

BR89 20808

ISSN 0101-3084

**CNEN/SP**

---

**ipen** Instituto de Pesquisas  
Energéticas e Nucleares

CONTROLE DE QUALIDADE NO GERENCIAMENTO DE  
REJEITOS RADIOATIVOS

Barbara Maria Rzycki

PUBLICAÇÃO IPEN 237

JANEIRO/1989

SÃO PAULO

**PUBLICAÇÃO IPEN 237**

**JANEIRO/1989**

**CONTROLE DE QUALIDADE NO GERENCIAMENTO DE  
REJEITOS RADIOATIVOS**

**Barbara Maria Rzycki**

**DEPARTAMENTO DE CICLO DE COMBUSTÍVEL**

**CNEN/SP  
INSTITUTO DE PESQUISAS ENERGÉTICAS E NUCLEARES  
SÃO PAULO - BRASIL**

**Série PUBLICAÇÃO IPEN**

**INIS Categories and Descriptors**

**E52.00**

**INSPECTION  
QUALITY ASSURANCE  
QUALITY CONTROL  
WASTE MANAGEMENT**

---

**IPEN - Doc - 3114**

**Aprovado para publicação em 13/12/88.**

**Nota: A redação, ortografia, conceitos e revisão final são de responsabilidade do(s) autor(es).**

## QUALITY CONTROL IN THE RADIOACTIVE WASTE MANAGEMENT

Barbara Maria Rayski

### ABSTRACT

Radioactive waste management as in industrial activities must maintain in all steps a quality control programme. This control extended from materials acquisition, for waste treatment, to the package deposition is one of the most important activities because it aims to observe the waste acceptance criteria in repositories and allows to guarantee the security of the nuclear facilities.

In this work basic knowledges about quality control in waste management and some examples of adopted procedures in other countries are given.

### CONTROLE DE QUALIDADE NO GERENCIAMENTO DE REJEITOS RADIOATIVOS

### RESUMO

O gerenciamento de rejeitos radioativos à semelhança do parque industrial deve manter em todas as suas fases um programa de controle de qualidade. Este controle que se estende desde a aquisição de insumos, para o tratamento de rejeitos, até a deposição do embalado, é uma das atividades mais importantes, porque visa o atendimento dos critérios de aceitação de rejeitos em repositórios bem como permite garantir a segurança das instalações nucleares.

Neste trabalho buscou-se dar as noções básicas sobre o controle de qualidade no gerenciamento de rejeitos radioativos dando alguns exemplos dos procedimentos adotados em outros países.

## SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	1
2.	CONTROLE DE QUALIDADE NO GERENCIAMENTO DE REJEITOS RADIOATIVOS	2
3.	CARACTERIZAÇÃO DE REJEITOS RADIOATIVOS	9
4.	PROPRIEDADES DE REJEITOS RADIOATIVOS E CONTROLE DE QUALIDADE EM EMBALADOS	11
4.1	PROPRIEDADES DE REJEITOS RADIOATIVOS	11
4.1.1	COMPOSIÇÃO QUÍMICA	11
4.1.2	HOMOGENEIDADE	12
4.1.3	CONTEÚDO DE LÍQUIDOS	12
4.1.4	COMPORTEAMENTO TÉRMICO	13
4.1.5	COMPOSIÇÃO DO MATERIAL DE IMOBILIZAÇÃO	13
4.1.6	PROPORÇÕES	13
4.1.7	IMOBILIZAÇÃO	13
4.2	CONTROLE DE QUALIDADE NAS PROPRIEDADES DOS EMBALADOS	13
4.2.1	ATIVIDADE TOTAL	13
4.2.2	TAXA DE DOSE	14
4.2.3	CONTAMINAÇÃO SUPERFICIAL	14
4.2.4	QUALIDADE DAS EMBALAGENS	14
4.2.5	MASSA TOTAL	14
4.2.6	CAPACIDADE DE EMPILHAMENTO	15
5.	RESPONSABILIDADES	15
6.	DOCUMENTAÇÃO	16

7.	CONTROLE DE QUALIDADE NOS PROCESSOS DE CONDICIONAMENTO	17
7.1	CONTROLE DE QUALIDADE EM PROCESSOS DE CONDICIONAMENTO NÃO QUALIFICADOS	17
7.2	CONTROLE DE QUALIDADE EM PROCESSOS DE CONDICIONAMENTO QUALIFICADOS	18
8.	PROCEDIMENTOS DE CONTROLE DE QUALIDADE ADOTADOS EM VÁRIOS PAÍSES	19
8.1	BÉLGICA	22
8.2	FRANÇA	23
8.3	SUÍÇA	23
8.4	ESTADOS UNIDOS DA AMÉRICA	24
8.5	SUÉCIA	25
8.6	JAPÃO	29
8.7	AUSTRÁLIA	29
8.8	ALEMANHA OCIDENTAL	32
9.	CAPACITAÇÃO DE PESSOAL	32
10.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	36

## 1. INTRODUÇÃO

O Controle de Qualidade, CQ, provavelmente surgiu quando o homem pretendeu duplicar um objeto e teve a preocupação de fazê-lo o mais idêntico possível à sua criação original. Uma vez adotado, o CQ passou a ser mais crítico com a instituição industrial.

A demanda e a concorrência industrial, resultantes da explosão demográfica e da exigência da qualidade do produto no mercado, introduziram o conceito de "previsão" nas linhas de produção.

O primeiro conjunto de procedimentos sobre o Controle de Qualidade, aplicável à produção industrial foi publicado, em 1924, por W.A. Shewhart<sup>(1)</sup>. Uma década e meia depois, durante a Segunda Grande Guerra, estes procedimentos tornaram-se importantes e foram aprimorados e aplicados na indústria bélica.

Com o advento da era nuclear, o conceito de Controle de Qualidade, que até então era fundamentado nas atividades comerciais - "ser melhor e mais econômico", foi absorvido nessa área visando a qualidade e a segurança do trabalho desenvolvido. Muitas das idéias básicas e dos procedimentos permaneceram os mesmos, adaptando-se apenas certas linhas correspondentes às características do meio.

O Controle de Qualidade pode ser feito através de métodos baseados na integração de certas atividades, mudança ou aperfeiçoamento de técnicas, para o aumento da eficácia techno-econômica, melhor utilização de recursos etc.

A palavra "Controle" pode ser definida como o conjunto de ações pelas quais são estabelecidos e alcançados "padrões de procedimentos". É uma ferramenta que se aplica às várias fases da produção ou da atividade. Estas fases abrangem desde a aquisição de insumos até as medidas cabíveis a serem tomadas para a execução de certa atividade. A palavra "Qualidade", por sua vez, deve representar a execução fiel das exigências, para que o trabalho possa ser qualificado como exato e preciso.

A reunião das palavras "Controle" e "Qualidade" na sentença "Controle de Qualidade" exprime um conjunto de ações em que se estabelece e alcança a "especificação" da qualidade desejada.

O Controle de Qualidade é um dos ramos da Garantia da Qualidade, GQ, que é um sistema organizacional que tem por base a ordenação das atividades exercidas, a atribuição de responsabilidades e a definição dessas responsabilidades

para os tipos diversos de atividades. Caracteriza-se também por um conjunto de procedimentos usados para avaliar a qualidade do produto final e a qualidade da inspeção. Como o produto final possui características de qualidade que podem variar amplamente em sua natureza e grau de aceitabilidade, torna-se difícil desenvolver uma forma única de produção. Por isso criou-se um outro ramo chamado "Administração da Qualidade" que se ocupa do gerenciamento e da documentação para o sucesso do desempenho do Controle de Qualidade.

A GQ também é definida<sup>(2)</sup> como: " O conjunto de ações rotineiras ou planejadas que proporcionam um grau de confiabilidade de que o funcionamento da estrutura, sistema ou componentes está correto".

A GQ permite que se faça o controle detalhado, de todas as fases de um determinado projeto. Este controle inclui a fabricação, construção e montagem de produtos, dos quais se exija precisão, segurança, confiabilidade e utilização adequada, de acordo com as características pré-estabelecidas.

## 2. CONTROLE DE QUALIDADE NO GERENCIAMENTO DE REJEITOS RADIOATIVOS

Uma instalação nuclear é composta por uma variedade muito grande de atividades. Em cada uma dessas atividades, seja de caráter rotineiro ou não, existe um conjunto de etapas sucessivas e bem definidas que resultam num objetivo final ou produto. A segurança é o requisito mais crítico no desenvolvimento da tecnologia nuclear em todas as etapas de um projeto.

A montagem do sistema de GQ, no gerenciamento de rejeitos radioativos, envolve a integração entre as fases de segregação, tratamento, condicionamento, estocagem e deposição final desses rejeitos. Embora exista um universo maior a ser analisado que compreende :

- exame dos regulamentos e da legislação do país;
- qualificação dos instrumentos e validação dos métodos aplicados;
- controle dos insumos, condições de fabricação e respeito aos códigos de segurança;
- controle dos produtos finais, dentro das normas e especificações estabelecidas e aceitas.

Porém a organização do sistema de GQ requer uma estrutura que facilite a execução das ações propostas. A Figura 1 mostra o diagrama que representa o sistema de GQ e que pode ser aplicado ao gerenciamento de rejeitos radioativos.

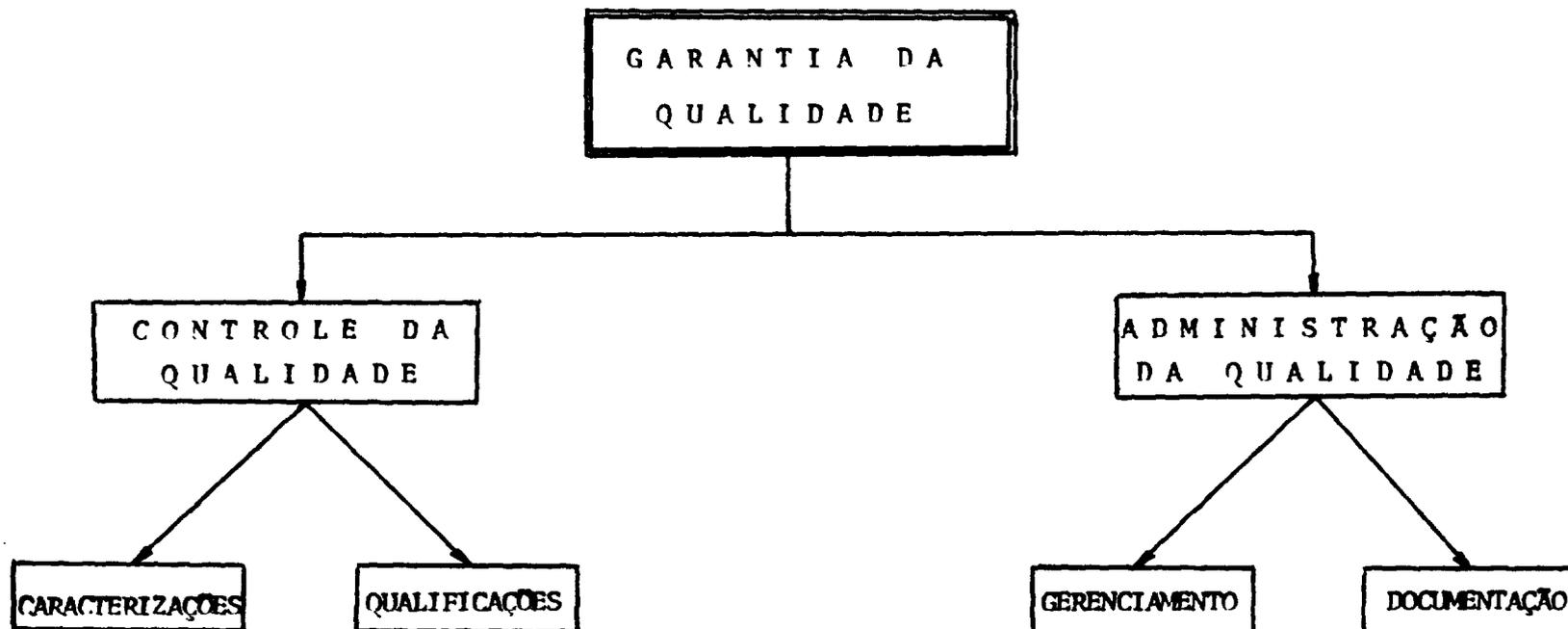


Figura 1 - Diagrama geral do Sistema de Garantia de Qualidade

O grupo responsável pelo Controle de Qualidade, com o auxílio dos técnicos dos laboratórios de pesquisa e desenvolvimento bem como do grupo administrativo para a geração de documentos, deve acompanhar :

- acompanhamento do projeto para a produção do produto final;
- controle dos insumos, na instalação e junto aos fornecedores;
- qualificação e controle dos instrumentos e equipamentos de tratamento e condicionamento;
- qualificação e controle de processos;
- inspeções;
- testes, ao acaso, em amostras de lotes do produto final; etc.

Identificados os pontos principais, a especificação dos mesmos é feita pela descrição das ações e pelas unidades de medida do produto final. O grupo do CQ poderá verificar a conformidade do embalado (\*) com a especificação através de valores mensuráveis denominados "característicos de qualidade" que podem ser : dimensões, massa total, tipo de rejeito, atividade total, etc.

Para a liberação de um lote de embalados nem sempre é necessário verificar todos os "característicos de qualidade" como será visto mais adiante.

Para escolher os característicos mais importantes é necessário que se elabore uma listagem de todos os materiais que serão usados em cada etapa abrangendo tipo, classificação, fornecedor, destino; lista dos equipamentos, instrumentos ou ferramentas, bem como a descrição detalhada dos procedimentos de uso, tempo, documentos e circulares. Na descrição dos testes deve constar o ajuste e a calibração dos equipamentos. Deve-se prever um fluxograma de trabalho para as ações corretivas.

Em todas as etapas de tratamento e condicionamento de rejeitos haverá uma faixa de tolerância seja para a quantidade de rejeitos por embalado, quantidade de material de imobilização, espessura da chapa da embalagem etc. Em alguns casos essa tolerância obedecerá uma variação muito pequena e poderá tornar-se crítica a ponto de desaprovar a liberação do embalado.

Se houver algum tipo de defeito o mesmo deve ser detectado antes das operações de tratamento ou condicionamento. Por exemplo, defeitos nos equipamentos

---

(\*)Embalado = produto final que compreende os rejeitos radioativos condicionados e a embalagem.

dosadores de rejeito. Caso o defeito passe despercebido, com certeza será observado antes que se libere o embalado. Os defeitos podem ser críticos, graves ou permissíveis. Como defeito crítico pode-se citar a impossibilidade de fechamento do embalado por defeito na tampa. Será grave se ameaçar a durabilidade do embalado, e será permissível se apenas pequenas imperfeições não alterarem qualquer uma das características preestabelecidas.

Os laboratórios de pesquisa e desenvolvimento sempre estarão fornecendo informações sobre a qualidade dos insumos, técnicas de tratamento e condicionamento dos rejeitos, características do produto final, limites de tolerância, ações corretivas para os casos em que esses limites forem extrapolados e outros questionamentos que lhes forem propostos.

Nesses laboratórios analisa-se todos os fatos prováveis e postulam-se casos de incidentes ou acidentes, prevendo para este último caso as medidas corretivas adequadas.

O controle nos materiais ou equipamentos adquiridos, visará a concordância com os requisitos técnicos. Por isso, poder-se-á manter, periodicamente auditorias nos pontos de maior interesse, inclusive junto aos fabricantes/fornecedores.

O transporte, acondicionamento e armazenagem dos insumos deverão acompanhar as recomendações do fornecedor e do grupo técnico da instalação.

Na etapa de condicionamento haverá muitos pontos de controle, por exemplo: tipo de equipamento, condições de uso, tempo, condições ambientais, calibração dos instrumentos de dosagem etc. Em caso de inspeções periódicas deverá haver rodízio dos inspetores para que procedimentos incorretos não passem despercebidos.

No caso de inspeção das embalagens a aceitação do produto pelo grupo controlador poderá ser expresso com uma marca a sêlo além da documentação adequada.

A calibração de equipamentos, instrumentos e ferramentas será feita por pessoal técnico qualificado. Aqueles equipamentos usados no CQ poderão ser calibrados pelo próprio grupo registrando-se dados onde constem: especificação do equipamento, destino, data da calibração, validade, desvios, condições ambientais, responsável pela calibração e outras observações necessárias.

Estas são algumas medidas que deverão ser tomadas para a organização dos procedimentos de Controle de Qualidade. A lista é muito extensa e à medida que se planeje e

construa qualquer instalação de tratamento e condicionamento de rejeitos radioativos, deve-se, paralelamente, elaborar um programa de Controle de Qualidade.

No âmbito do gerenciamento de rejeitos radioativos o CQ deve garantir que os Critérios de Aceitação<sup>(\*)</sup> (\*\*) para a deposição dos embalados no repositório final, sejam atendidos, auxiliando na:

- elaboração de regulamentos organizacionais e administrativos entre : a instituição que emite o produto final com a respectiva documentação, a instituição normativa do país, o grupo do CQ e o grupo responsável pelo repositório.
- inspeção dos embalados, exame dos processos de condicionamento (em processos qualificados) e da documentação da instituição que gera o produto final.

No subsistema CQ a atividade que soma um número apreciável de atividades é a do Controle de Processos, CP, que objetiva dar assistência e as informações necessárias para que o produto final seja manufaturado corretamente. No CP verifica-se a conformidade do produto com as especificações técnicas, observa-se os pontos onde potencialmente possam ocorrer desvios do projeto, postula-se as falhas prováveis, sugere-se ações corretivas etc.

Como uma das atribuições do gerenciamento de rejeitos radioativos é a elaboração dos Critérios de Aceitação, para que esta tarefa seja cumprida de forma correta deve existir um entrosamento perfeito entre o produtor dos embalados e o operador do repositório. A seqüência apresentada na Figura 2 mostra as interconecções, entre as fases do gerenciamento, com esta finalidade.

Entre a unidade onde são gerados os rejeitos e o repositório, a observância dos Critérios de Aceitação é feita pelo grupo de CQ nas etapas entre a coleta e a deposição final. O diagrama da Figura 3 mostra onde pode ser aplicado o CQ na instituição produtora e no local do repositório, pelo operador.

Se por uma falha do sistema, o registro e a documentação do embalado extraviarem-se, uma forma de se obter informações a respeito do conteúdo é promover testes não destrutivos ou em última instância os destrutivos. Por isso a maneira mais correta de se acompanhar o condicionamento e a embalagem dos rejeitos, é através do

---

(\*\*) Critérios de Aceitação = Conjunto de propriedades e características que os embalados devem ter para serem aceitos no repositório final para deposição definitiva.

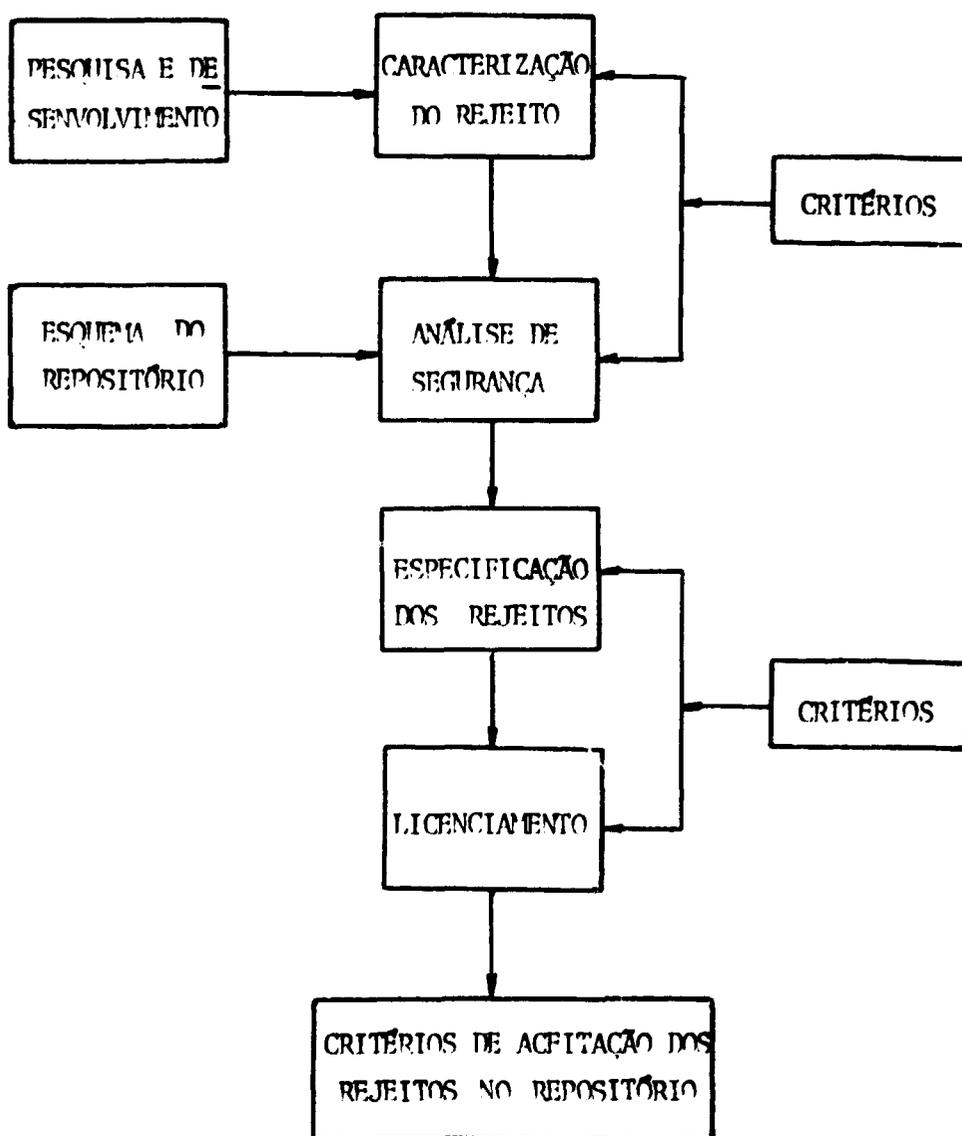


Figura 2 - Diagrama demonstrativo do modo como são criados os critérios de aceitação dos rejeitos no repositório.

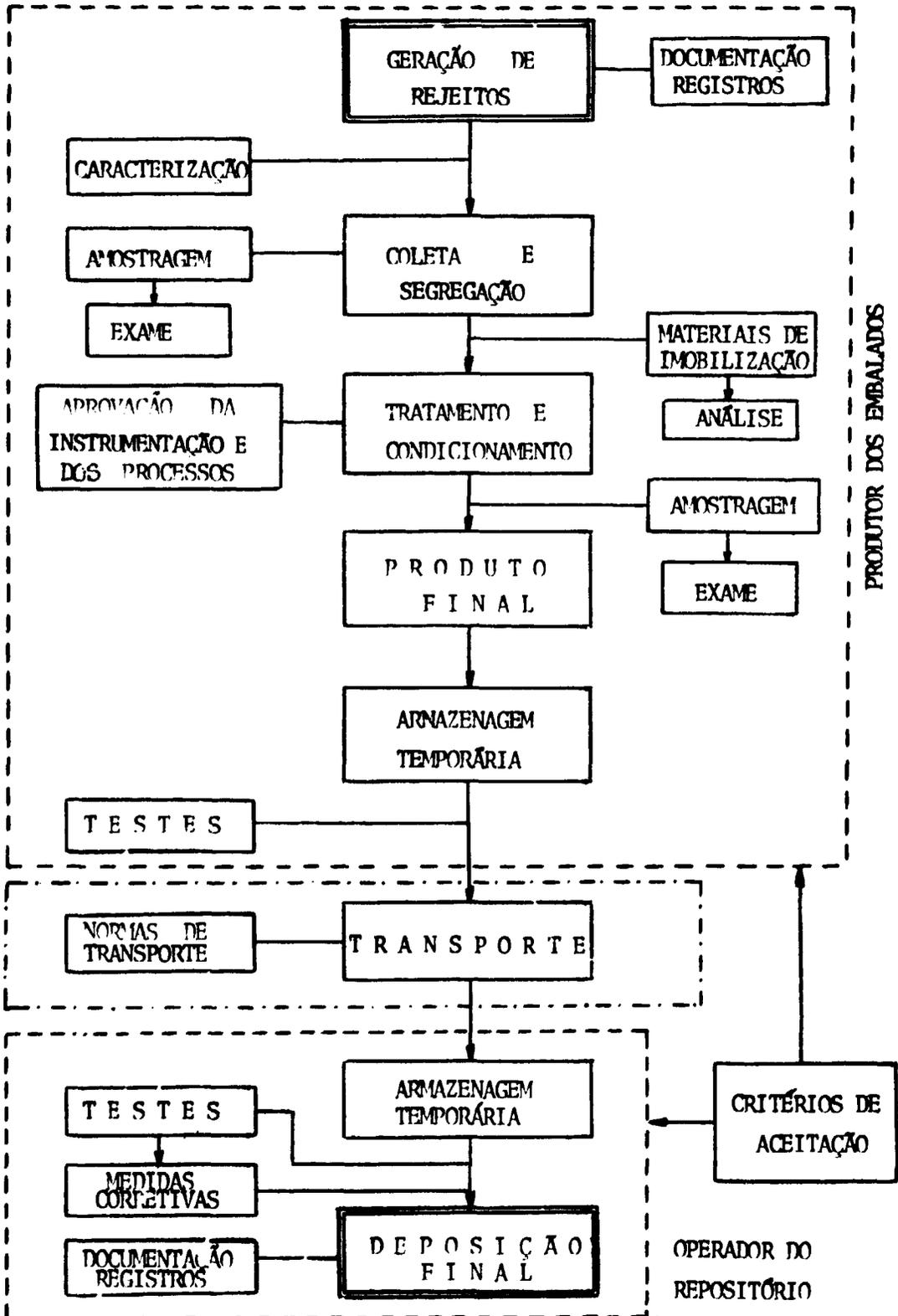


Figura 3 - Diagrama das fases de gerenciamento de rejeitos radioativos onde o grupo de C.O. promove testes e inspeção.

condicionamento e a embalagem dos rejeitos, e através do estabelecimento de especificações básicas, sobre o processo e o produto, antes que se inicie uma produção rotineira. O acompanhamento sistemático e a avaliação dos dados relacionados com a qualidade do processo de condicionamento pode ser feito através de testes na linha de produção, bem como testes não destrutivos no embalado.

Os testes destrutivos só são aplicados, de forma excepcional, se alguma falha do sistema for detectada. Quando estes testes são usados, incorre-se na produção extra de rejeitos, aumentando a quantidade de embalados.

Concluindo, o sistema de GQ terá um desempenho correto e efetivo a partir do momento em que toda a engrenagem funcionar. Os dados obtidos em laboratório e na linha de produção, devem ser precisos e coerentes com a qualidade do produto final, admitidas as tolerâncias preestabelecidas. Os equipamentos usados no programa de CQ também devem ser controlados periodicamente. Os métodos de medidas, a precisão, a sensibilidade e a reprodutibilidade dos mesmos devem ser atestados e periodicamente verificados, tanto nas unidades de pesquisa como durante a sua aplicação na linha de produção do embalado.

Como foi visto, o trabalho do grupo responsável pelo CQ inicia-se na fase anterior à produção de embalados, isto é, no projeto. Suas atividades continuarão nas etapas posteriores analisando o funcionamento adequado das instalações, qualificando-as, acompanhando as operações rotineiras e inspecionando o produto acabado.

Mesmo que na área nuclear a segurança possa significar custo alto é interessante que no aspecto da produção de embalados seja feita a análise do custo contra o resultado obtido. Se for possível reduzir os custos da produção, reduzir as perdas ou desperdício dos materiais em geral e reduzir de imediato os pontos de estrangulamento com medidas corretivas, naturalmente os custos baixarão com a maturação do processo.

A instituição nuclear naturalmente se beneficia com a implantação do Controle de Qualidade, por ser mais um canal de aprimoramento de técnicas de trabalho.

### 3. CARACTERIZAÇÃO DOS REJEITOS RADIOATIVOS

Na área nuclear ou na aplicação de materiais radioativos na indústria, medicina, agricultura entre outras, criam-se fontes de rejeitos diferentes cujo nível de atividade, emissores (alfa, beta ou gama), quantidade, categoria física e composição química, dependem da unidade

embalagem vão depender dos fatores citados, bem como do tipo de repositório adotado para rejeitos de categorias diferentes. Os limites da atividade, tipos de emissores e outros parâmetros são estabelecidos pelas autoridades de cada país.

Os rejeitos radioativos tem formas químicas e físicas por vezes muito diferentes, dependendo da origem, e podem apresentar quantidades variáveis de radionuclídeos com meias vidas e toxicidades características a cada radioelemento. Os componentes inativos do rejeito, sejam do tipo degradável ou não, podem mudar as propriedades desses rejeitos. Por isso os Critérios de Aceitação podem tornar-se restritivos, por exemplo para materiais tóxicos, piróforos ou degradáveis.

Em linhas gerais, para que os rejeitos sejam aceitos no repositório deve-se acatar certos princípios básicos:

- compatibilidade com: o material da matriz, com a embalagem, e o meio geológico do repositório;
- estabilidade química, mecânica, térmica, biológica e radioativa;
- estarem, de preferência, na forma sólida ou pouco dispersível;
- condicionados, apresentarem superfície específica baixa para que a taxa de lixiviação dos radionuclídeos seja diminuta;
- conterem o mínimo possível de produtos químicos tóxicos não degradáveis.

As propriedades dos rejeitos podem ser subdivididas em físicas (densidade, estabilidade térmica, embalagem, estabilidade mecânica etc) e químicas (estabilidade, compatibilidade e conteúdo de agentes complexantes). As características ligadas à parte não radioativa (putrefabilidade, patogenia, inflamabilidade etc) são restritivas e em cada caso são tomadas medidas técnicas para eliminá-las parcial ou completamente. Neste último caso as autoridades analisarão esta categoria e darão soluções alternativas para o isolamento desse tipo de rejeito.

Antes do tratamento e condicionamento dos rejeitos deve-se fazer a segregação em: rejeitos combustíveis e não combustíveis, compressíveis e não compressíveis.

O tratamento, antes do condicionamento, que pode ser o de compactação ou combustão, no caso de rejeitos sólidos, ou de evaporação, precipitação química, troca iônica etc, no caso de rejeitos líquidos, é importante para aqueles rejeitos que não podem apenas ser embalados após a coleta, e aguardar o transporte para o repositório final. Entre aqueles que precisam de tratamento e condicionamento estão os que apresentam um potencial alto de mobilidade de certos

radionuclídeos e aqueles que possuem quantidades suficientemente altas de material combustível ou tóxico.

O condicionamento refere-se a todas as operações que transformam o rejeito para formas físicas adequadas para o transporte, estocagem e deposição. As operações podem se compor da conversão do rejeito para outra forma, por exemplo transformando rejeitos líquidos em sólidos, pela imobilização numa matriz como o cimento, e do isolamento em recipientes. Se fôr necessário, reforça-se os recipientes usados com revestimentos especiais ou providencia-se uma embalagem adicional. É importante que o embalado não se degrade por algumas centenas de anos. Durante este tempo, além de se garantir o isolamento do material radioativo da biosfera, aguarda-se o decaimento dos radioelementos mais problemáticos.

Antes de se fazer o transporte dos embalados para o repositório final, os mesmos são armazenados temporariamente na instituição de origem. Esta prática também é uma forma de tratamento para rejeitos de meia-vida relativamente curta.

#### 4. PROPRIEDADES DE REJEITOS RADIOATIVOS E CONTROLE DE QUALIDADE EM EMBALADOS

As propriedades de rejeitos radioativos bem como dos embalados apresentam certas características que devem ser consideradas do ponto de vista da segurança do repositório. Para se considerar estas características deve-se levar em conta a operação normal do repositório, ocorrência de incidentes na fase operacional e o comportamento na fase pós-operacional. Evidentemente nem todas as propriedades necessitam ser controladas porque o programa de análise de segurança ou os Critérios de Aceitação, podem limitar esse controle a um conjunto mais específico. Apesar de se poder discorrer sobre um grupo mais completo, que pode chegar a 40 propriedades, analisar-se-á aquelas mais importantes na fase operacional, considerando-se possíveis incidentes durante a manipulação dos embalados.

##### 4.1 PROPRIEDADES DE REJEITOS RADIOATIVOS

###### 4.1.1 Composição química

Para escolher, de forma correta, o processo de condicionamento é muito importante conhecer a composição química do rejeito, na forma em que é coletado na origem. Além da composição química, a atividade total e a atividade de cada radionuclídeo são dados importantes. A atividade

total limita a quantidade dos rejeitos que é colocada nos embalados individuais.

Dependendo da forma de coleta, os rejeitos podem ser homogêneos ou heterogêneos. Quando o condicionamento é feito com rejeitos homogêneos, assegura-se mais facilmente a qualidade do produto final, limitando-se as quantidades de entrada dos compostos. Se os rejeitos coletados são heterogêneos o processo de condicionamento e a limitação das quantidades por embalado diferem entre si, complicando o controle do processo de condicionamento.

Quando se tem rejeitos líquidos, a composição química pode afetar certas características do material usado como matriz de imobilização. No caso de se usar a cimentação como forma de solidificação, a presença de certos compostos químicos pode alterar o processo de pega (endurecimento da mistura) acelerando-a ou retardando-a. Outros compostos, por exemplo, podem favorecer a corrosão da embalagem. A frequência de amostragem do rejeito na linha de tratamento e condicionamento dependerá se este é do tipo homogêneo ou heterogêneo. Neste último caso o controle deve ser mais freqüente.

#### 4.1.2 Homogeneidade

A homogeneidade, tanto do rejeito a ser imobilizado como da mistura obtida com o material de imobilização, é muito importante quando se procura condicionar rejeitos líquidos. Os parâmetros estabelecidos para o processo de imobilização, e constantes do CQ, devem ser determinados através de ensaios de laboratório e ao longo das operações da unidade de imobilização.

#### 4.1.3 Conteúdo de líquidos

Determinar o limite máximo para o conteúdo de líquidos no rejeito condicionado é importante para que se possa adequar as quantidades dos componentes da mistura. Normalmente, a presença de líquidos, no rejeito imobilizado, aumenta a possibilidade da radiólise, a decomposição e a fermentação da mistura. O gás, formado durante a radiólise, poderá causar pressões internas no embalado acima dos limites desejáveis (pressão atmosférica). Por outro lado, os líquidos aumentam o potencial de corrosão da embalagem diminuindo a resistência ao longo do tempo. Caso a matriz de imobilização seja cimento, a água envolvida na hidratação e aquela presente nos poros capilares não é considerada.

Os limites para o conteúdo de líquidos podem ser determinados durante a qualificação do processo. Quando a rotina de imobilização estiver implantada, poder-se-á coletar amostras da mistura rejeito/matriz para testes.

#### 4.1.4 Comportamento térmico

O comportamento térmico do rejeito primário bem como da temperatura ambiente tem influência no processo de tratamento. Existem rejeitos, por exemplo certas resinas de troca iônica, que se degradam quimicamente quando submetidas a temperaturas acima da ambiente. Por outro lado, certos componentes químicos, presentes no rejeito, podem favorecer o aumento da temperatura na mistura rejeito/matriz, ou ainda diminuí-la.

#### 4.1.5 Composição do material de imobilização

Durante a qualificação do processo de imobilização, deve-se investigar a composição do material de imobilização. A qualidade do material pode ser atestada pelo produtor mas é necessário assegurar a forma de transporte, a estocagem e a manipulação, especialmente se esse material for cimento ou betume e quando forem empregados aditivos específicos.

#### 4.1.6 Proporções

As proporções de rejeito/material de imobilização/aditivos (inclusive água) devem ser determinadas durante a qualificação do processo. Antes porém, na fase de pesquisa é necessário estipular certos intervalos para aquelas quantidades mais convenientes. Durante o processo de imobilização a dosagem poderá ser feita com instrumentos dosadores específicos. A qualidade do material de imobilização, da água, ou solventes, e dos aditivos deve ser muito bem controlada para que se assegure a qualidade do produto final.

#### 4.1.7 Imobilização

A imobilização da mistura rejeito/matriz, pode ser influenciada: pela qualidade do material em si, pela composição química do rejeito primário e pelas proporções da mistura. O estado de solidificação é determinado durante a qualificação do processo e controlado nas operações rotineiras. No processo de cimentação por exemplo, a pega é definida como o estado no qual o rejeito imobilizado está na forma sólida e não contem água livre que possa ser observada por inspeção visual.

### 4.2 CONTROLE DE QUALIDADE NAS PROPRIEDADES DOS EMBALADOS

#### 4.2.1 Atividade total

Nos embalados a atividade total e as atividades dos radionuclídeos mais importantes devem ser determinadas, para

que se possa fazer avaliações dos riscos radiológicos durante a manipulação e transporte. Estes dados contribuem para os estudos do impacto radiológico ao meio ambiente seja em condições normais ou de incidentes. A atividade total e as atividades individuais, dos radionuclídeos mais importantes, devem ser determinadas por método analítico em amostras coletadas do rejeito primário ou por métodos não destrutivos quando já embalados.

#### 4.2.2 Taxa de dose

A taxa de dose é determinada através da atividade total, particularmente para os emissores gama. Esta taxa depende da matriz de imobilização e da embalagem (efeitos de blindagem). Ela pode indicar a atividade total do embalado quando se tem conhecimento da fração dos radionuclídeos ou dos emissores gama. A taxa de dose é muito importante nas fases de manipulação e transporte dos embalados.

#### 4.2.3 Contaminação superficial

Pode ocorrer que durante as operações de condicionamento ou de embalagem a superfície externa da embalagem seja contaminada. Se isto acontecer, após a descontaminação e liberação do embalado, deve-se fazer o teste do esfregão.

É importante que durante a manipulação dos embalados as superfícies externas das embalagens estejam livres de contaminação para a segurança dos operadores.

#### 4.2.4 Qualidade das embalagens

A qualidade das embalagens deve ser atestada pelas indústrias produtoras por intermédio de documentos idôneos. Para embalagens produzidas com paredes finas, recomenda-se uma inspeção visual, antes de introduzi-las na linha de embalagem dos rejeitos condicionados, para verificar se não há pontos de corrosão. Ao receber as embalagens da fábrica é necessário fazer um controle cuidadoso para verificar se o produto foi bem confeccionado ou se não apresenta imperfeições de superfície.

#### 4.2.5 Massa total

A massa total do embalado é um dado importante durante a operação de manipulação e transporte. Quando essa massa superar o peso que possa ser suportado pelos operadores é necessário projetar ou adaptar suportes, ou dispositivos, e equipamentos específicos para a manipulação desses embalados.

#### 4.2.6 Capacidade de empilhamento

A capacidade de empilhamento é importante nas fases de manipulação, transporte, armazenagem e deposição final. Ela pode ser calculada ou determinada experimentalmente. Antes dessa providência, e sem se conhecer a capacidade de empilhamento, não é permitido sobrecarregar mecanicamente o embalado, para não causar danos ou alterar a sua integridade.

### 5. RESPONSABILIDADES

Os cinco grandes grupos, isto é, as unidades que geram os rejeitos, o produtor do embalado, o grupo responsável pelo Controle de Qualidade, o operador do repositório e o órgão normalizador e fiscalizador, têm as responsabilidades seguintes:

As unidades que geram os rejeitos radioativos primários devem ser responsáveis pela qualificação desses rejeitos especificando: forma química, conteúdo de radionuclídeos, tipo de radionuclídeos, atividades envolvidas, quantidades geradas, frequência de geração etc.

A caracterização dos rejeitos é um subsídio muito importante para o grupo que faz o tratamento e condicionamento, porque poderá operar com técnicas adequadas e garantir uma série de propriedades do produto final. Como resultado a qualidade dos embalados permitirá assegurar a integridade dos mesmos ao longo do tempo.

O produtor do embalado com rejeitos radioativos é responsável pela qualidade do produto, devendo tomar providências técnicas, organizacionais e administrativas durante o condicionamento e embalagem bem como exigir a qualificação do pessoal envolvido nas operações pertinentes. Deverá apresentar registros e documentação que mostrem que os Critérios de Aceitação foram obedecidos, mostrar que todas as medidas adotadas são realmente eficientes e recondicionar todos os embalados que apresentarem falhas.

O grupo responsável pelo Controle de Qualidade deverá acompanhar os projetos de tratamento, condicionamento e embalagem, verificar se as exigências feitas pelos Critérios de Aceitação no repositório final estão sendo cumpridas pelo produtor, verificar a documentação, qualificar os processos de condicionamento, e promover testes ao acaso em embalados armazenados ou prontos para o transporte. Para cumprir certas etapas, este grupo deverá dispor de equipamento necessário para os testes e analisar se há necessidade de se

desdobrar esses testes, levando em conta a documentação do produtor.

O operador do repositório, em concordância com o grupo de Controle de Qualidade da instituição produtora, deverá verificar se os embalados estão identificados de forma correta e fazer cumprir as normas de Proteção Radiológica. Durante as operações de manipulação dos embalados, além de segregar os embalados, deverá manter a documentação e registros dos mesmos em dia, nas condições de operação normal e em condições de incidentes. Poderá também realizar, de forma aleatória, testes não destrutivos nos embalados a fim de controlar suas especificações.

No repositório deve haver um grupo de Controle de Qualidade local que examinará a documentação de cada remessa de embalados bem como verificará, com testes ao acaso, algumas propriedades como: homogeneidade do conteúdo, composição do rejeito, taxa de dose, peso etc.

O órgão normalizador e fiscalizador de cada país, poderá responsabilizar-se pelas operações de recebimento, manipulação e deposição dos embalados no repositório final ou apenas supervisionar o grupo operador desse repositório. Poderá também controlar as decisões tomadas pelo grupo do Controle de Qualidade quando este detectar falhas ou defeitos nos embalados recebidos para deposição.

## 6. DOCUMENTAÇÃO

O CQ só poderá ser efetivado se houver documentação básica onde estejam descritas as atribuições dos grupos envolvidos.

A criação da documentação deve começar por um programa geral onde sejam definidas as obrigações do grupo de CQ e a sua relação com todos os departamentos do produtor de embalados. Desta forma criar-se-á os planos parciais onde estarão descritos os métodos de ensaios, técnicas estatísticas, critérios de avaliação e a análise dos resultados que darão origem aos manuais de instrução.

Terminada a fase de pesquisa, sobre a forma mais adequada para se proceder ao tratamento e condicionamento de rejeitos radioativos, é elaborado um relatório onde se emite uma série de parâmetros que serão usados no sistema rotineiro. Já na fase de operação rotineira, existirá um elenco de propriedades que devem ser observadas, escolhidas de comum acordo entre o produtor do embalado, o operador do repositório e o grupo legislador. Os dados serão registrados em documentos específicos. Desta maneira criar-se-á um sistema demonstrativo que se comporá de documentos do

gerador de rejeitos, da unidade de tratamento e condicionamento, do grupo responsável pelo controle de qualidade e do operador do repositório.

A documentação que será preenchida em folhetos apropriados, será controlada pelos grupos administrativo e técnico da instalação, assegurando-se que todos os membros envolvidos com o CQ tenham acesso à mesma. Sua distribuição deverá ser sistemática e todos os documentos que forem cancelados ou substituídos deverão ser retirados de circulação para impedir a utilização inadvertida dos mesmos.

A interação entre o grupo que faz o CQ e aquele que opera a instalação deve ser muito próxima. Desta forma qualquer técnica nova, tendo em vista a melhoria dos resultados, será bem aceita pelos dois lados, apesar das disputas que eventualmente possam surgir.

Para que os dados sejam compilados de forma correta e coerente, deve-se montar um sistema comum, com informações datilografadas e se possível registradas num banco de dados de um sistema computacional.

O acesso aos dados deve ser restrito ao pessoal envolvido dentro do grupo de gerenciamento.

Os registros devem ser guardados pelo período solicitado pelas autoridades nacionais em comum acordo com a instituição geradora e o repositório final.

## 7. CONTROLE DE QUALIDADE NOS PROCESSOS DE CONDICIONAMENTO

O Controle de Qualidade, na etapa de condicionamento de rejeitos radioativos, poderá ser feito através de duas atividades básicas:

- inspeção dos embalados com rejeitos através de testes não destrutivos ou destrutivos quando necessário; e
- qualificação e inspeção dos processos de condicionamento.

### 7.1 CONTROLE DE QUALIDADE EM PROCESSOS DE CONDICIONAMENTO NÃO QUALIFICADOS

Em instituições em que o gerenciamento de rejeitos é recente e onde sejam produzidos embalados, por processos que ainda não tenham sido qualificados, o CQ será feito de forma aleatória.

Se o embalado é composto de rejeito imobilizado, blindagem de concreto e invólucro metálico, o controle poderá ser feito no embalado como um todo, ou nas partes.

O tipo de controle dependerá da documentação apresentada pelo produtor e da homogeneidade do lote. A escolha do embalado para testes será feita em bases estatísticas e/ou por inspeção visual (aqueles embalados que apresentarem pontos de corrosão serão preferidos).

Os testes não destrutivos podem ser:

- inspeção visual (há ou não corrosão);
- taxa de dose ao longo da superfície do embalado (indicativo da homogeneidade de distribuição dos rejeitos);
- contaminação superficial (esfregaço);
- determinação da massa total (pesagem);
- verificação da existência de urânio e de elementos transurânicos através da medida de nêutrons;
- espectrometria gama.

Se o embalado estiver provido de uma blindagem de concreto e se o número de unidades for pequeno, poder-se-á aplicar, em cela blindada, testes destrutivos quando houver necessidade.

Entre os testes destrutivos estão:

- abertura dos embalados para uma inspeção visual;
- extração de amostras para ensaios complementares (análise radiométrica, ensaios de resistência mecânica etc).

## 7.2 CONTROLE DE QUALIDADE EM PROCESSOS DE CONDICIONAMENTO QUALIFICADOS

Se na instalação nuclear todos os passos do processo de condicionamento de rejeitos estiverem qualificados, poder-se-á evitar os testes destrutivos ou mesmo os não destrutivos, porque a qualidade do produto final estará garantida.

Neste caso o grupo responsável pelo Controle de Qualidade verificará se o condicionamento está de acordo com os requisitos do conjunto de Critérios de Aceitação e promoverá inspeções na linha do processo de condicionamento.

A qualificação do processo de condicionamento requer que as etapas da operação, instrumentação e registros estejam bem definidos. A qualificação do processo também

dependerá dos testes com amostras inativas e ativas com a supervisão do grupo de Controle de Qualidade.

As operações que envolvem o processo de condicionamento, poderão ser inspecionadas no mínimo duas vezes ao ano pelo grupo de CQ que dará seu parecer quanto aos limites preestabelecidos e um visto registrado no livro de assentamentos. Além destas medidas o grupo poderá separar amostras que serão analisadas em função de algumas propriedades mais importantes.

O controle do produto final, dependendo das disponibilidades técnicas, poderá ser feito conforme o diagrama da Figura 4.

#### 8. PROCEDIMENTOS DE CONTROLE DE QUALIDADE ADOTADOS EM VÁRIOS PAÍSES

Existem países cujo gerenciamento de rejeitos radioativos já tem seu ciclo praticamente completo pela existência de um repositório em fase pré-operacional ou operacional. Entre estes pode-se citar os países da Comunidade Européia como a Alemanha, Bélgica, Espanha, França, Inglaterra e Itália que já possuem um programa de Controle de Qualidade bem definido e praticamente comum a todos. Outros países como os Estados Unidos, Japão, Canada, Suécia têm programas semelhantes, com pequenas variantes dependendo do nível de atividade dos rejeitos.

Todos os países que possuem instalações nucleares e que naturalmente geram rejeitos, baseiam-se num conjunto de critérios em função dos quais escolhem o tipo de repositório, determinam as propriedades ou características mais importantes dos embalados etc. Os estudos envolvem:

- como será feita a deposição dos embalados?;
- em que parâmetros está baseada a escolha do repositório (especificação, regras seguidas etc)?;
- que matriz de imobilização e recipiente serão escolhidos?;
- introdução de alguns valores específicos, se existirem; e
- outros dados complementares que possam surgir ate o início da fase operacional do repositório.

A Tabela I mostra quais as características que vem sendo analisadas nos países em geral.

O Controle de Qualidade feito em diversas fases do gerenciamento de rejeitos pode variar de um país para outro, inicialmente pela categoria e tipo de rejeito gerado, pelo

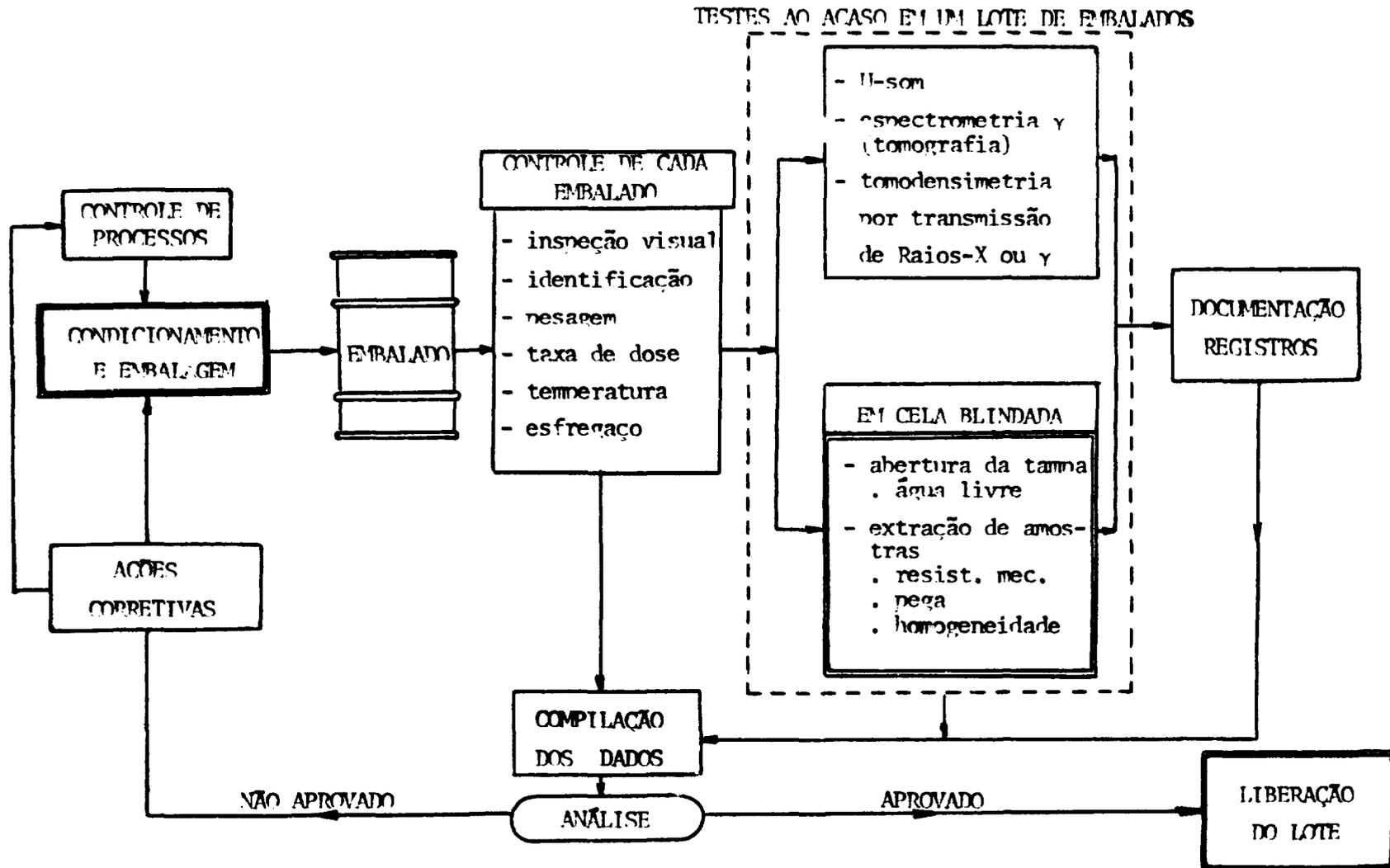


Figura 4 - Ações do grupo de Controle da Qualidade do embalado para a liberação do lote.

Tabela I - Conjunto de características que são analisadas nos rejeitos, rejeitos imobilizados, embalagens e embalados (5).

---



---

**A. PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS**

- |                            |                                 |
|----------------------------|---------------------------------|
| A.1 Densidade              | A.7 Tempo de pega               |
| A.2 Conteúdo de água       | A.8 Temperatura de amolecimento |
| A.3 Homogeneidade          | A.9 Líquidos livres             |
| A.4 Porosidade             | A.10 Exsudação                  |
| A.5 Permeabilidade a gases | A.11 Condutividade térmica      |
| A.6 Fissuração             | A.12 Permeabilidade a água      |

**B. PROPRIEDADES MECÂNICAS**

- |                              |                            |
|------------------------------|----------------------------|
| B.1 Resistência à compressão | B.3 Resistência ao impacto |
| B.2 Resistência à tensão     |                            |

**C. HABILIDADE DE CONFINAMENTO**

- C.1 Difusão de radionuclídeos no revestimento da embalagem
- C.2 Resistência à lixiviação
- C.3 Emissão de gases sob temperatura e pressão
- C.4 Solubilidade da matriz na água

**D. ESTABILIDADE**

- |                                    |                                 |
|------------------------------------|---------------------------------|
| D.1 Ciclagem térmica               | D.4 Resistência ao fogo         |
| D.2 Estabilidade radioativa        | D.5 Resistência à biodegradação |
| D.3 Estabilidade à imersão em água |                                 |

**E. PROPRIEDADES GERAIS**

- |  |                                    |
|--|------------------------------------|
| E.1 Composição química do rejeito e componentes indesejáveis | E.5 Inventário dos radionuclídeos  |
| E.2 Interação rejeito/matriz                                 | E.6 Taxa de dose                   |
| E.3 Preenchimento da embalagem                               | E.7 Capacidade de empilhamento     |
| E.4 Razão rejeito/matriz                                     | E.8 Contaminação superficial solta |

**F. QUALIDADE DO EMBALADO E DO REVESTIMENTO**

- F.1 Estanqueidade da embalagem
  - F.2 Resistência da embalagem e resistência à corrosão
  - F.3 Qualidade da embalagem
  - F.4 Tolerâncias admitidas nas dimensões
-

tipo de matriz de imobilização, pelo tipo de embalagem e finalmente pelo tipo de repositório.

Naqueles países pertencentes à Comunidade Européia, entre 1975 e 1985, foram desenvolvidos testes e avaliações feitos em laboratórios de pesquisa e desenvolvimento para determinar as características dos rejeitos imobilizados e das embalagens, com a finalidade de propor um programa de CQ mais completo. Para rejeitos de níveis baixo e intermediário imobilizados em cimento, este programa já é bastante extenso.

A seguir são exemplificados os procedimentos de Controle de Qualidade utilizados em vários países, independentemente do nível de atividade do rejeito contido nos embalados.

### 8.1 BÉLGICA

A Bélgica tem um programa de CQ para rejeitos imobilizados em cimento<sup>(a)</sup>. As características do produto são registradas em folhas correntes que o acompanham, e os dados obtidos, estocados em um banco de dados do sistema de computação da instalação de tratamento e condicionamento. O preenchimento desses dados é gradual e feito durante a fabricação do embalado, desde o recebimento dos insumos até o produto acabado.

A coleta dos dados tem início, na instalação geradora, com a análise da composição química e o inventário de radionuclídeos do rejeito. Isto auxilia o estabelecimento das quantidades a serem imobilizadas por embalagem e a necessidade de se fazer ou não um pré-tratamento. Atualmente esta última fase faz parte de um estudo que tem como objetivo examinar a possibilidade de aplicar, técnicas novas e mais convenientes.

O controle é feito pela:

- medida do torque do equipamento de mistura, durante a homogeneização do cimento, e adequação da operação de mistura;
- medida da impedância elétrica para monitorar a pega do cimento;
- medida da permeabilidade ao gás para determinar a tortuosidade porosa;
- monitoração da radiação alfa em rejeitos solidificados;
- tomografia com varredura em rejeitos solidificados (tomodensimetria por transmissão de raios X ou gama e tomografia por emissão gama; a primeira verifica a homogeneidade e a

integridade do embalado e a segunda a distribuição da atividade medindo-se a densidade radiométrica).

## 8.2 FRANÇA

Na França os procedimentos de CQ, no condicionamento de rejeitos de nível alto compõem-se de '6' :

- critérios de qualidade de insumos (composição química, homogeneidade etc);
- qualidade da matriz em função das possíveis falhas do sistema de solidificação (composição da mistura, mistura dos componentes, calcinação, vitrificação etc);
- controle do processo de vitrificação;
- avaliação de falhas.

No âmbito da imobilização de rejeitos de nível baixo e médio o CQ é feito por:

- avaliação da qualidade da embalagem e do embalado (características físicas, mecânicas, de confinamento e estabilidade por contacto com o meio-ambiente, solo e água);
- avaliação das instalações que fazem o condicionamento (processo industrial, capacidade de melhoria do procedimento, segurança e condicionamento complementar);
- avaliação do gerenciamento como um todo.

## 8.3 SUIÇA

A Suíça adota o sistema de CQ dos componentes do embalado para diminuir a quantidade de parâmetros controlados no repositório final. A CQ deve concordar com os requisitos exigidos pelas autoridades governamentais, gerados na Divisão de Segurança de Instalações Nucleares '7'. Os critérios a respeito do manuseio e armazenagem temporária impõem regras de natureza qualitativa para o condicionamento e embalagens de rejeitos.

As especificações para a concentração de radionuclídeos nos embalados e no repositório, para rejeitos de nível baixo (embalagem tipo A) e intermediário (embalagem tipo B), baseiam-se em quatro premissas:

- os rejeitos condicionados serão agrupados em categorias e o tipo de repositório;
- a aceitação dos embalados segregados basear-se-á

- nos limites de concentração de radionuclídeos;
- aceitar-se-ão embalados com concentração de radionuclídeos acima dos limites, em casos especiais, dependendo da quantidade de embalados existentes no repositório que compensem essa concentração;

No repositório o controle dos embalados é feito quanto:

- integridade por inspeção visual;
- controle das dimensões e da massa total;
- taxa de dose;
- contaminação superficial.

Aquelas etapas que não se relacionam com o controle feito durante o condicionamento e embalagem, e que demandam a inspeção dos embalados, são feitas com métodos de monitoração externa através do uso de detectores de radiação mais comuns.

#### 8.4 ESTADOS UNIDOS DA AMÉRICA

Nos Estados Unidos da América os repositórios dirigidos pelo Departamento de Energia (DOE), num total de 14 locais, recebem rejeitos de nível baixo e médio de instituições hospitalares, universidades e centros de pesquisa além de uma parte de rejeitos provenientes de operações governamentais gerados em atividades de defesa. A quantidade mais significativa é de rejeitos de nível baixo.

Já nas instalações de tratamento, os rejeitos são classificados em seis grupos: sólidos, líquidos, orgânicos, aquosos, biológicos e gasosos.

O CQ<sup>(\*)</sup>, efetuado durante o processo de tratamento e condicionamento, segue, quase sempre, o modelo usado em todos os países, isto é:

- observância dos critérios para a aceitação de insumos e caracterização dos rejeitos;
- restrições de caráter químico (as substâncias não devem degradar-se, nem transformar-se em produtos piróforos, exalar gases ou vapores);
- restrições quanto aos gases (os gases devem ser embalados sob pressão de 1,5 atm a 20°C e a atividade não exceder 100 Ci/embalado);
- restrições quanto aos líquidos (a quantidade de líquidos não deve exceder 1% do volume do rejeito no embalado ou 0,5% do volume do rejeito imobilizado);
- restrições em materiais biológicos (os materiais

patogênicos ou infecciosos devem ser tratados para diminuir sua atividade biológica).

Quanto às embalagens o CQ é feito medindo-se as dimensões, conteúdo de líquidos livres e resistência mecânica.

Nas instalações de tratamento e condicionamento de rejeitos de nível alto, em vidros e cerâmicas, o grupo de CQ verifica a composição dos ingredientes, homogeneidade da mistura, temperatura de fusão, distribuição do fundente nos recipientes, preenchimento dos recipientes, selagem dos recipientes e contaminação externa dos recipientes.

### 8.5 SUÉCIA

Na Suécia os rejeitos de nível médio são embalados em recipientes padronizados para facilitar a avaliação da qualidade dos embalados. Existem os recipientes de concreto armado de 1,2 x 1,2 x 1,2 m onde são colocados entre um a cinco tambores de aço de 200 L e onde são solidificados, em cimento, resinas de troca iônica e os precipitados provenientes do tratamento de rejeitos líquidos. Os rejeitos de nível baixo são embalados em recipientes com capacidades variáveis.

O grupo de CQ acompanha mais de perto as atividades do tratamento e da operação da unidade de embalagem<sup>(7,10)</sup> embora nas outras etapas também seja feito o controle adequado. Desta maneira assegura a integridade dos embalados para o transporte marítimo até o repositório, supondo as operações normais e em casos de incidentes.

No processo de imobilização, o controle é muito exigente. Se ocorrem mudanças na composição dos insumos ou do rejeito, após novos testes, redefinem-se as proporções dos componentes da mistura. Os passos controlados são:

- descrição detalhada da embalagem em função da composição do rejeito, recipiente, material de imobilização, processo de solidificação e as variantes de cada item;
- análise do plano de manipulação dos rejeitos condicionados;
- determinação da atividade por embalado, resistência mecânica e resistência à imersão em água;
- compilação dos testes e cálculos referentes ao tipo de rejeito para verificar se os embalados possuem as propriedades desejáveis ou se são necessários outros testes;
- as variantes em cada etapa do processo de

tratamento e condicionamento são estabelecidas para definir as medidas a serem tomadas pelo grupo de CQ.

Após a definição dos passos anteriormente citados é feito um relatório e o trabalho é desenvolvido também nas etapas de :

- sequência de manipulação e exigências funcionais:
  - . a mistura rejeito/cimento deve tornar-se uma matriz sólida;
  - . a mistura endurecida não deve inchar para não causar danos ao recipiente.
- armazenagem temporária:
  - . o embalado deve aguentar por vários anos uma carga de 20 t. se empilhado;
  - . o embalado deve aguentar ciclagem de temperatura (-15 a 30 °C) e de umidade (40 a 100 %);
  - . a taxa de dose superficial não deve exceder 0,03 Sv/h;
  - . não pode haver contaminações na superfície do embalado;
  - . se o embalado sofrer queda (5m) não deve romper-se. Se isto acontecer, os pedaços deverão ser grandes;
- transporte até o repositório:
  - . a resistência deve ser tal que aguente um empilhamento correspondente a uma carga de 50 m de concreto;
  - . não deve haver contaminação superficial;
- deposição final:
  - . os embalados não podem inchar para não danificar as barreiras;
  - . não pode haver escape de substâncias químicas que danifiquem as barreiras;
  - . os embalados não podem liberar gases.

A Tabela II mostra as exigências funcionais e o controle operacional das diversas características, em operações normais e na ocorrência de eventos anormais. Os equipamentos de medida são detectores tipo Geiger-Müller e a maior parte dos testes é do tipo não destrutivo.

Tabela III - Exigências funcionais e controle de qualidade em embalados com rejeitos de níveis baixo e médio na Suécia<sup>(10)</sup>

Item	Exigências funcionais						Controle nas operações													
	Produção embalados		Transn. interno		Armaz. tempor.		Transn. marítimo		Deposição final		Sumário		Embalagem		Processo					
	N	A	N	A	N	A	N	A	N	A	N	A	Fornecedor	Operadores		Seleção	Medidas		Documentação	
														1	2		1	2		
<b>Embalagem</b>																				
• Dimensões	•																			
• Identificação	•																			
• Fechamento	•																			
• Resistência		•																		
• Estanqueidade	•																			
<hr style="border-top: 1px dashed black;"/>																				
<b>Rejeito Radioativo</b>																				
• Sólido		•																		
• Presença de mat. piróforo	•																			
• mat. explosivo	•																			
• Formação de vasos																				
• Expansibilidade																				
• Aer. químico																				
<hr style="border-top: 1px dashed black;"/>																				
• Atividade total																				
• Atividade média																				
• Nuclídeos																				
• Actínidos com t <sub>1/2</sub> longa																				
• Contaminação superficial																				

Cont.

## Continuação da Tabela II

<u>Embalado</u>										
• Dimensões	•	○	○	○	○	○	•			
• Identificação	•	○	○	○	○	○	•			
• Fechamento	•	○	○	○	○	○	•			
• Resistência	•	•	•	•	•	•	•	•		
• Massa	•								•	
-----										
• Resist. à corrosão			•	•			•			
• Temperatura				•			•			
• Fogo			•				•			
• Lixiviação				x						
-----										
• Contaminação superficial	•	○	○	○	○	○	•		•	
• Taxa de dose	•	○	○	•	○	○	•		•	
• Documentação	•	○	○	○	○	○	•			•
-----										
N = Situações normais de operação	1 = Todos são testados			x = Exigência primária						
A = Situações anormais de operação	2 = Teste por amostragem			○ = Exigência comum						
				• = Exigência nova						

## 8.6 JAPÃO

Parte do programa de CQ em rejeitos de nível alto imobilizados em vidros está sendo estudada <sup>(11)</sup> desde 1981. No Japão os testes propostos são do tipo não destrutivo através de técnicas de : tomografia computadorizada de transmissão (TCT), de emissão (ECT), varredura gama tipo transmissão (TGS) e tipo emissão (EGS). A Tabela III mostra as características de rejeitos imobilizados observadas por cada uma destas técnicas.

Embora estas técnicas propostas sejam sofisticadas, outros países têm experimentado esta mesma forma de controle. Ainda não é certo que elas vão ser aplicadas porque dá-se preferência às formas de controle mais simples com detectores portáteis.

Os rejeitos de níveis baixo e médio têm o CQ feito nos moldes dos países europeus sem muitas diferenças.

## 8.7 AUSTRÁLIA

A Austrália está desenvolvendo o estudo do processo de imobilização de rejeitos de nível alto em cerâmica tipo Synroc<sup>(12)</sup>. Os trabalhos de pesquisa do material usado como matriz de imobilização estão correndo paralelamente com aqueles para o Controle de Qualidade do processo de solidificação e do produto final.

O CQ é feito nos insumos que serão usados para a preparação da cerâmica, delimitando as tolerâncias da quantidade dos componentes bem como das impurezas. Somam-se a este controle aquele feito no processo de fabricação, caracterização da cerâmica (processos químicos, determinação da densidade, porosidade, homogeneidade de distribuição de rejeitos na matriz etc). As técnicas de medidas usadas para alguns dos propósitos do controle são a microscopia eletrônica de varredura e a caracterização da micro-estrutura pela microscopia eletrônica de varredura e de transmissão, seguindo-se os testes de lixiviação.

A Tabela IV mostra qual é a proposição para o CQ durante a imobilização de rejeitos de nível alto em cerâmicas. A instalação demonstrativa para operar com escalas 1:1 já está sendo concluída.

Tabela III- Técnicas não destrutivas usadas para o controle de qualidade de rejeitos de nível alto condicionados em vidros<sup>(1)</sup>.

Técnica	Característica observada
TCT	Homogeneidade da matriz de vidro Densidade e volume da matriz de vidro
ECT	Homogeneidade de distribuição dos radionuclídeos na matriz de vidro
TGS	Deteção de regiões de inhomogeneidade na matriz de vidro Densidade média e volume ocupado pelo vidro
EGS	Deteção da inhomogeneidade de distribuição dos radionuclídeos na matriz de vidro Medida da radioatividade total por unidade de rejeito imobilizado

Tabela IV - Aplicação do Controle de Qualidade nas diversas fases do processo de inobilização de rejeitos de atividade alta em cerâmica tipo Synroc (12).

Parte do processo	Controle efetuado
Insunios	Processo: Pesagem, volume de rejeitos por embalagem
Calcinação	Processo: Temperatura, mistura, taxa de fluência (monitorando o excesso de $H_2$ da emissão de gases) Produto : Cor do pó, inspeção visual*
Adição de Ti	Processo: Pesagem em cada forjada
Preenchimento dos moldes randomizados	Processo: Preenchimento uniforme por vibração, sensores automáticos para evitar transbordamento, inspeção visual* Produto : Amostra em pó
Soldagem da tampa	Processo: Controle automático Produto : Inspeção visual*, testes a frio, destrutivos, em amostras simuladas
Descontaminação	Processo: Água sob pressão, tempo Produto : Pesagem final
Pré-prensagem	Processo: Pressão Produto : Inspeção visual*
Conexão de off-gás	Processo: Inspeção visual*
Prensagem a quente	Processo: Ciclo de aquecimento, pressão, tempo Produto : Inspeção visual*
Enfriamento	Processo: Ciclo de temperatura Produto : Amostragem dos núcleos
Soldagem das tampas dos núcleos	Processo: Cone Produto : Inspeção visual*

\* Inspeção visual com monitor de TV

## 8.8 ALEMANHA OCIDENTAL

Na Alemanha o grupo de CQ em todas as instalações de tratamento e condicionamento de rejeitos seguem em geral as linhas descritas no item 7. A Tabela V mostra quais os tópicos a serem controlados em processos de tratamento e condicionamento dos rejeitos destinados ao repositório localizado na mina de ferro abandonada Konrad<sup>(13)</sup>.

O CQ nos embalados será do tipo não destrutivo usando a técnica de varredura gama. As instalações para os testes destrutivos devem entrar em operação entre 1988 e 1989.

## 9. CAPACITAÇÃO DE PESSOAL

Toda a pessoa que faça parte do grupo de Controle de Qualidade deve ser habilitada pela instituição empregadora como apta para desempenhar tarefas específicas. Haverá um grupo de nível superior e outro de nível técnico.

A habilitação basear-se-á em cursos e treinamentos, testes, avaliações e exames periódicos para assegurar a competência contínua de cada pessoa. O período de validade da habilitação será estabelecido pela instituição. Todos aqueles envolvidos na realização, avaliação e supervisão de atividades em testes não destrutivos ou destrutivos deverão ser habilitados com os requisitos específicos e normas pre-estabelecidas.

Nas instalações nucleares o pessoal envolvido no Controle de Qualidade deverá receber treinamento em Proteção Radiológica.

É de responsabilidade de cada instituição, participante do projeto, assegurar que só o pessoal da instituição, e credenciado por ela, seja autorizado a realizar as atividades do Controle de Qualidade. Os métodos e todas as instruções detalhadas, bem como as condições para o seu cumprimento, serão registradas em documentos específicos da instituição.

A instituição, seja ela do âmbito nuclear ou não, precisa assimilar uma "consciência de qualidade" absorvendo as idéias básicas sobre a qualidade do produto que esteja produzindo.

Como primeira atitude, ao se implantar o Controle de Qualidade deve-se informar a todos, em qualquer nível hierárquico, o significado de se estar criando o grupo. Deverá haver aulas teóricas e práticas sobre as técnicas

Tabela V - Parâmetros dos embalados controlados durante o tratamento e condicionamento de rejeitos a serem depositados na mina de Konrad<sup>(13)</sup>.

---

Atividade total contida no embalado  
Atividade dos radionuclídeos principais  
Contaminação superficial  
Composição química do rejeito  
Conteúdo de água ou umidade residual  
Comportamento térmico  
Estanqueidade  
Homogeneidade da mistura  
Massa total  
Pega (caso o material de imobilização seja o cimento)  
Proporções da mistura  
Qualidade dos insumos  
Qualidade do recipiente  
Taxa de dose na superfície, a 1 m e a 2 m

---

aplicáveis e quais são os resultados esperados dessa atitude.

O pessoal será qualificado conforme as atribuições que lhe forem destinadas. As pessoas serão divididas em dois grupos. Um grupo ligado à parte administrativa e o outro que executará as funções de inspeções e testes. Este segundo grupo será classificado em três níveis.

No nível I o candidato deve ter curso colegial completo mais um ano de experiência em Controle de Qualidade (inspeções e/ou testes). Deve estar familiarizado com os equipamentos e instrumentos a serem usados sabendo como usá-los. Deve saber calibrar os equipamentos e saber verificar se estão adequados para o uso. Deve ser capaz de estabelecer métodos de inspeção e teste.

No nível II o candidato deve ter o curso colegial completo com mais quatro anos de experiência em Controle de Qualidade em instalação nuclear, ou ser graduado em engenharia e mais dois anos de experiência em Controle de Qualidade em instalação nuclear. Deve ter experiência, ou receber treinamento, para fazer inspeções e testes e saber avaliar os resultados. Deve ser capaz de fiscalizar o trabalho realizado por outros companheiros de equipe e saber calibrar os equipamentos de inspeção e teste. Deve demonstrar capacidade de planejar, por em prática os testes necessários e saber avaliar e relatar os resultados obtidos.

No nível III o candidato deve ter curso colegial completo mais 10 anos de experiência em Controle de Qualidade sendo no mínimo dois em instalação nuclear, ou ser graduado em engenharia e ter mais cinco anos de experiência em Controle de Qualidade com pelo menos dois anos de experiência em instalação nuclear. Deve ter treinamento completo sobre os princípios e as técnicas usadas em inspeção e testes sendo capaz de planejar, supervisionar, analisar os resultados, aprovar os métodos, expedir relatórios, ter capacidade de organização e avaliar a adequação dos métodos para alcançar os objetivos.

Os inspetores, supervisores e engenheiros passarão por treinamento especial que poderá ser repetido sempre que necessário. O nível de instrução dos candidatos será adaptado à responsabilidade de trabalho na instituição. Poderão receber maiores encargos à medida que sua experiência permita assumí-los.

Os candidatos que pretendam fazer parte do grupo de Controle de Qualidade, excetuando-se aqueles destinados às

tarefas administrativas e que deverão atender às exigências específicas, devem ter capacidade física adequada, por exemplo:

- ter acuidade visual natural ou corrigida para curta distância;
- ter condições circulatórias e cardíacas normais;
- ter condições motoras normais;
- ter visão de cores; e
- todas as condições físicas normalmente exigidas pela medicina do trabalho e que serão verificadas periodicamente (no mínimo uma vez por ano).

## 10. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) SHEWART, W. A. *Economic control of quality of manufactured product*, New York, D. Van Nostrand, 1931.
- (2) SCHROCK, E. M. *Quality control and statistical methods*, 2. ed., New York, Reinhold Publishing, 1957.
- (3) INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY *Acceptance criteria for disposal of radioactive wastes in shallow ground and rock cavities* Vienna, 1985. (IAEA SS , 71).
- (4) KRISCHER, W., SIMON, R. Development of testing and measurement methods for quality control. In: NUCLEAR RESEARCH ESTABLISHMENT JÜLICH. *Radioactive waste products, suitability for final disposal: Proceedings of International Seminar on...*, held in Jülich, 10 - 13 June 1985. Jülich, 1985. p.97 - 106.
- (5) SAAS, A. Characterization des déchets de faible et moyenne activité en France et dans les pays de la communauté européenne (CCE) In: INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. *Management of Low- and Intermediate-Level Radioactive Wastes: International Symposium on ...*, held in Stockholm, Sweden, 16 - 20 May, 1988. (IAEA-SM-303/49). (preprint).
- (6) MONCOUYOUX, J. P., LADIRAT, C., JOUAN, A. Quality Control procedures for glass produced by the french continuous vitrification process. In: NUCLEAR RESEARCH ESTABLISHMENT JÜLICH. *Radioactive waste products, suitability for final disposal: Proceedings of International Seminar on ...*, held in Jülich, 10 - 13 June 1985. Jülich, 1985. p.97 - 106.
- (7) ALDER, J. C., HOURIET, J. P. Concepts for experimental control of radioactive waste to be disposed of in Switzerland. In: NUCLEAR RESEARCH ESTABLISHMENT JÜLICH. *Radioactive waste products, suitability for final disposal: Proceeding of International Seminar on ...*, held in Jülich, 10 - 13 June 1985. Jülich, 1985.
- (8) COLEMAN, J. A., DODGE, R. L. Characteristics of Low-level radioactive waste in the United States. In: NUCLEAR RESEARCH ESTABLISHMENT JÜLICH. *Radioactive waste products, suitability for final disposal: Proceeding of International Seminar on ...*, held in Jülich, 10 - 13 June 1985. Jülich, 1985.

- (9) FORSSTROM, H. Swedish programme for quality assurance of reactor waste. In: NUCLEAR RESEARCH ESTABLISHMENT JÜLICH. *Radioactive waste products, suitability for final disposals: Proceeding of International Seminar on ...*, held in Jülich, 10 - 13 June 1985. Jülich, 1985. p. 44-53.
- (10) LINDER, P., OLSSON, G., SJOBLUM, R. Programme for conditioning and intermediate storage of waste form in a nuclear research and development centre. In: NUCLEAR RESEARCH ESTABLISHMENT JÜLICH. *Radioactive waste products, suitability for final disposals: Proceeding of International Seminar on ...*, held in Jülich, 10 - 13 June 1985. Jülich, 1985. p. 153 - 163.
- (11) SASAKI, N., IKEDA, S., SANNO, A., UCHIDA, K., SUGIMURA, K., KAKUTA, A. Non destructive techniques for evaluating the integrity of vitrified solids. In: NUCLEAR RESEARCH ESTABLISHMENT JÜLICH. *Radioactive waste products, suitability for final disposals: Proceeding of International Seminar on ...*, held in Jülich, 10 - 13 June 1985. Jülich, 1985. p.282-290.
- (12) WOOLFREY, J.L., RAMM, E.J. Characterization and quality control of hot pressed Synroc. In: NUCLEAR RESEARCH ESTABLISHMENT JÜLICH. *Radioactive waste products, suitability for final disposals: Proceeding of International Seminar on ...*, held in Jülich, 10 - 13 June 1985. Jülich, 1985.
- (13) BERG, H.P., ERENNECKE, P.W., THOMASKE, B.R. The German Konrad repository project. *Progress in Nuclear Energy* 20 (3): 255-307, 1987.