



PROTEÇÃO RADIOLÓGICA EM MINERADORAS NORM

Vanderlei Vilaça de Moura^{1,2}, Claúbia Pereira¹, Agnaldo Kenji Fuzimo Martins²

¹Departamento de Engenharia Nuclear - Universidade Federal de Minas Gerais
Av. Antônio Carlos, 6627 campus UFMG
31.270-901, Belo Horizonte, MG
Tel/fax: 55-31-34096662

²Mineração Taboca S.A., Pirapora do Bom Jesus, São Paulo
vandermoura@gmail.com

Palavras-Chave: atividade específica, NORM, mineradora

RESUMO

Alguns minerais de interesse como os de nióbio, fosfato, cobre, ouro e estanho estão associados à radionuclídeos de origem natural como os das séries do urânio e do tório. Assim são considerados materiais radioativos de origem natural ou NORM (*Naturally Occurring Radioactive Material*). Este tipo de mineral expõe o ser humano e o meio ambiente à radiação ionizante. A responsabilidade de fiscalização e licenciamento do material NORM é da Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN) que inicialmente classifica as mineradoras em 3 grupos a partir da atividade específica e das substâncias sólidas naturais ou concentradas. A partir daí exige o cumprimento de uma série de requisitos com o objetivo de proteger o ser humano e o meio ambiente. Deste modo, as mineradoras devem dimensionar programas de proteção radiológica em conformidade com as normas da CNEN promovendo controle de trabalhadores, de áreas, de fontes, de rejeitos, de resíduos, de equipamentos e do meio ambiente. Neste trabalho foram apresentadas as normas associadas às mineradoras NORM e proposto um programa de proteção radiológica para uma mina hipotética.

1. INTRODUÇÃO

Todas as atividades humanas estão ligadas direta ou indiretamente à mineração: agricultura com os fertilizantes; construção civil e metalurgia com os seus diversos insumos; os inúmeros equipamentos e utensílios que utilizamos no dia a dia que tem em sua constituição metais... a lista é extensa! Entretanto, alguns materiais de interesse como nióbio, fosfato, cobre, terras raras, alumínio, ouro, estanho, carvão mineral, por exemplo, são mineralizados juntamente com radionuclídeos de origem natural das famílias do urânio e do tório. Deste modo, a mineração deste tipo de material radioativo de origem natural ou material NORM (*Naturally Occurring Radioactive Material*) expõe o ser humano e o meio ambiente à radiação ionizante.

A Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN) é o órgão nacional responsável pela fiscalização do material radioativo no Brasil. Assim, mineradoras que processam material NORM são alvo de exigências que visam à proteção do homem e do meio ambiente [1] [4] [6]. Estas exigências são apresentadas sob a forma de normas cuja finalidade é o controle da exposição expressada em um programa de proteção radiológica.



Assim apresenta-se a seguir uma breve explanação das normas pertinentes à mineração NORM e, posteriormente, um plano de proteção radiológica para este tipo de instalação.

2. NORMAS

O programa de proteção radiológica de uma mineradora NORM é norteado pelas normas da CNEN em especial a CNEN-NN 4.01 Requisitos de Segurança e Proteção Radiológica para Instalações Mínero-Industriais e a norma CNEN-NN 3.01 Requisitos Básicos de Proteção Radiológica.

2.1. NORMA 4.01

A Norma-NN CNEN-NN 4.01 Requisitos de Segurança e Proteção Radiológica para Instalações Mínero-Industriais é específica para mineradoras, usinas de beneficiamento físico e químico de minério e metalúrgicas que utilizem material NORM como insumo [3]. Ela apresenta diversas exigências relativas ao material NORM. A primeira é a apresentação de uma série de informações preliminares com o objetivo de dimensionar o potencial radiológico da instalação: fluxograma e balanço de massa; teores medidos ou estimados e solubilidade de urânio, tório, rádio-226, rádio-228 e chumbo-210 nas matérias primas, concentrados, minérios e rejeitos; volume de material, capacidade de armazenamento, descrição dos sistemas de contenção e volume liberado no meio ambiente de rejeitos, resíduos, matéria prima e minérios.

Com as informações do parágrafo anterior, a Norma 4.01 classifica as mineradoras NORM em relação à atividade específica das substâncias radioativas sólidas naturais ou concentradas, ou seja, rocha, minérios e produtos, em três categorias, conforme a Tab 1. A partir daí dimensiona-se o tipo de proteção radiológica e de segurança necessários.

Tab. 1. Classificação das mineradoras NORM, segundo a Norma 4.01 [3].

Categoria	Requisito
I	Atividade específica superior a 500Bq/g.
II	Atividade específica maior que 10Bq/g e menor que 500Bq/g.
III	Atividade específica inferior a 10Bq/g e dose nos trabalhadores superior a 1,0 mSv/ano, acima do nível de radiação de fundo local.

No caso de uma mineradora classe III são necessárias apenas as informações preliminares. Já no caso das mineradoras das classes I e II é necessário um Relatório de Análise de Segurança que deve contemplar estudos de local para caracterização da instalação e seu entorno; projeto da instalação para dimensionar a quantidade de material a ser processado; descrição da estrutura organizacional para identificação de responsabilidades; plano de treinamento de pessoal de modo que as equipes identifiquem e conheçam o risco radiológico a que estão submetidos; plano para condução de operações; programa de garantia da qualidade para o estabelecimento de procedimentos bem como sua execução; plano de emergência e plano de proteção física e contra incêndios com a finalidade de mitigar os efeitos de acidentes em especial os radiológicos; plano de proteção radiológica ocupacional que será explorado no item 3; plano de monitoração ambiental e efluentes também será explorado no item 3; plano de gerência de rejeitos para controle de rejeitos radioativos; plano de transporte de material radioativo, caso o produto final da



mineradora esteja acima dos limites de isenção para transporte, ele é classe 7 [5]; plano de descomissionamento com o objetivo da recuperação ambiental e do destino dos estoques de materiais e dos registros a serem arquivados.

2.2. NORMA 3.01

A norma CNEN 3.01 [1] é baseada na norma BSS da AIEA [6] sendo aplicável a qualquer tipo de instalação seja ela radiativa, minero-industrial, nuclear ou depósito de rejeitos. Seu objetivo é estabelecer os requisitos básicos de proteção radiológica para controle da exposição à radiação ionizante. Ela apoia-se em três princípios:

i) Justificação da prática. Para que uma atividade envolvendo fontes e/ou exposição à radiação seja autorizada pela CNEN ela deve trazer benefícios líquidos para o indivíduo ou para a sociedade de modo a compensar o detrimento [1].

Para a justificação da prática de mineração NORM pode-se invocar a importância da mineração como um todo para a história da humanidade onde até as “idades” são denominadas com relação a minérios e minerais: idade da pedra, do ferro, do bronze, por exemplo. Além disso, para que tenhamos o modo de vida atual são necessários diversos insumos minerais tais como nióbio, tântalo, estanho, zircônio, terras raras, carvão, fosfato, alumínio, ouro. Essas substâncias são encontradas na natureza associadas a diversos materiais podendo estar dentre eles os radionuclídeos naturais das séries do urânio e do tório. Ou seja, apesar de o elemento de interesse não ser radioativo a rocha na qual ele foi mineralizado é radioativa devido à presença de material NORM. Assim, a exposição à radiação ionizante devido à mineração é justificada pelo benefício da humanidade com um todo.

ii) Limitação da dose. Apesar da mineração NORM ser justificada é necessário limitar a exposição para proteger os trabalhadores e o público em geral. Deste modo, a CNEN estabelece como limite para dose efetiva 20mSv/ano para os trabalhadores e 1mSv para o público [1].

iii) Otimização. As doses individuais e coletivas devem ser o mais baixo quanto razoavelmente exequível [1]. Para tanto, é necessário que as mineradoras NORM invistam no controle de doses através de melhorias de engenharia, equipamentos de proteção individuais mais eficientes, métodos de medida de dose mais eficazes, por exemplo.

Além do disposto acima a Norma 3.01 estabelece critérios gerais para intervenções, para controles técnicos e administrativos e propõe um plano de proteção radiológica que será abordado no item 3.

2.3. OUTRAS NORMAS PERTINENTES

Além da Norma 4.01 e da Norma 3.01 são normas aplicáveis à mineração NORM:

i) Norma CNEN-NE 3.02 Serviços de Radioproteção [3]. Também é aplicável a qualquer instalação. Seu objetivo é descrever e caracterizar o serviço de proteção radiológica. Assim ela estabelece quais são as características, registros, atividades e controles relacionados à equipe de proteção radiológica,



trabalhadores, áreas da instalação, fontes de radiação, rejeitos, meio ambiente, treinamentos e equipamentos.

ii) Norma CNEN-NE 5.01 Transporte de Material Radioativo [5]. Estabelece os critérios e controles para o transporte de material radioativo a fim de evitar a exposição à radiação ionizante. No caso da mineração NORM, ela é aplicável se o minério for transportado para fora do sítio e possuir atividade específica superior aos limites de isenção para transporte [16]. Nesse caso, por tratar-se de uma fonte aberta, é classificado como material de baixa atividade específica podendo ser transportado em embalados tipo industrial ou a granel em qualquer tipo de modal. Os demais requisitos da norma 5.01 estabelecem os procedimentos técnicos e administrativos do transporte aplicáveis a qualquer tipo de material radioativo: monitorações, documentos, rótulos, marcações, placas de advertência e segurança no transporte [5].

iii) Norma CNEN-NE 1.10 Segurança de Sistemas de Barragem de Rejeitos Contendo Radionuclídeos [7]. Pertence ao grupo de normas do ciclo do combustível nuclear, mas como não existe uma norma de barragens de rejeitos para mineração NORM, ela é usada como referência. Assim como a norma 4.01, ela estabelece os critérios necessários para um relatório de análise de segurança só que aplicados a um sistema de barragens.

iv) Normas do Grupo 8 [8] [9]. Estabelecem os requisitos para gerência e o licenciamento de um depósito de rejeitos radioativos de baixo e médio nível de radiação. Por falta de legislação específica, estas normas apenas norteiam a mineração NORM, pois não se aplicam a barragens e nem aos resíduos, rejeitos, matéria prima, por exemplo, contendo radionuclídeos naturais que não estejam acondicionados em embalagens.

3. PROGRAMA DE PROTEÇÃO RADIOLÓGICA DE UMA MINERADORA NORM

O programa de proteção radiológica de uma mineradora NORM compõe-se basicamente de cinco partes principais: o programa de proteção radiológica ocupacional; a classificação e controle de áreas; a monitoração radiológica ambiental; o programa de treinamentos e programa de descomissionamento.

3.1. PROGRAMA DE PROTEÇÃO RADIOLÓGICA OCUPACIONAL

É uma exigência da Norma 4.01. No Programa de Proteção Radiológica Ocupacional são previstas monitorações de áreas e de pessoas. A primeira visa o dimensionamento da dose potencial a que um trabalhador fica sujeito. Já a segunda, o objetivo é o controle da dose individual. Os dados das monitorações serão utilizados também para a classificação das áreas.

As monitorações de área são realizadas através de levantamento radiométrico que consiste na medida das taxas de dose do local de trabalho com a utilização de cintiladores ou de detectores Geiger-Muller. Além do levantamento radiométrico é realizada a determinação da contaminação do ar com o uso de bombas de vácuo para a captura de particulado. Estes são analisados para a obtenção da concentração de atividade no ar. Com estes dados pode-se chegar à dose potencial da área.

A monitoração de pessoas consiste em determinar a dose efetiva, ou seja, a dose total, a que um trabalhador está submetido. A dose externa é obtida através de dosímetros de uso pessoal do tipo TLD ou



OSL⁶. Já a dose interna é obtida através da monitoração de particulado. Inicialmente ele é coletado através de uma bomba de vácuo de uso pessoal (bomba de lapela). Posteriormente, o particulado é analisado para a obtenção da atividade alfa e beta. Finalmente usando modelos biocinéticos e dosimétricos sugeridos pela ICRP⁷ [14] [15] chega-se ao valor da dose interna [11].

3.2. CLASSIFICAÇÃO E CONTROLE DE ÁREAS

As áreas das instalações são classificadas levando-se em consideração a exposição potencial e a contaminação radioativa da área obtidas a partir da monitoração em:

i) Áreas livres. Áreas sem a presença de material radioativo e cuja exposição se deva ao *background* intrínseco da região. É o caso de escritórios de modo geral.

ii) Áreas controladas. Áreas onde os trabalhadores podem receber 3/10 ou mais do limite anual de dose e onde existe a possibilidade de contaminação radioativa. É o caso das áreas produtivas, tais como usinas de beneficiamento de minério. Estas áreas devem ser monitoradas periodicamente, ser mantidas sob controle e restrição de acesso, ter sinalização com o símbolo internacional de radiação ionizante e outras informações pertinentes, possuir equipamentos de proteção individual adequados à área (vestimentas, máscaras), possuir equipamentos para monitoração da contaminação de pessoas e equipamentos [13].

iii) Área supervisionada. Em geral é uma área próxima a área controlada. Não é necessário o nível de proteção radiológica como em uma área controlada, mas esta área deve estar sob supervisão, ser delimitada, sinalizada e monitorada. Um exemplo deste tipo de área são as oficinas de manutenção que fiquem próximas às áreas produtivas.

O controle de áreas garante o atendimento aos princípios de proteção radiológica na medida em que controlam e otimizam a exposição à radiação ionizante.

3.3. MONITORAÇÃO RADIOLÓGICA AMBIENTAL

A monitoração radiológica ambiental tem como objetivo controlar as doses potenciais das pessoas fora da mineradora (indivíduos do público) e proteger o meio ambiente.

A norma 4.01 norteia a monitoração ambiental. São necessárias amostragens das matrizes potencialmente contamináveis tais como ar, água de superfície e subterrânea, solo e sedimentos. Estes devem ser analisados para verificar a contaminação pelos radionuclídeos dispersáveis no meio ambiente: urânio-238, rádio-226, chumbo-210, tório-232 e rádio -228. Além destes deve ser analisado o radônio-222 na água e ar.

Deve ser encaminhado anualmente para a CNEN um relatório sobre a monitoração ambiental de acordo com um modelo estabelecido pela Norma 3.01 [12].

⁶ TLD - *Thermoluminescent dosimeter* (dosímetros termoluminescentes). OSL - *Optically stimulated luminescence* (Dosimetria Ópticamente Estimulada).

⁷ *International Commission on Radiological Protection*.



3.4. PROGRAMA DE TREINAMENTOS

As normas 3.01, 3.02 e 4.01 exigem um programa de treinamento de modo a garantir que os trabalhadores entendam como executar suas atividades com segurança e qual é o risco radiológico ao qual estão sujeitos. Além disso, devem ser realizados treinamentos e simulados de emergência radiológica e ambiental.

3.5. PROGRAMA DE DESCOMISSIONAMENTO

Descreve os procedimentos conceituais para o encerramento das atividades da mineradora NORM contemplando o destino a ser dado aos registros (relatórios, históricos de doses e atividades da instalação); detalhamento de procedimentos técnicos e administrativos para descontaminação da instalação e de seus equipamentos; alternativas para o destino a ser dado aos estoques de minérios e concentrados, rejeitos radioativos, escórias e sucatas; recuperação e preservação ambiental da área [3].

O descomissionamento deve ser planejado já no início das atividades da mineradora com o objetivo de reduzir o impacto ambiental, ocupacional e econômico. Assim é contemplado nas normas 1.10, 3.0, 4.01 e do grupo 8.

4. CONCLUSÃO

O programa de proteção radiológica de uma mineradora resume as atividades relacionadas à proteção do homem e do meio ambiente. Ele deve ser dimensionado de acordo com o tamanho da mineradora de modo a cumprir seu objetivo de controlar a exposição à radiação ionizante e estar em conformidade com as normas da CNEN.

BIBLIOGRAFIA

- [1] COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR (Brasil). Norma CNEN-NN 3.01 Diretrizes Básicas de Proteção Radiológica. Rio de Janeiro, 2014.
- [2] COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR (Brasil). Norma CNEN-NE 3.02 Serviços de Radioproteção. Rio de Janeiro, 1988.
- [3] COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR (Brasil). Norma CNEN-NN 4.01 Requisitos de Segurança e Proteção Radiológica para Instalações Mínero-Industriais. Rio de Janeiro, 2005.
- [4] COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR (Brasil). Norma CNEN-NE 5.01 Transporte de Material Radioativo. Rio de Janeiro, 1988.
- [5] COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR (Brasil). Norma CNEN-NN 4.01 Requisitos de Segurança e Proteção Radiológica para Instalações Mínero-Industriais. Rio de Janeiro, 2005.
- [6] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. Radiation Protection and Safety of Radiation Sources: International Basic Safety Standards. Vienna, 2014.



- [7] COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR (Brasil). Norma CNEN-NE 1.10 Segurança de Sistemas de Barragem de Rejeitos Contendo Radionuclídeos. Rio de Janeiro, 1980.
- [8] COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR (Brasil). Norma CNEN-NN 8.01 Resolução CNEN 167/14 Gerência De Rejeitos Radioativos de Baixo e Médio Níveis de Radiação. Rio de Janeiro, 2014.
- [9] COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR (Brasil). Norma CNEN-NN 8.02 Resolução CNEN 168/14 Licenciamento de Depósitos de Rejeitos Radioativos de Baixo e Médio Níveis de Radiação. Rio de Janeiro, 2014.
- [10] COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR (Brasil). Posição Regulatória 3.01/003:2011 Coeficientes de Dose para Indivíduos Ocupacionalmente Expostos. Rio de Janeiro, 2011.
- [11] COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR (Brasil). Posição Regulatória 3.01/005:2011 Critérios para Cálculo de Dose Efetiva, a partir da Monitoração Individual. Rio de Janeiro, 2011.
- [12] COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR (Brasil). Posição Regulatória 3.01 / 009:2011 - Modelo para elaboração de relatórios de programa de monitoração radiológica ambiental. Rio de Janeiro, 2011.
- [13] COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR (Brasil). Posição Regulatória 3.01/004:2011 Restrição de Dose, Níveis de Referência Ocupacionais e Classificação de Áreas. Rio de Janeiro, 2011.
- [14] INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIOLOGICAL PROTECTION. Human Respiratory Tract Model for Radiological Protection, ICRP Publication 66. Oxford, 1994.
- [15] INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIOLOGICAL PROTECTION. Dose Coefficients for Intakes of Radionuclides by Workers, ICRP Publication 68. Oxford, 1994.
- [16] COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR (Brasil). Posição Regulatória 3.01 / 001:2011 - Critérios de exclusão, isenção e dispensa de requisitos de proteção radiológica. Rio de Janeiro, 2011.