente à qualidade das imagens obtidas com a presente câmara fotográfica. Portanto, seria oportuno, num futuro próximo, a aquisição de uma nova câmara digital para a obtenção de melhores imagens, e assim aproveitar todo o potencial do programa de análise de imagens e também para as análises em 3D.

Para a validação dos resultados apresentados neste trabalho, estão sendo realizados outros ensaios no Laboratório de nêutrons - LNMRI do IRD, a fim de comprovar a exatidão deste método, e a verificação dos valores certificados do kit BDS36.

O uso de dosimetria de nêutrons com detectores de bolha é inédito no Brasil. Desta forma estamos contribuindo para a implementação de uma dosimetria pessoal de nêutrons que permite uma avaliação instantânea do campo neutrônico, o que contribuirá significativamente, para a proteção do indivíduo ocupacionalmente exposto a radiação nas instalações do IEN.

REFERÊNCIAS

1. Bubble Detector Spectrometer BDS. For Low Resolution Neutron Spectroscopy. Manual. BTI - BUBBLE TECHNOLOGY INDUSTRIES, 31278 Highway 17, P.O. Box 100, Chalk River, Ontario, Canada K0J 1J0.
2. The Nikon Guide to Digital Photography with the COOLPIX 995 Digital Camera. NIKON CORPORATION, FUJI BLDG., 2-3, MARUNOUCHI 3-CHOME, CHIYODA-KU, TOKYO 100-8331, JAPAN.
3. Image-Pro Plus Version 4. Auto-Pro Guide for Windows. Media Cybernetics, 8484 Georgia Avenue, Silver Spring, Maryland, MD 20910 USA.

AGRADECIMENTOS

À FAPERJ pelo apoio financeiro dado para a aquisição dos conjuntos BDS-36 e RC-18. Ao Laboratório de Nêutrons/LNMRI do IRD pelas irradiações dos tubos com nêutrons. E aos servidores Dagoberto Carneiro e José Marciano da Silva, da Oficina Mecânica do IEN, pela ajuda e confecção das peças. Ao aluno de mestrado do PEN/COPPE/UFRJ José E. R. Dantas pela cooperação nas contagens não automatizadas das bolhas.

TABELA 2. Resultados das análises das imagens dos tubos BDS expostos a radiação de nêutrons emitidos durante a produção de F-18 no ciclotron RDS-111 do IEN.

Arquivo	Área	Aspecto	Diam. (max)	Diam. (médio)	Diam. (min)	Margem	Perímetro	Esfericidade	Contagem automática	Contagem manual	Desvios (%)	Dose (mrem)
10_11_3146.tif	1850,2	1,0588	50,640	48,08912	45,083	0,2277	153,16	1,00890	123	137	11,4	124
10_14_3095.tif	2258,2	1,4338	66,483	53,50705	43,579	0,2485	183,72	1,18944	150	171	14,0	122
100_13_3185.tif	4217,8	1,8309	98,581	71,54741	50,640	0,2872	254,45	1,22155	104	103	-0,01	79
100_14_3198.tif	3826,7	1,2684	77,840	68,87144	61,017	0,2793	220,48	1,01094	94	91	-0,03	65
600_17_3211.tif	1340,9	1,5969	51,545	40,03605	31,340	0,1945	135,93	1,09659	111	119	0,07	70
600_20_3225.tif	4423,6	1,3867	86,023	73,25158	47,893	0,2734	256,45	1,18315	112	121	0,08	61
2500_14_3299.tif	3044,9	1,2734	74,658	61,46870	54,082	0,2875	208,20	1,13287	23	21	-0,09	15
2500_15_3313.tif	1632,4	1,5701	80,802	58,34614	38,534	0,3304	394,14	7,57275	21	20	-0,05	13
1000_13_3279.tif	3356,0	1,1794	70,364	64,69213	58,534	0,3111	208,41	1,02990	9	9	0,00	7
1000_17_3251.tif	839,56	1,6288	59,539	44,84942	30,463	0,3140	359,46	12,2473	26	26	0,00	15