



**ESTUDO DO COMPORTAMENTO DE TINTAS PARA A  
APLICAÇÃO EM INSTALAÇÕES NUCLEARES**

**Toshiyuki Yamashita**

**DISSERTAÇÃO E TESE - IEA 090  
IEA - DT - 090**

**OUTUBRO/1978**

**CONSELHO DELIBERATIVO**

**MEMBROS**

Klaus Reinach – Presidente  
Roberto D'Utra Vaz  
Helcio Modesto da Costa  
Ivano Humbert Marchesi  
Admar Cervellini

**PARTICIPANTES**

Régina Elisabete Azevedo Baretta  
Flávio Gori

**SUPERINTENDENTE**

Rômulo Ribeiro Pieroni

**ESTUDO DO COMPORTAMENTO DE TINTAS PARA A  
APLICAÇÃO EM INSTALAÇÕES NUCLEARES**

Toshiyuki Yamashita

Dissertação para obtenção do Título de "Mestre -  
Área de Tecnologia Nuclear" - Orientador Dr.  
Gian-Marco A. A. Sordi. Apresentada e defendida em  
24 de agosto de 1978, no Instituto de Energia Atômica.

INSTITUTO DE ENERGIA ATÔMICA  
SÃO PAULO - BRASIL

**Série DISSERTAÇÃO E TESE IEA**

**INIS Categories and Descriptors**

**824**

**Paints  
Physical radiation effects  
Chemical radiation effects  
Surface contamination  
Decontamination**

---

**Note: A redação, ortografia e conceitos são de responsabilidade dos autores.**

## SUMÁRIO

	Página
<b>1 – INTRODUÇÃO</b> .....	<b>1</b>
1.1 – A Importância dos Revestimentos nas Instalações Nucleares .....	1
1.2 – Normas e Regulamentos para a Utilização de Revestimentos em Instalações Nucleares .....	2
1.3 – Trabalhos Anteriores .....	3
1.4 – Objetivo .....	6
<b>2 – CONSIDERAÇÕES TEÓRICAS</b> .....	<b>5</b>
2.1 – Características Genéricas das Tintas .....	5
2.1.1 – Resinas Vinílicas .....	6
2.1.2 – Borracha Clorada .....	6
2.1.3 – Resina Alquídica .....	7
2.1.4 – Resina Epoxi .....	7
2.1.5 – Resina Poliuretânica .....	9
2.2 – Mecanismo de Contaminação de Superfícies .....	9
2.3 – Mecanismo de Dano Provocado por Radiação Gama .....	10
<b>3 – MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	<b>11</b>
3.1 – Equipamentos Utilizados .....	11
3.1.1 – Detector Geiger-Müller .....	11
3.1.2 – Detector de Germânio-Lítio .....	11
3.1.3 – Irradiador Gama .....	11
3.1.4 – Microdurômetro .....	12
3.2 – Material e Métodos .....	12
3.2.1 – Obtenção e Preparação de Amostras .....	12
3.2.2 – Tintas Amostradas .....	13
3.2.3 – Método de Contaminação das Amostras .....	13
3.2.4 – Método de Descontaminação das Amostras .....	15
3.2.5 – Método para Verificação dos Danos Provocados pela Radiação .....	16
3.2.6 – Método para Verificação da Resistência a Agentes Químicos .....	16
<b>4 – RESULTADOS</b> .....	<b>16</b>
4.1 – Resultados do Teste de Susceptibilidade à Contaminação .....	17
4.2 – Resultados de Descontaminação .....	17
4.3 – Resultados do Ensaio para Verificação dos Danos Provocados pela Radiação .....	24
4.4 – Resultados do Ensaio de Resistência a Agentes Químicos .....	24

	<b>Página</b>
<b>5 – DISCUSSÃO DE RESULTADOS E CONCLUSÕES .....</b>	<b>24</b>
5.1 – Susceptibilidade à Contaminação .....	24
5.2 – Descontaminação .....	36
5.3 – Danos de Radiação .....	42
5.4 – Resistência Química .....	43
5.5 – Conclusões .....	43
<b>6 – SUGESTÕES PARA FUTUROS TRABALHOS .....</b>	<b>43</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>44</b>

# ESTUDO DO COMPORTAMENTO DE TINTAS PARA A APLICAÇÃO EM INSTALAÇÕES NUCLEARES

Toshiyuki Yamashita

## RESUMO

Estudou-se o comportamento de tintas comerciais, de fabricação nacional, a base de resina epoxi, poliuretânica, borracha clorada, alquídica e cloreto de polivinila, sob condições físicas, químicas e radioativas características dos locais de trabalho nas instalações nucleares.

Pesquisou-se a resistência das tintas à radiação gama por meio de irradiações das amostras às exposições desde  $10^4$  até  $10^9$  rad. Verificou-se ainda a susceptibilidade à contaminação, à facilidade de descontaminação e a resistência ao ataque de agentes químicos, mediante ensaios padronizados.

Observou-se que até doses de  $10^8$  rad as amostras a base de resina epoxi e poliuretânica apresentaram a maior resistência à radiação. Em relação à contaminação, a borracha clorada foi a mais susceptível, e quanto à descontaminação, as tintas a base de cloreto de polivinila, poliuretânica e a maioria das epoxi foram as melhores. Nos ensaios de resistência química as que apresentaram melhor desempenho foram as tintas a base de resina epoxi.

A partir dos resultados faz-se recomendações para a seleção e utilização das tintas de acordo com o seu uso específico.

## 1 - INTRODUÇÃO

### 1.1 - A Importância dos Revestimentos nas Instalações Nucleares<sup>(18,31,34,36,46)</sup>

As condições de trabalho nas indústrias convencionais requerem revestimentos de superfície com determinadas propriedades tais como resistência à altas temperaturas, resistência à agressividade química, resistência a intempéries e outras características mecânicas. No entanto, estas propriedades ainda não são suficientes para suprir as exigências da indústria nuclear, isto porque, além desses requisitos básicos, esses materiais devem resistir aos processos que envolvem radiação ionizante<sup>(42,43)</sup>.

No ciclo do combustível nuclear, surgem diferentes problemas com revestimento dependendo de cada estágio<sup>(1)</sup>. Cada uma dessas fases apresenta condições específicas de trabalho, exigindo propriedades distintas dos revestimentos utilizados. Assim, durante a purificação do minério, predominam os problemas de corrosão de equipamentos, enquanto que os de irradiação mantêm-se a níveis moderados. Nos reatores, nas partes relativamente próximas ao caroço, a resistência a radiação é de importância primordial. Em outros estádios, como o reprocessamento, os componentes envolvidos nas construções de células "quentas" (células onde se manuseiam atividades altas) encontram-se submetidos a doses elevadas de radiação e ao mesmo tempo a agressividade química alta gerada nos processos de dissolução.

Além disso, um problema comum a todas as atividades ligadas ao manuseio de material radioativo é a contaminação e a descontaminação das superfícies, equipamentos e áreas de trabalho.

---

Aprovada para publicação em Setembro/1978.

Portanto esses locais devem ser projetados de maneira que a sua descontaminação seja facilmente realizada, o que torna relevante o uso de revestimentos apropriados para facilitar essas tarefas com o mínimo de dano às superfícies.

A descontaminação de superfícies pode ser simplificada pelo uso de tintas que possuam uma boa facilidade de descontaminação e que sejam capazes de resistir às operações mecânicas de limpeza e aos ataques de reagentes químicos.

Os programas de garantia de qualidade<sup>(1,7,25)</sup> comumente aplicado às instalações nucleares, estabelecem critérios para a seleção dos revestimentos mais adequados, os quais devem ser obedecidos rigorosamente pelos fabricantes desses materiais. Assim, nas construções de instalações nucleares de grande porte tais como as centrais atômicas ou usinas de reprocessamento, exige-se das firmas fornecedoras uma série de dados técnicos sobre as propriedades de seus produtos, que nem sempre são obtidos facilmente.

No caso de tintas, os programas de garantia da qualidade tem como suporte diversas normas e regulamentos<sup>(1,7,17,39)</sup> que exigem dados precisos sobre o seu comportamento quando submetidos aos fenômenos de radiação.

Os revestimentos para a aplicação na indústria nuclear, devem preencher alguns requisitos básicos<sup>(7)</sup>. Devem ser:

- a) mecanicamente resistentes,
- b) resistente a ataques químicos por ácidos, álcalis, sais, solventes orgânicos e a contínua imersão em água,
- c) de fácil limpeza ou descontaminação sem causar danos à superfície,
- d) pouco susceptíveis à contaminação, e
- e) resistente à radiação ionizante.

Os requisitos referentes à radiação necessitam testes especiais, com a utilização de equipamentos e pessoal altamente especializado, os quais complementarão os dados de resistência à corrosão e intempéries normalmente fornecidos pelas indústrias fabricantes.

Muitas tintas de fabricação nacional que se mostraram excelentes em indústrias convencionais seriam muito úteis em centrais nucleares, mas pela falta de dados específicos relativos ao seu comportamento à radiação, as construtoras de usinas nucleares, a fim de se enquadrarem dentro dos requisitos de garantia da qualidade, obtêm estes materiais, com todas as especificações, no exterior.

## 1.2 – Normas e Regulamentos para a Utilização de Revestimentos em Instalações Nucleares

Os revestimentos para as instalações nucleares vem sendo estudados há longa data<sup>(5,9,11,14,20,25,48)</sup>, mas ainda hoje não existem normas e regulamentos internacionais para a seleção e avaliação das tintas utilizadas na indústria nuclear. Assim, a maioria dos países faz a sua própria avaliação por testes empíricos para determinar a sua utilidade em situações particulares. Isto torna difícil uma intercomparação dos resultados obtidos por diferentes pesquisadores ou fabricantes.

A seguir, descrevem-se sucintamente os principais regulamentos adotados nos países mais desenvolvidos neste campo.

A Alemanha, para proceder a uma seleção apropriada de suas tintas, desenvolveu procedimentos



de ensaio para avaliar o seu desempenho na indústria nuclear. A norma DIN 25415<sup>(17)</sup>, emitida pela República Federal Alemã em 1975, preocupa-se em examinar os processos de descontaminação de superfícies pintadas, utilizando apenas imersão das amostras em soluções descontaminantes, sem o auxílio de processos mecânicos para favorecer a descontaminação. A avaliação do procedimento de descontaminação das tintas é feito a partir do fator de descontaminação(\*) calculado após as várias fases do processo. As tintas recebem em geral, uma classificação de acordo com esse fator (Tabela II).

A norma americana USASI N.5.9 1967<sup>(11)</sup>, emitida pelo "American Institute of Chemical Engineers", propicia uma padronização para a seleção e comparação de tintas aplicáveis a superfícies em instalações nucleares, a partir de testes reprodutíveis. Estes experimentos simulam as condições desses complexos nucleares, onde uma tinta pode-se deteriorar pela ação dos efeitos da radiação ionizante, contaminação por núcleos radioativos, procedimentos de descontaminação química ou mecânica, imersão em água e abrasão, atuando combinada ou isoladamente. Esta norma aplica-se especificamente a superfícies de grandes instalações, como reatores e plantas de reprocessamento, levando em consideração todas as condições citadas. As áreas de aplicação das tintas estabelecidas por esta norma são apresentadas na Tabela II.

Na Itália a "Comissione Energia Nucleare" em 1974, começou a preparar uma série de normas para a classificação de materiais de revestimento para a aplicação na construção de instalações nucleares<sup>(39)</sup>. Dentre algumas normas já aprovadas pode-se citar a norma UNI 7158-72 "Determinação do índice de descontaminação de superfícies de materiais plásticos ou revestidos com tintas" que estabelece o modo de preparação das amostras, a colução contaminante e descontaminante, os equipamentos a serem utilizados e os ensaios para determinar a resistência à irradiação e a resistência à abrasão. Por esta norma a classificação do revestimento é dada relativamente a um padrão pré-estabelecido, e indicada por um coeficiente de qualidade. Extrapolando-se os valores dos coeficientes relativos a cada um dos testes para um determinado tipo de revestimento pode-se determinar um índice de referência para uma primeira classificação da qualidade do material a ser adotado em determinada área nuclear.

### 1.3 – Trabalhos Anteriores

A seguir apresentam-se diversos trabalhos técnicos que deram origem a fabricação de novas tintas para uso nuclear e aos regulamentos citados no item anterior.

Um dos primeiros trabalhos que investigaram as tintas, plásticos e outros revestimentos foi publicado nos Estados Unidos em 1948<sup>(12)</sup>. Este trabalho descreve uma série de testes rotineiros para a remoção de produtos de fissão de várias superfícies com a finalidade de estudar o seu comportamento em processos de descontaminação e corrosão.

Continuando estes estudos, BUSK & JOHNSON<sup>(13)</sup>, em 1956, fizeram uma série de testes para remoção de produtos de fissão de várias tintas e outros revestimentos.

Outros autores, na década de 50<sup>(9,10,11,14,24,33,36,47)</sup>, investigaram o comportamento de revestimentos e outros materiais quando expostos à radiação ionizante provenientes de uma fonte de radiação gama ou beta de alta energia. Fizeram estudos para avaliar os materiais potencialmente utilizáveis nos laboratórios de atividade elevada, plantas de reprocessamento, áreas de transferência de material radioativo e áreas gerais de serviço.

Na década de 60, vários trabalhos foram publicados<sup>(22,31,36,48,49,50)</sup> descrevendo os efeitos da radiação em revestimentos e tintas de proteção utilizados na construção de centrais nucleares, visando estudar suas propriedades de contaminação, descontaminação e resistência à radiação.

(\*) Entende-se por fator de descontaminação (F.D) a razão entre a quantidade de núcleo radioativo existente inicialmente numa superfície e a quantidade remanescente após o processo de descontaminação.

Tabela I

Classificação das Tintas Segundo o Fator de Descontaminação

F.D.	Classificação
acima de 100	ótima
100-50	boa
50-25	regular
abaixo de 25	má

Tabela II

Requisitos para o Desempenho das Tintas

Área de Uso	Resistência a Radiação (rad <sup>a</sup> )	F.D.	Resistência Química
Exposição severa (Instalações de armazenamento de elemento combustíveis, células quentes)	4,5 . 10 <sup>9</sup>	1,0 . 10 <sup>3</sup>	HNO <sub>3</sub> a 60%
	a	a	HCl a 20%
Exposição moderada (Áreas de reprocessamento, células quentes)	9,0 . 10 <sup>9</sup>	1,0 . 10 <sup>4</sup>	NaOH a 10%
	a	a	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> a 30%
Exposição baixa (capelas, laboratórios de tratamento de resíduo de baixo nível)	1,0 . 10 <sup>3</sup>	1,0 . 10 <sup>3</sup>	HNO <sub>3</sub> a 20%
	a		HCl a 20%
	5,0 . 10 <sup>8</sup>		NaOH a 10%
			H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> a 10%

(<sup>a</sup>) rad: unidade de dose absorvida. É uma medida da energia transferida

(\*) rad: unidade de dose absorvida. É uma medida da energia transferida à matéria pela radiação ionizante por unidade de massa de material irradiado.

1 rad = 100 ergs/g em qualquer meio

Atualmente esta unidade está sendo substituída pelo Gray (Gy), onde:

1 Gy = 1 J/Kg = 100 rad

A partir de 1970, aperfeiçoando esses estudos, foram publicadas várias normas e trabalhos<sup>(7,20,23,28,34,39,44,46)</sup> dando origem à novas tintas e novos produtos para resistir às condições de utilização em áreas de alta agressividade química e radioativa.

Um dos trabalhos mais recentes desenvolveu-se na Índia em 1976<sup>(37)</sup>, onde se fez um estudo de contaminação e propriedades de resistência à radiação das tintas de fabricação local para serem utilizadas como cobertura de materiais estruturais nas suas instalações nucleares.

#### 1.4 – Objetivo

O programa nuclear brasileiro mostra um grande interesse em intensificar as atividades nucleares, especialmente no que se refere a produção de energia elétrica.

Com a finalidade de ampliar a participação na indústria local neste campo, o objetivo deste trabalho é:

- a) Fazer um levantamento das tintas de produção nacional que possam ter utilidade dentro da indústria nuclear;
- b) Estudar o comportamento destes revestimentos sob as condições físicas, químicas e radioativas, características dos locais de trabalho nas instalações nucleares;
- c) Estabelecer, a partir dos resultados obtidos, critérios para a seleção e utilização das tintas mais adequadas, face as exigências de seu uso específico.

## 2 – CONSIDERAÇÕES TEÓRICAS

### 2.1 – Características Genéricas das Tintas<sup>(16,27)</sup>

Uma tinta constitui-se basicamente de uma suspensão de sólidos finamente divididos, pigmentos, materiais de enchimento e uma fase líquida dispersante, denominada veículo, capaz de fluir ao ser aplicada sobre uma superfície. Após a aplicação, a tinta transforma-se por meio de mudanças físicas e químicas que ocorrem no processo de cura<sup>2</sup>, em um material duro, tenaz e aderente ao suporte, denominado filme.

A substância que permite a formação do filme e que se constitui no elemento fundamental de uma tinta é o ligante. Este, junto com o solvente forma o veículo. O ligante é por sua vez constituído de resina que é uma estrutura molecular geralmente complexa, capaz de formar o filme através de vários mecanismos.

As resinas podem ser:

- a) Resinas de alto peso molecular formando uma estrutura linear que produz um filme por simples evaporação do solvente a temperatura ambiente. Pertencem a este grupo as resinas nitrocelulose, os polímeros acrílicos, os polímeros vinílicos e a borracha clorada;
- b) Resinas de baixo peso molecular contendo duplas ligações que ao reagirem com o oxigênio do ar formam macromoléculas de estrutura reticular, geralmente a temperatura ambiente. Pertencem a este grupo as resinas alquídicas e óleos secativos;

(<sup>2</sup>) cura: processo de endurecimento irreversível que ocorre sob a ação de calor.

- c) Combinação de resina de baixo peso molecular com um outra substância de natureza mais complexa, com a qual possa reagir, formando macromoléculas de estrutura reticular a temperatura ambiente ou a temperatura elevada (150°C a 200°C). Pertencem a este grupo as resinas melamínicas, epoxi, poliéster, poliuretânicas.

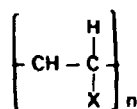
Além da resina, em uma tinta podem estar presentes outros constituintes fundamentais. Embora estes materiais estejam presentes em quantidades menores, constituem ingredientes insubstituíveis capazes de conferir à tinta um comportamento particular ou alterar algumas de suas características. Assim, os plastificantes conferem ao filme uma elasticidade e capacidade de deformação; o dispersante facilita a difusão dos pigmentos na fase de preparação da mistura; o estabilizante impede a sedimentação e a floculação dos constituintes sólidos da tinta; o catalizador constitui um agente acelerador que inibe ou acelera a reação de polimerização.

A seguir são dadas a composição e a estrutura básica de algumas das principais resinas utilizadas em instalações nucleares<sup>(4,7,23,45,46)</sup>.

### 2.1.1 – Resinas Vinílicas

As resinas vinílicas são resinas termoplásticas, de cadeias lineares, podendo ser produzidas pela copolimerização dos derivados do etileno, geralmente cloreto de vinila ou acetato de vinila.

A sua estrutura pode ser representada esquematicamente:



onde n é o número de monômeros.

Se:

- X = H tem-se o polietileno
- X = OH tem-se o álcool polivinílico
- X = Cl tem-se o cloreto de polivinila (PVC)
- X = C<sub>6</sub>H<sub>5</sub> tem-se o poliestireno

Um composto vinílico típico usado na indústria de tintas e vernizes é um copolímero contendo aproximadamente 80% de cloreto de vinila e 20% de acetato de vinila.

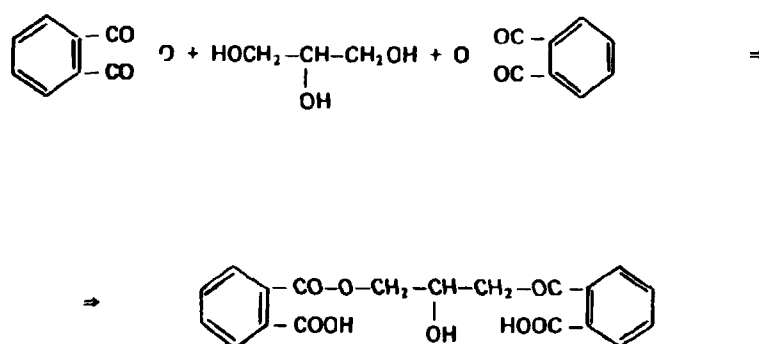
### 2.1.2 – Borracha Clorada

A resina à base de borracha clorada pode ser obtida pela substituição do hidrogênio e a adição de halogênio na borracha natural, o látex. A porcentagem de cloro introduzida pode chegar a 72%, mas para obter um máximo de estabilidade os polímeros podem conter até 68% de cloro. Obtém-se dessa halogenação um pó branco, duro e quebradiço que, por dissolução em solventes aromáticos e adição de plastificantes, resulta numa resina termoplástica que resiste a temperaturas de até 100°C.

A resina à base de borracha clorada tem excelentes propriedades físicas, tais como alta dureza, alta resistência a impacto e impermeabilidade.

### 2.1.3 – Resina Alquílica

A constituição clássica de uma resina alquílica é um produto resinoso derivado da reação de um álcool polihidroxilado com um ácido polibásico. Na prática essas resinas são frequentemente modificadas com óleos, ácidos graxos, resinas naturais ou resinas sintéticas. A resina gliceroftálica, em particular, é um produto da reação entre a glicerina e o anidrido ftálico, segundo a equação:

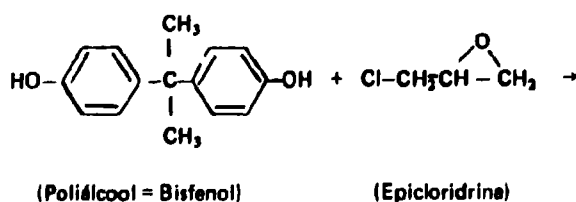


O polímero formado tem possibilidade de reagir, posteriormente, com um óleo ou ácido graxo, através do grupo carboxilo ou do grupo oxidrilo, produzindo a resina alquílica modificada.

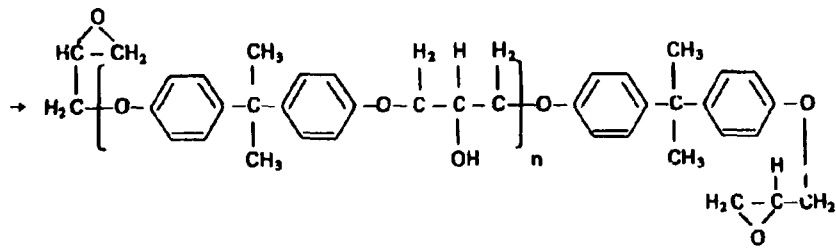
Este último produto, terá propriedades e características de acordo com a natureza do agente modificante.

### 2.1.4 – Resina Epoxi

A resina epoxi é um polímero de condensação, formado geralmente pela reação entre a epícloridrina e um poliálcool, segundo a reação:

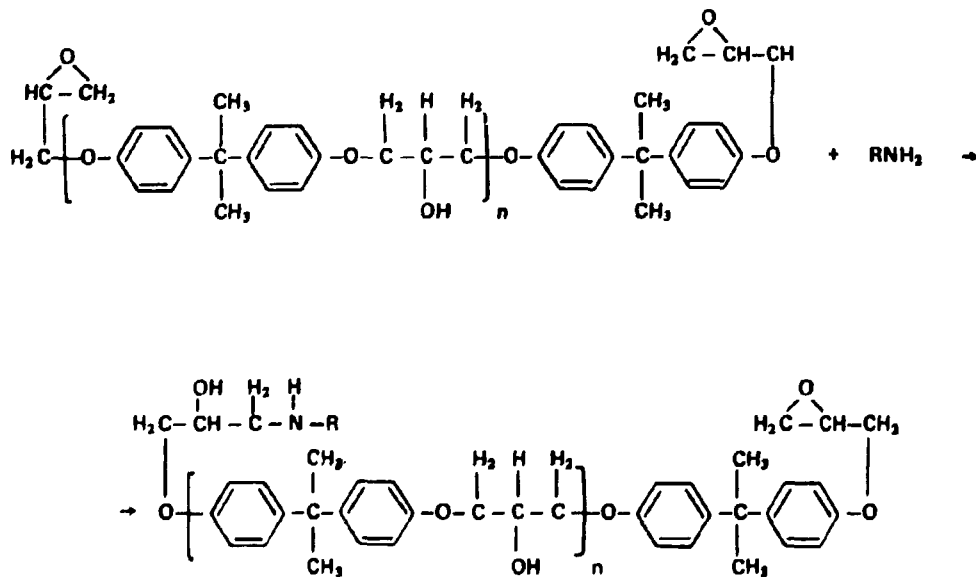


A síntese produz uma resina de peso molecular elevado cuja fórmula pode ser escrita esquematicamente:



Os principais grupos reativos presente na molécula são os grupos oxidrilo secundários e os grupos epoxi terminais, os quais são responsáveis pela polimerização, que forma uma estrutura tridimensional quando reage com um agente apropriado. Muitos podem ser estes agentes reticulantes; dentre eles os de maior importância são as aminas primárias e secundárias, os ácidos dibásicos, os anidridos, os grupos fenólicos polifuncionais, poliamidas e em geral todas as substâncias que possuem átomos de hidrogênio ativo.

A seguir dá-se um exemplo do mecanismo de reticulação onde o agente reticulante é uma amina primária.



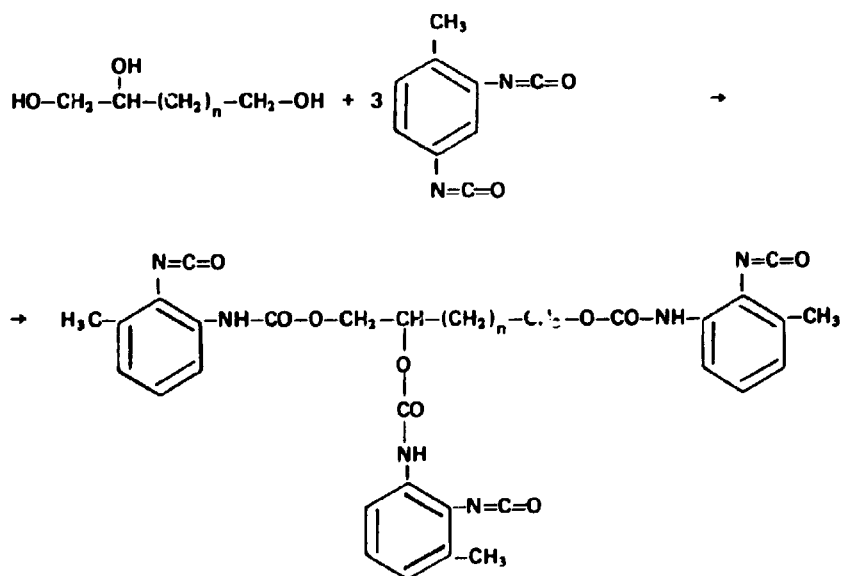
onde:

R pode ser um grupo alquíldico ou arílico genérico. O produto desta última reticulação é um sistema duro, infusível e tridimensional.

### 2.1.5 – Resina Poliuretânica

O termo poliuretano refere-se a uma nova classe de polímeros derivada de um poli-isocianato (geralmente os diisocianatos), e de compostos contendo grupos aminas, grupos ácidos ou carboxilo.

Tomando por exemplo um triol e o tolueno diisocianato, a reação é um simples processo de adição:



Neste polímero os terminais reativos da molécula, constituem-se do grupo isocianato residual  $-\text{N}=\text{C}=\text{O}$ , do grupo  $-\text{NH}$  e do ligante uretânico  $-\text{NH}-\text{CO}-\text{O}-$ , que são capazes de aumentar tridimensionalmente a molécula e ao mesmo tempo ligar-se a numerosos substratos. Podem apresentar excelente resistência à abrasão e por isso são frequentemente utilizados em revestimentos de pisos.

### 2.2 – Mecanismo de Contaminação de Superfícies<sup>(16,18,19,30,42)</sup>

A incorporação de um radionuclídeo na superfície, depende do estado físico do contaminante e da afinidade química entre o contaminante e o material da superfície. Os principais mecanismos de contaminação ocorrem por:

- a) incorporação ou adesão à superfície por meio de forças mecânicas tais como difusão nas rachaduras e poros da superfície, onde as partículas podem ser retidas por oclusão, inclusão ou por forças eletrostáticas;
- b) adsorção física, quando os materiais possuem cargas elétricas capazes de atrair íons de carga oposta, fazendo com que o íon se incorpore à superfície;
- c) troca iônica onde um íon radioativo em solução fixa-se nos grupos ativos da resina;

- d) reação química entre o contaminante e a superfície com formação de um complexo superfície-radioelemento. Por este mecanismo o elemento radioativo é fortemente retido, tornando difícil a sua remoção.

O mecanismo pelo qual o radioelemento liga-se a superfície depende da composição química do meio em que se encontra a substância radioativa, das condições de pH e também da natureza da superfície e do contaminante.

Várias experiências<sup>(12,13,24,26,29,32,43,47)</sup> mostraram que as superfícies que podem ser usadas eficientemente em locais sujeitos à contaminação radioativa devem ter as seguintes características básicas:

- a) Deve ser lisa e com um mínimo de poros, a fim de que exista a menor adsorção e penetração possível do radioelemento.
- b) Deve ser não iônica, reduzindo ao máximo a possibilidade de troca de íons.
- c) Deve ser resistente a ataques químicos por ácidos, álcalis, solventes orgânicos e outros reagentes comumente utilizados nos processos de descontaminação.

### 2.3 – Mecanismo de Dano Provocado por Radiação Gama<sup>(8,9,22)</sup>

O dano provocado pela radiação gama em materiais orgânicos em geral é causado pela ionização dos átomos da estrutura molecular, ocasionando modificações que dependem da quantidade de radiação absorvida.

Quando radiações gama de energia entre 0,1 MeV a 10 MeV incidem em átomos de baixo número atômico, tais como H, N, C, F e Cl, a interação se dá principalmente pelo efeito Compton<sup>(48)</sup>. Neste processo de interação é produzido um elétron de recuo com uma certa energia, e ao ser absorvida pelo átomo é distribuída através dos vários graus de liberdade da molécula orgânica. Durante o processo de distribuição pode haver uma concentração de energia vibracional, numa região da estrutura molecular, suficiente para causar a ruptura das ligações. A probabilidade de ocorrer essa ruptura é função da energia de ligação das moléculas.

Se a quebra ocorrer no final da cadeia principal do polímero, o fragmento produzido pode ser suficientemente pequeno para difundir-se através do material e chegar a superfície liberando uma molécula de gás neste ponto. O mesmo efeito pode ocorrer se houver uma ruptura entre a cadeia principal e um radical menor ligado ao grupo<sup>(45)</sup>.

Pode haver ainda no ponto de ruptura a formação de um centro reativo iônico, ou um radical livre. Estes centros têm a possibilidade de reagir com cadeias poliméricas vizinhas formando ligações cruzadas, que podem alterar a estrutura inicialmente linear de um polímero para uma estrutura tridimensional variando suas características de rigidez<sup>(46)</sup>.

Se a quebra ocorrer no centro da cadeia polimérica, nenhum fragmento poderá difundir, havendo apenas a sua recombinação com o final reativo de uma outra cadeia.

Os principais efeitos que podem ocorrer após a ruptura das ligações de um polímero são<sup>(10,22,43)</sup>:

- a) Degradação do polímero e transformação em um produto de baixo peso molecular provocando mudanças nas suas propriedades.
- b) Reticulação do polímero, produzido tanto pela radiação de alta energia como pelo efeito



da temperatura elevada. Como consequência, observa-se uma maior fragilidade do filme, acompanhado de perda de aderência ao suporte e perda de estabilidade química.

- c) Decomposição química dos constituintes inorgânicos das tintas, tais como pigmentos e materiais de enchimento ocasionando mudanças de coloração.
- d) Formação de agentes corrosivos a partir da decomposição do polímero.

Desde que muitos destes efeitos estão competindo, pode se esperar um aumento ou decréscimo na rigidez da tinta, assim como, mudanças nas propriedades de um mesmo espécime, provocando o aparecimento de rachaduras, quebras do filme, formação de bolhas ou descoloração.

A estabilidade de uma resina depende de sua estrutura; em geral afirma-se<sup>(34)</sup> que a presença de uma molécula com anel benzênico em posição lateral, na cadeia principal do polímero, confere uma elevada estabilidade à radiação, como é o caso do poliestireno. No entanto se o anel faz parte da cadeia principal, como no caso da resina fenólica, a estabilidade pode ser inferior. As moléculas sem anel benzênico, como o cloreto de polivinila, possuem uma estabilidade relativamente menor<sup>(4)</sup>. Mas a estabilidade da tinta não depende somente da resina empregada, outros componentes como os pigmentos, plastificantes e materiais de enchimento podem influir sensivelmente nas suas propriedades de resistência à radiação.

### 3 – MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 – Equipamentos Utilizados

##### 3.1.1 – Detector Geiger-Müller

As contagens das amostras para subsequente cálculo dos fatores de descontaminação foram realizadas em detector Geiger Müller, modelo 18 505, com janela de mica de 1,5 a 2,0 mg/cm<sup>2</sup> de espessura, acoplado a um sistema eletrônico composto de uma fonte de alta tensão e amplificador modelo PW 4 032 e um contador de tempo modelo PW 4 052, todos de marca Philips, pertencentes ao Centro de Proteção Radiológica e Dosimetria (CPRD).

O detector Geiger-Müller é montado dentro de uma blindagem de chumbo cuja finalidade é diminuir a influência da radiação de fundo do laboratório. Esta blindagem possui ainda no seu interior prateleiras a várias distâncias do detector que servem como suporte das amostras a serem contadas.

##### 3.1.2 – Detector de Germânio-Lítio (Ge(Li))

Para a análise da atividade residual das amostras, depois de submetidas ao processo de descontaminação, utilizou-se um detector semi-condutor de germânio-lítio da Ortec, com um volume sensível de 44,1 cm<sup>3</sup>, operando com uma tensão de 3 000 V e acoplado a um analisador multicanal modelo 5 401 A da Hewlett Packard de 8 192 canais. Com o amplificador modelo 451 da Ortec, obteve-se uma resolução de 3,3 keV para a energia de 1,33 MeV do cobalto-60. Equipamento este pertencente ao CPRD.

##### 3.1.3 – Irradiador Gama

Para a irradiação das amostras utilizou-se um irradiador de cobalto-60 Gammacell 220 de fabricação da "Atomic Energy of Canada Limited" de 9 235 Ci\* de atividade (medida em 08.05.1974).

(\*) Atualmente esta unidade está sendo substituída pelo Becquerel (Bq)  
Onde: 1 Bq = 1 dps e 1 Ci = 3,7 . 10<sup>10</sup> dps

pertencente ao Centro de Operação e Utilização do Reator de Pesquisa (COURP). A sua taxa de dose, na época da irradiação, era de  $4,28 \cdot 10^5$  rad/h, o que permitia obter doses acumuladas de até  $10^8$  rad em períodos relativamente curtos de irradiação.

Para alcançar as doses de radiação de  $10^9$  rad utilizou-se o irradiador de cobalto-60 da firma Ethicon-Suturas, de aproximadamente 168 000 Ci de atividade, fabricado pela "Atomic Energy of Canada Limited", usado para esterilização de produtos cirúrgicos.

### 3.1.4 – Microdurômetro

Para a medida da dureza dos filmes, utilizou-se um microdurômetro "Durimet" de fabricação da "Ernst Leitz Wetzlar" pertencente ao Centro de Metalurgia Nuclear (CMN).

Basicamente, o aparelho consiste de uma haste metálica com a extremidade inferior de diamante. Na parte superior é colocado um peso e, quando um dispositivo é acionado a haste, sob a ação deste peso, desce sobre a superfície provocando-lhe um entalhe "indentation", cuja dimensão depende da resistência que a película opõe à força aplicada.

Pela medida do comprimento longitudinal do entalhe feito com auxílio de um microscópio acoplado ao aparelho obtém-se a dureza (KHN) na escala Knoop pela seguinte expressão:

$$KHN = \frac{P \cdot C_p \cdot 10^3}{l^2}$$

onde:

KHN = número de dureza Knoop (Kgf/mm<sup>2</sup>)

P = peso aplicado (gf)

l = comprimento da diagonal longitudinal (μm)

C<sub>p</sub> = constante de endentação Knoop = 14,23

Todas as medidas de dureza foram realizadas segundo as especificações da "American Society for Testing and Materials (ASTM)"<sup>(2)</sup>.

## 3.2 – Material e Métodos

### 3.2.1 – Obtenção e Preparação de Amostras

Inicialmente, para a obtenção de amostras, fez-se um levantamento das indústrias de tintas e vernizes locais, que fabricavam os materiais de interesse para este estudo, isto é, aqueles cujas estruturas básicas foram discutidas no item 2.1. Após os contactos iniciais com as firmas, formalizou-se um pedido para o fornecimento de amostras de suas tintas.

As tintas foram aplicadas em substratos\* de aço carbono de 6,0 x 6,0 x 0,4 cm e de concreto de 6,5 x 12 x 2,4 cm. O tempo de cura do concreto foi de aproximadamente 30 dias e ao final deste período, as tintas foram aplicadas nos substratos de concreto. As amostras foram preparadas pelos próprios fabricantes, isto porque cada tinta possui condições específicas de aplicação, que são diferentes

(\*) Entende-se por substrato, o material suporte sobre o qual a tinta é aplicada.

para os vários produtos. Desta maneira evitou-se que ocorressem danos nas superfícies por falhas de aplicação.

As amostras, com a tinta aplicada, foram estocadas antes dos testes, por um período de pelo menos 14 dias a temperatura ambiente, a fim de permitir a cura completa da película.

### 3.2.2 – Tintas Amostradas

Obtiveram-se um total de 54 amostras de tintas, dos 5 diferentes tipos de resinas citados no item 2.1, fornecidas por 4 fabricantes.

Os códigos de identificação, o tipo de resina, a cor, o substrato ao qual foi aplicada e a quantidade de amostras de cada espécime de tinta podem ser observadas na Tabela III.

Tabela III

Amostras de Tintas Recebidas

Código	Tipo de Resina	Substrato	Quantidade	Cor
P <sub>1</sub>	epoxi	aço	4	amarelo ouro
P <sub>2</sub>	epoxi	aço	4	bege
P <sub>3</sub>	clorato de polivinila	aço	4	branca
P <sub>4</sub>	epoxi	aço	4	branca
S <sub>1</sub>	epoxi	aço	4	branca
S <sub>2</sub>	alquídica	aço	4	branca
S <sub>10</sub>	borracha clorada	aço	4	branca
O <sub>1</sub>	epoxi	aço	4	amarela
O <sub>6</sub>	poliuretânica	aço	4	azul
C <sub>9</sub>	poliuretânica	aço	2	branca
C <sub>1</sub>	epoxi	concreto	2	branca
C <sub>2</sub>	epoxi	concreto	2	branca
C <sub>3</sub>	borracha clorada	concreto	2	cinza
C <sub>4</sub>	poliuretânica	concreto	2	incolor
S <sub>13</sub>	borracha clorada	concreto	4	branca
S <sub>14</sub>	epoxi	concreto	4	branca

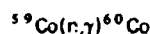
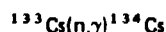
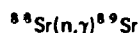
As amostras foram submetidas a uma análise visual e somente aquelas que não possuíam nenhum tipo de defeito na superfície, como rugosidade, ondulações ou rachaduras, foram utilizadas neste trabalho. Isto porque, mesmo que estes defeitos sejam pequenos, podem influir consideravelmente nos testes de contaminação e descontaminação. De modo que as amostras C<sub>1</sub>, C<sub>2</sub>, C<sub>3</sub>, C<sub>4</sub>, S<sub>13</sub> e S<sub>17</sub> aplicadas em substratos de concreto e a C<sub>9</sub> em aço, não puderam ser ensaiadas por causa da rugosidade da superfície e a presença de poros provocados provavelmente na aplicação da tinta.

### 3.2.3 – Método de Contaminação das Amostras

A susceptibilidade de uma superfície à contaminação é indicada pela sorção do íon radioativo presente num meio aquoso.

Com a finalidade de obter resultados comparáveis, todas as amostras foram contaminadas utilizando a mesma técnica. Antes da contaminação, todas sofreram um tratamento de limpeza superficial a fim de remover partículas de poeira ou gorduras que pudessem influir nos resultados.

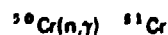
Para a obtenção da solução contaminante irradiaram-se os sais de óxido de cobalto (Co<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) P.A. da Merck, carbonato de cálcio (CaCO<sub>3</sub>) P.A. da Carlo Erba, carbonato de estrôncio (SrCO<sub>3</sub>) P.A. da Merck e carbonato de cézio (Cs<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>) P.A. da Merck, no reator IEA R-1. Na irradiação desses compostos, as reações nucleares envolvidas para a formação dos isótopos radioativos são:



Após a irradiação o óxido de cobalto, carbonato de estrôncio, carbonato de cálcio e carbonato de cézio foram dissolvidos com uma solução de ácido clorídrico 1 M. Em seguida, esta solução ácida contendo os elementos radioativos foi evaporada em banho maria até quase a secar, para a eliminação do excesso de ácido. Este processo de evaporação foi repetido várias vezes adicionando-se água ao resíduo, a fim de remover completamente o ácido. No final, obteve-se uma solução aproximadamente neutra, com esses elementos na forma de sais de cloreto.



A solução de iodo e cromo radioativo foram obtidas diretamente do Centro de Processamento de Material Radioativo (CPMR) que produz esses radioisótopos a partir da irradiação do telúrio elementar e do cromato de potássio, respectivamente. As principais reações nucleares envolvidas para a produção desses radioelementos são:



Após a irradiação, esses compostos são processados quimicamente para a eliminação de impurezas e obtenção do radioisótopo na forma química desejada, isto é,

$^{131}\text{I}$  na forma de NaI

$^{51}\text{Cr}$  na forma de  $\text{CrCl}_3$

Estas soluções foram posteriormente diluídas até a obtenção de uma concentração que fornecesse uma contagem adequada para ser medida no contador Geiger-Müller. Para contaminar as placas, utilizou-se uma mistura contendo todos esses radioisótopos em proporções aproximadamente iguais.

Para a realização do teste de susceptibilidade à contaminação, depositou-se com o auxílio de uma micropipeta, 0,1 ml da solução contaminante na superfície das amostras. Em seguida as placas foram recobertas com vidros de relógio para minimizar a evaporação e deixadas em contato com a solução por um período de 1 hora, a temperatura ambiente. Após esse período o excesso foi removido e em seguida lavada em água.

Uma segunda amostra foi submetida a esse mesmo processo de contaminação para ensinar a sua facilidade de descontaminação. Para tanto o tempo de contato da solução contaminante com a superfície foi de 7 dias, a fim de permitir uma fixação mais estável dos radionuclídeos.

### 3.2.4 – Método de Descontaminação das Amostras

Como não existe um método internacionalmente aceito para a avaliação da capacidade de descontaminação das tintas, a técnica adotada foi selecionada após considerações dos métodos mais comuns encontrados na literatura (6,12,13,14,21,23,24,26,29,30,38,40,41,43).

A fim de obter resultados comparáveis entre as várias amostras, cada espécime sofreu um tratamento térmico idêntico de descontaminação que consistiu das seguintes etapas executadas sucessivamente.

**Etapa 1:** Lavagem das placas contaminadas com água corrente, esfregando-as com uma esponja de plástico suave, para auxiliar o processo de descontaminação. Em seguida, as placas foram secadas com papel absorvente e contadas no detector Geiger-Müller ou no detector Ge(Li).

**Etapa 2:** Imersão das placas contaminadas em uma solução de detergente comercial a 10% em peso durante 5 minutos. Em seguida foram retiradas da solução e esfregadas com uma esponja de plástico embebida na mesma solução de detergente. Ao final desta etapa as placas foram também secadas e medidas.

**Etapa 3:** Idêntica a anterior, mas a solução utilizada foi uma mistura ácida tenso ativa composta de ácido cítrico a 5%, sal sódico do ácido etileno diamino tetraacético a 5% e detergente a 10% em peso.

**Etapa 4:** Semelhante às anteriores, mas utilizando uma solução de ácido nítrico 1M.

Estas etapas sucessivas representam um procedimento normalmente utilizado na descontaminação de uma superfície, que se inicia com um método brando para a remoção dos radionuclídeos. Caso este tratamento não produza os efeitos desejados, as etapas seguintes são gradativamente mais severas, culminando com um tratamento drástico de ataque à superfície.

O grau de descontaminação alcançado após cada uma das etapas foi determinado em termos do fator de descontaminação (F.D.).

O procedimento de contaminação e subsequente descontaminação foi aplicado também em amostras que foram expostas a uma dose acumulada de radiação de  $10^8$  rad, no ar.

Basicamente, os principais componentes dos detergentes comerciais<sup>[3]</sup> são o alquil-aryl-sulfonatos de sódio que constituem a matéria ativa do detergente; fosfatos na forma de polifosfatos de sódio de ação complexantes que são adicionados principalmente para evitar a precipitação de sais de metais pesados e alcalino terrosos, os quais são responsáveis pela "dureza" da água; silicatos de sódio que são usados geralmente para encorpar e alcalinizar o produto e sulfato de sódio usado como material de enchimento para diminuir o custo do produto.

### 3.2.5 – Método para Verificação dos Danos Provocados pela Radiação

As amostras pintadas sobre os substratos de aço foram expostas à radiação gama no irradiador de cobalto-60, de tal modo que todas fossem submetidas a uma dose de  $10^6$  rad. A seguir, mediu-se a dureza das amostras com o auxílio de um microdurômetro e paralelamente fez-se observações da mudanças visíveis em sua superfície.

Este processo de irradiação e posterior ensaio foi repetido para doses de  $10^5$  rad,  $10^6$  rad,  $10^7$  rad,  $5.10^7$  rad,  $10^8$  rad e  $10^9$  rad.

### 3.2.6 – Método para Verificação da Resistência a Agentes Químicos

A finalidade deste teste é determinar a resistência das tintas selecionadas aos solventes comuns de laboratório e, ao mesmo tempo, investigar quais os tipos de reagentes que podem ser empregados nos procedimentos de descontaminação, de tal forma que não danifiquem seriamente a superfície a ser descontaminada.

Os reagentes utilizados foram:

- a) Acetona de grau técnico da Usina Colombina S.A.
- b) Toluol da J.T. Baker (P.A.)
- c) Dicloro metano da Carlo Erba (P.A.)
- d) Solução de hidróxido de sódio (1 M) preparado de NaOH da Carlo Erba (P.A.)
- e) Solução de ácido clorídrico (1 M) preparado a partir de HCl a 37% da Carlo Erba (P.A.)

Para este ensaio utilizou-se uma placa de cada tipo de tinta, o qual foi recoberta com uma camada de parafina, onde foram abertos alguns orifícios de cerca de 10 mm de diâmetro de forma a permitir o contato dos reagentes com a superfície pintada. Em cada um dos orifícios foi depositado um agente diferente e deixado em contato por um período de 30 minutos. Para os solventes muito voláteis, adicionava-se o reagente à medida que se evaporavam, de maneira a não permitir a sua completa secagem.

A resistência das tintas aos agentes químicos foi ensaiada qualitativamente por comparação das superfícies atacadas com um padrão virgem, observando-se visualmente os danos provocados nas amostras.

## 4 – RESULTADOS

Neste capítulo é dada uma série de tabelas em que se apresentam os resultados obtidos nas diferentes fases do trabalho.

#### 4.1 – Resultados do Teste de Susceptibilidade à Contaminação

Os resultados obtidos neste ensaio podem ser observados na Tabela IV.

Tabela IV

Resultados de Susceptibilidade à Contaminação das Amostras

Amostras	Tipo de Resina	Contagem (cpm) <sup>*</sup>		F.D. (x 10 <sup>2</sup> )
		Inicial	Final	
P <sub>1</sub>	epoxi	9 977 ± 99	51 ± 7	2,0 ± 0,3
P <sub>2</sub>	epoxi	10 597 ± 102	17 ± 4	6,2 ± 1,5
S <sub>1</sub>	epoxi	9 365 ± 96	45 ± 6	2,1 ± 0,3
O <sub>1</sub>	epoxi	13 620 ± 116	30 ± 5	4,5 ± 0,8
P <sub>4</sub>	epoxi	11 823 ± 108	45 ± 6	2,7 ± 0,4
P <sub>3</sub>	cloro de polivinila	13 646 ± 116	39 ± 6	3,5 ± 0,5
S <sub>8</sub>	alquídica	12 950 ± 113	38 ± 6	3,4 ± 0,5
S <sub>10</sub>	borracha clorada	10 770 ± 103	202 ± 14	0,53 ± 0,04
O <sub>6</sub>	poliuretânica	6 950 ± 83	27 ± 5	2,6 ± 0,4

(<sup>\*</sup>) = contagem por minuto

#### 4.2 – Resultados de Descontaminação

As Tabelas V e VI indicam o número de contagens obtido após cada etapa de descontaminação para os diferentes tipos de tintas, contado no detector Geiger-Müller. Cada uma das medidas representa a média de 3 determinações, realizadas sempre numa mesma geometria. A Tabela VI refere-se às amostras que sofreram uma irradiação acumulada total de 10<sup>8</sup> rad.

As Tabelas VII e VIII indicam os fatores de descontaminação calculados respectivamente a partir dos resultados apresentados nas Tabelas V e VI.

Em virtude dos resultados de descontaminação apresentados nas Tabelas V e VI, onde se verificou a persistência de uma contagem residual, repetiu-se a experiência de contaminação e descontaminação, efetuando-se as medidas com o detector Ge(Li). Este ensaio teve como finalidade avaliar a influência de cada tipo de resina na capacidade de retenção dos radioelementos. Para tanto, selecionou-se apenas uma amostra representativa de cada espécie de resina, e a contagem foi tomada no canal correspondente a energia gama de cada um dos radionuclídeos. Desta maneira, na Tabela IX apresentam-se o número de contagens obtidos após as etapas de descontaminação.

Na Tabela X apresentam-se os fatores de descontaminação, calculados a partir dos resultados apresentados na Tabela IX.

Tabela V

## Descontaminação de Amostras

Amostras	Tipo de Resina	Contagem* Inicial	Contagem* Após as Etapas de Descontaminação				Contagem Remanescente %
			1	2	3	4	
P <sub>1</sub>	epoxi	58 362 ± 242	11 761 ± 108	6 243 ± 79	5 824 ± 76	3 032 ± 55	5,2 ± 0,1
P <sub>2</sub>	epoxi	21 050 ± 142	5 050 ± 71	1 046 ± 32	818 ± 29	528 ± 23	2,6 ± 0,1
S <sub>1</sub>	epoxi	25 183 ± 159	2 432 ± 49	2 162 ± 46	898 ± 30	845 ± 29	3,3 ± 0,1
O <sub>1</sub>	epoxi	44 870 ± 212	3 069 ± 55	2 959 ± 54	2 880 ± 54	2 850 ± 53	6,3 ± 0,2
P <sub>4</sub>	epoxi	43 347 ± 98	5 382 ± 73	4 608 ± 68	1 303 ± 36	1 095 ± 33	2,5 ± 0,1
P <sub>3</sub>	clorato de polivinila	15 565 ± 125	2 598 ± 51	876 ± 29	643 ± 25	561 ± 23	4,0 ± 0,1
S <sub>8</sub>	alquídica	29 982 ± 173	6 777 ± 82	5 616 ± 75	5 030 ± 71	2 039 ± 45	3,0 ± 0,1
S <sub>10</sub>	borracha clorada	34 740 ± 186	10 713 ± 103	4 711 ± 68	3 781 ± 61	1 903 ± 43	5,4 ± 0,2
O <sub>6</sub>	poliuretânica	32 274 ± 179	2 297 ± 48	2 122 ± 46	1 458 ± 38	854 ± 29	3,0 ± 0,1

(\*) contagem em cpm



Tabela VI

## Descontaminação de Amostras Irradiadas

Amostras	Tipo de Resina	Contagem* Inicial	Contagem* Após as Etapas de Descontaminação				Contagem Remanescente %
			1	2	3	4	
P <sub>1</sub>	epoxi	54 812 ± 234	11 902 ± 109	5 279 ± 73	5 233 ± 72	4 182 ± 65	7,6 ± 0,1
P <sub>2</sub>	epoxi	23 121 ± 152	6 717 ± 82	1 732 ± 42	720 ± 27	648 ± 25	2,8 ± 0,1
S <sub>1</sub>	epoxi	8 365 ± 91	3 042 ± 55	1 054 ± 32	268 ± 16	264 ± 16	3,2 ± 0,1
O <sub>1</sub>	epoxi	17 257 ± 131	5 124 ± 72	2 903 ± 44	1 857 ± 43	816 ± 29	4,7 ± 0,1
P <sub>6</sub>	epoxi	34 486 ± 188	5 354 ± 73	3 218 ± 57	1 379 ± 37	1 188 ± 34	3,3 ± 0,1
P <sub>3</sub>	cloro de polivinila	43 857 ± 209	21 948 ± 148	12 121 ± 110	10 217 ± 111	6 337 ± 79	14,0 ± 0,2
S <sub>6</sub>	alquídica	31 686 ± 178	11 455 ± 107	3 952 ± 63	2 254 ± 47	2 246 ± 47	7,1 ± 0,1
S <sub>10</sub>	borracha clorada	36 579 ± 191	11 887 ± 109	9 325 ± 97	3 366 ± 58	2 194 ± 47	3,3 ± 0,1
O <sub>6</sub>	poliuretânica	16 793 ± 130	5 087 ± 71	4 151 ± 64	2 467 ± 50	750 ± 27	4,0 ± 0,1

(\*) contagem em cpm

Tabela VII

Fator de Descontaminação das Amostras

Amostras	Tipo de Resina	Fator de Descontaminação Após as Etapas							
		1		2		3		4	
		F.D.*	F.D.*	F.D.**	F.D.*	F.D.**	F.D.*	F.D.**	
P <sub>1</sub>	epoxi	5,0 ± 0,1	9,3 ± 0,1	4,3 ± 0,1	10,0 ± 0,1	0,7 ± 0,1	19,2 ± 0,4	9,2 ± 0,4	
P <sub>2</sub>	epoxi	4,0 ± 0,1	19,2 ± 0,6	15,2 ± 0,6	24,5 ± 0,9	5,3 ± 0,9	38,0 ± 1,7	13,5 ± 1,9	
S <sub>1</sub>	epoxi	10,4 ± 0,1	11,6 ± 0,1	1,2 ± 0,1	28,0 ± 1,0	16,4 ± 1,0	29,8 ± 1,0	1,8 ± 1,0	
O <sub>1</sub>	epoxi	14,7 ± 0,3	15,2 ± 0,3	0,0 ± 0,0	15,6 ± 0,3	0,0 ± 0,0	15,8 ± 0,3	0,0 ± 0,0	
P <sub>6</sub>	epoxi	8,1 ± 0,1	9,4 ± 0,1	1,3 ± 0,1	33,3 ± 1,0	23,9 ± 1,0	39,8 ± 1,2	6,5 ± 1,5	
P <sub>3</sub>	clorato de polivinila	6,0 ± 0,1	18,5 ± 0,7	14,5 ± 0,7	24,2 ± 0,9	5,7 ± 1,1	27,7 ± 1,2	3,5 ± 1,5	
S <sub>6</sub>	alquídica	4,4 ± 0,1	5,3 ± 0,1	0,9 ± 0,1	6,0 ± 0,1	0,7 ± 0,1	14,7 ± 0,3	8,7 ± 0,3	
S <sub>10</sub>	borracha clorada	3,2 ± 0,1	7,4 ± 0,1	4,2 ± 0,1	9,2 ± 0,2	1,8 ± 0,2	18,5 ± 0,3	9,3 ± 0,4	
O <sub>6</sub>	poliuretânica	14,1 ± 0,3	15,2 ± 0,3	0,9 ± 0,4	22,1 ± 3,3	6,9 ± 3,4	37,8 ± 1,3	15,7 ± 3,5	

F.D.\* = fator de descontaminação de cada etapa relativamente a contagem inicial

F.D.\*\* = fator de descontaminação de cada etapa em relação a etapa anterior

Tabela VIII

Fator de Descontaminação das Amostras Irradiadas

Amostras	Tipo de Resina	Fator de Descontaminação Após as Etapas							
		1		2		3		4	
		F.D.*	F.D.*	F.D.**	F.D.*	F.D.**	F.D.*	F.D.**	
P <sub>1</sub>	epoxi	4,6 ± 0,2	10,4 ± 0,2	5,8 ± 0,3	10,5 ± 0,2	0,0 ± 0,0	13,1 ± 0,2	2,6 ± 0,3	
P <sub>2</sub>	epoxi	3,4 ± 0,2	13,3 ± 0,2	9,9 ± 0,3	32,1 ± 1,2	18,8 ± 1,2	35,7 ± 1,4	3,6 ± 1,7	
S <sub>1</sub>	epoxi	2,7 ± 0,1	7,9 ± 0,3	5,2 ± 0,3	31,2 ± 2,0	23,3 ± 2,0	31,7 ± 2,0	0,0 ± 0,0	
O <sub>1</sub>	epoxi	3,4 ± 0,1	5,9 ± 0,1	2,5 ± 0,1	9,3 ± 0,2	3,4 ± 0,2	21,1 ± 0,8	11,8 ± 0,8	
P <sub>4</sub>	epoxi	6,6 ± 0,1	10,7 ± 0,2	4,1 ± 0,2	25,0 ± 0,6	14,3 ± 0,6	29,0 ± 0,7	4,0 ± 0,9	
P <sub>3</sub>	clorato de polivinila	2,00 ± 0,05	3,60 ± 0,05	1,60 ± 0,07	4,30 ± 0,05	0,70 ± 0,07	6,92 ± 0,01	2,62 ± 0,05	
S <sub>8</sub>	alquídica	2,87 ± 0,03	8,0 ± 0,1	5,1 ± 0,1	14,0 ± 0,3	6,0 ± 0,3	14,1 ± 0,3	0,0 ± 0,0	
S <sub>10</sub>	borracha clorada	3,1 ± 0,1	3,9 ± 0,1	0,8 ± 0,1	10,9 ± 0,3	7,0 ± 0,3	16,6 ± 0,4	5,7 ± 0,4	
O <sub>6</sub>	poliuretânica	3,30 ± 0,05	4,05 ± 0,02	0,75 ± 0,05	6,8 ± 0,1	2,75 ± 0,1	22,4 ± 0,8	15,6 ± 0,8	

F.D.\* = fator de descontaminação de cada etapa relativamente a contagem inicial

F.D.\*\* = fator de descontaminação de cada etapa em relação a etapa anterior

Tabela IX

Contagem das Amostras no Ge(Li)

Amostras e Tipo de Resina	Radioelemento	Contagem *	Contagem * Após as Etapas de Descontaminação				Contagem Remanescente %
		Inicial	1	2	3	4	
P <sub>6</sub> epoxi	<sup>51</sup> Cr	16 334 ± 77	289 ± 10	247 ± 9	177 ± 8	91 ± 6	0,60 ± 0,04
	<sup>131</sup> I	8 245 ± 51	7 278 ± 54	6 853 ± 50	4 489 ± 40	2 644 ± 31	32,0 ± 0,3
	<sup>134</sup> Cs	1,276 ± 21	35 ± 4	25 ± 3	17 ± 2	9 ± 2	0,7 ± 0,1
	<sup>60</sup> Co	1 176 ± 20	200 ± 8	147 ± 7	51 ± 4	10 ± 2	0,85 ± 0,01
S <sub>8</sub> alquídica	<sup>51</sup> Cr	16 089 ± 76	1 275 ± 21	941 ± 18	710 ± 16	551 ± 14	3,4 ± 0,1
	<sup>131</sup> I	6 686 ± 49	5 339 ± 44	4 703 ± 41	4 067 ± 38	2 755 ± 31	41,2 ± 0,6
	<sup>134</sup> Cs	1 240 ± 21	189 ± 8	88 ± 6	20 ± 3	10 ± 2	0,8 ± 0,2
	<sup>60</sup> Co	1 198 ± 21	183 ± 8	131 ± 7	40 ± 4	8 ± 2	0,6 ± 0,2
S <sub>16</sub> borracha clorada	<sup>51</sup> Cr	10 817 ± 62	3 461 ± 35	2 634 ± 31	384 ± 12	363 ± 11	3,5 ± 0,1
	<sup>131</sup> I	6 539 ± 49	6 396 ± 48	5 073 ± 43	2 135 ± 28	1 640 ± 24	32,5 ± 0,5
	<sup>134</sup> Cs	869 ± 18	240 ± 9	226 ± 9	15 ± 2	15 ± 2	1,7 ± 0,2
	<sup>60</sup> Co	1 107 ± 20	290 ± 10	260 ± 10	53 ± 4	15 ± 2	1,3 ± 0,3
O <sub>6</sub> poliure- tânica	<sup>51</sup> Cr	17 228 ± 79	521 ± 30	344 ± 11	232 ± 9	203 ± 9	1,2 ± 0,6
	<sup>131</sup> I	10 972 ± 63	7 777 ± 53	7 424 ± 52	5 836 ± 46	5 363 ± 44	48,9 ± 0,5
	<sup>134</sup> Cs	1 410 ± 23	29 ± 3	26 ± 3	16 ± 2	16 ± 2	1,1 ± 0,1
	<sup>60</sup> Co	1 263 ± 21	221 ± 9	151 ± 7	31 ± 3	14 ± 2	1,1 ± 0,2
P <sub>3</sub> cloreto de polivinila	<sup>51</sup> Cr	16 384 ± 77	301 ± 10	214 ± 9	143 ± 7	128 ± 7	0,78 ± 0,04
	<sup>131</sup> I	5 981 ± 46	2 923 ± 30	2 582 ± 31	2 107 ± 28	2 013 ± 27	35,2 ± 0,5
	<sup>134</sup> Cs	1 292 ± 22	15 ± 2	12 ± 2	10 ± 2	8 ± 2	0,8 ± 0,1
	<sup>60</sup> Co	1 208 ± 21	152 ± 7	102 ± 6	28 ± 3	10 ± 2	0,8 ± 0,2

(\*) número de contagens por 100 segundos.

Tabela X

Fator de Descontaminação dos Radioelementos

Amostras e Tipo de Resina	Radioelemento	Fator de Descontaminação Após as Etapas			
		1	2	3	4
P <sub>4</sub> epoxi	<sup>51</sup> Cr	56,5 ± 2,0	66,1 ± 2,4	92,3 ± 4,2	179 ± 12
	<sup>131</sup> I	1,13 ± 0,01	1,20 ± 0,01	1,84 ± 0,02	3,12 ± 0,04
	<sup>134</sup> Cs	36,6 ± 4,2	51,2 ± 6,2	75,3 ± 8,9	141 ± 31
	<sup>60</sup> Co	5,9 ± 0,3	8,0 ± 0,4	23,1 ± 1,8	117 ± 23
S <sub>8</sub> alquídica	<sup>51</sup> Cr	12,7 ± 0,2	17,0 ± 0,3	22,6 ± 0,4	29,2 ± 0,7
	<sup>131</sup> I	1,25 ± 0,01	1,42 ± 0,02	1,64 ± 0,03	2,43 ± 0,03
	<sup>134</sup> Cs	6,6 ± 0,2	14,1 ± 0,6	62 ± 21	124 ± 25
	<sup>60</sup> Co	6,5 ± 0,3	9,1 ± 0,5	30,0 ± 3,0	149 ± 37
S <sub>10</sub> borracha clorada	<sup>51</sup> Cr	3,1 ± 0,1	4,1 ± 0,2	28,2 ± 0,9	29,8 ± 0,9
	<sup>131</sup> I	1,03 ± 0,02	1,29 ± 0,03	3,08 ± 0,07	4,01 ± 0,09
	<sup>134</sup> Cs	3,6 ± 0,1	3,8 ± 0,2	57,5 ± 7,6	57,9 ± 7,9
	<sup>60</sup> Co	3,8 ± 0,1	4,2 ± 0,2	20,8 ± 2,6	73 ± 10
O <sub>6</sub> poliuretânica	<sup>51</sup> Cr	33,1 ± 1,9	50,0 ± 1,6	74,2 ± 2,9	84,8 ± 3,8
	<sup>131</sup> I	1,41 ± 0,01	1,48 ± 0,01	1,88 ± 0,02	2,05 ± 0,01
	<sup>134</sup> Cs	48,6 ± 5,1	54,2 ± 6,3	88 ± 11	88 ± 11
	<sup>60</sup> Co	5,5 ± 0,2	8,1 ± 0,1	39,8 ± 3,9	58 ± 12
P <sub>3</sub> cloreto de polivinila	<sup>51</sup> Cr	54,4 ± 1,8	76,6 ± 3,2	114,0 ± 5,6	110,7 ± 6,0
	<sup>131</sup> I	2,05 ± 0,03	2,32 ± 0,03	2,84 ± 0,04	3,97 ± 0,05
	<sup>134</sup> Cs	86 ± 11	107 ± 18	129 ± 26	160 ± 40
	<sup>60</sup> Co	7,9 ± 0,4	11,8 ± 0,7	43,1 ± 4,7	120 ± 24

#### 4.3 – Resultados do Ensaio para Verificação dos Danos Provocados pela Radiação

A seguir apresentam-se os resultados dos danos de radiação obtidos para as diferentes amostras que receberam doses gradativas desde  $10^4$  rad até  $10^9$  rad, no ar.

A Tabela XI resume as principais alterações macroscópicas observadas após as irradiações das amostras até a dose de  $10^8$  rad.

Nas Figuras 1 a 9 apresentam-se as amostras de tinta, antes e após a irradiação a  $10^9$  rad, onde se pode observar os danos provocados pela radiação.

Nas Tabelas XII, XIII, XIV, XV e XVI apresentam-se os valores do comprimento de endentação e a dureza das amostras sem irradiação e após a irradiação a  $10^6$ ,  $10^7$ ,  $5 \cdot 10^7$  e  $10^8$  rad respectivamente.

No sentido de se poder avaliar o comportamento de cada amostra com o aumento da irradiação construiu-se a Tabela XVII dada a seguir.

#### 4.4 – Resultados do Ensaio de Resistência a Agentes Químicos

A avaliação da resistência das tintas aos reagentes químicos foi realizada por observações macroscópicas e as tintas foram classificadas de acordo com o seu desempenho em:

- a) BOA (B) quando não se observava nenhum tipo de alteração na superfície;
- b) REGULAR (R) quando havia mudança de coloração, ou leve amolecimento da tinta;
- c) INAPTA (I) quando a tinta perdia todas as suas características de cobertura, como dissolução ou formação de bolhas no filme ou o seu desprendimento do substrato.

Assim, de acordo com esta classificação, na Tabela XVIII pode-se observar a resistência das amostras aos agentes químicos.

### 5 – DISCUSSÃO DE RESULTADOS E CONCLUSÕES

#### 5.1 – Susceptibilidade a Contaminação

Pela análise dos resultados obtidos nos ensaios de susceptibilidade à contaminação (Tabela IV), observa-se que a maior parte das amostras apresentam um elevado fator de descontaminação. Isto pode ser explicado pelo pequeno período de contato da solução contaminante com a superfície, que impediu o ataque mais eficiente à camada de tinta. Além disso um fator importante a ser considerado é a natureza física das superfícies que apresentavam, macroscopicamente, uma película perfeitamente lisa, dificultando a retenção dos elementos por processos mecânicos de contaminação.

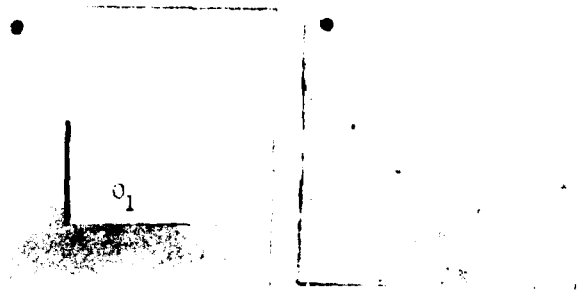
Com este teste não é possível conhecer o mecanismo pelo qual se produziu o ataque, mas pode-se distinguir materiais de superfície porosa. De acordo com TOMPKINS<sup>(42)</sup> que classifica como materiais porosos aqueles que absorvem 1% ou mais do radiolótoto em solução todas as tintas estudadas podem ser classificadas como materiais de superfície pouco porosa, exceto aquela a base de borracha clorada.

Ainda pela Tabela IV pode-se observar que para as tintas a base de resina epoxi, as amostras P<sub>1</sub> e P<sub>2</sub> apresentaram os valores dos fatores de descontaminação extremos. Pelas informações do fabricante

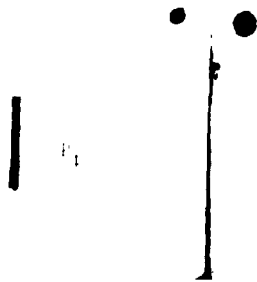
Tabela XI  
Efeito da Radiação em Tintas

Amostras e Tipo	Alterações Macroscópicas Observadas Após a Irradiação* A		
	10 <sup>7</sup> rad	5 . 10 <sup>7</sup> rad	10 <sup>8</sup> rad
P <sub>1</sub> epoxi	variação na cor	nova variação na cor	variação mais intensa na cor
P <sub>2</sub> epoxi	variação na cor	nova variação na cor	variação de cor bastante pronunciada
P <sub>4</sub> epoxi	variação na cor	nova variação na cor	variação mais intensa na cor
O <sub>1</sub> epoxi	variação na cor	nova variação na cor	variação mais intensa na cor
S <sub>1</sub> epoxi	variação na cor	ligeiro amolecimento e mudança de coloração	variação mais intensa na cor
P <sub>3</sub> cloreto de polivinila	sem alterações	variação na cor e leve amolecimento do filme	variação mais intensa na cor
S <sub>8</sub> aquídica	ligeiro amolecimento do filme	variação na cor e amolecimento do filme	A tinta exala odor característico do solvente
S <sub>10</sub> borracha clorada	sem alterações	sem alterações	variação na cor
O <sub>6</sub> poliuretânica	sem alterações	variação maior	variação mais intensa na cor

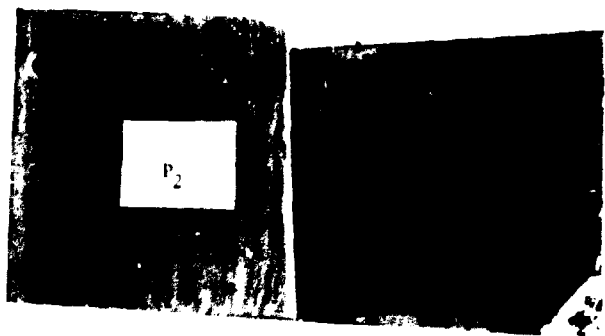
(\* ) As amostras sofreram uma exposição a 10<sup>4</sup>, 10<sup>5</sup> e 10<sup>6</sup> rad, mas não se observaram mudanças visíveis na superfície



**Figura 1 – Danos Provocados pela Radiação na Tinta e Base de Resina Epoxi**



**Figura 2 – Danos Provocados pela Radiação na Tinta e Base de Resina Epoxi**



**Figura 3 – Danos Provocados pela Radiação na Tinta e Base de Resina Epoxi**



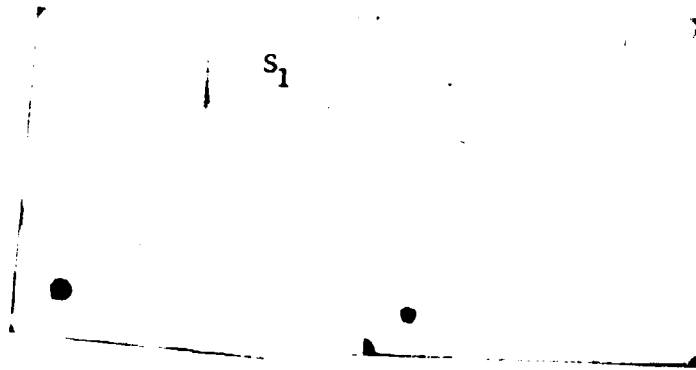


Figura 4 -- Danos Provocados pela Radiação na Tinta e Base de Resina Epoxi

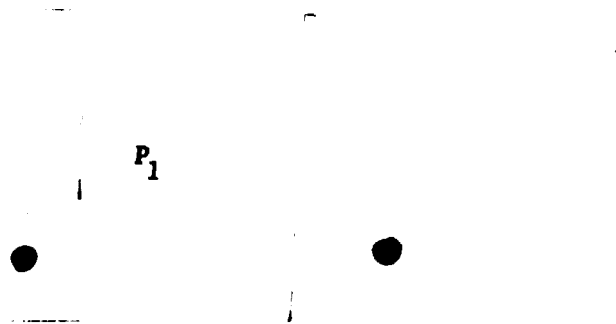


Figura 5 -- Danos Provocados pela Radiação na Tinta e Base de Resina Epoxi

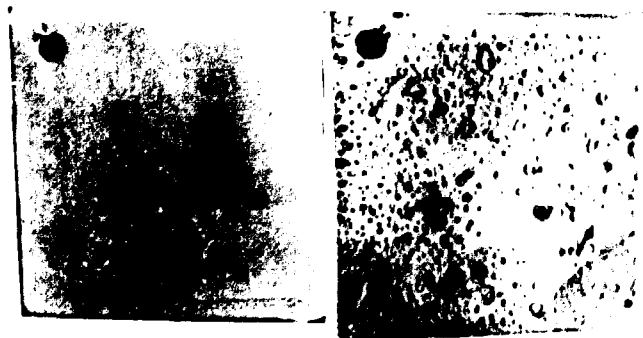


Figura 6 -- Danos Provocados pela Radiação na Tinta e Base de Resina Cloreto de Polivinila

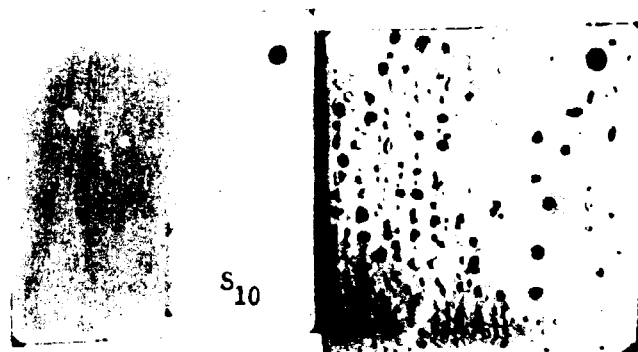


Figura 7 — Danos Provocados pela Radiação na Tinta a Base de Resina Alquílica

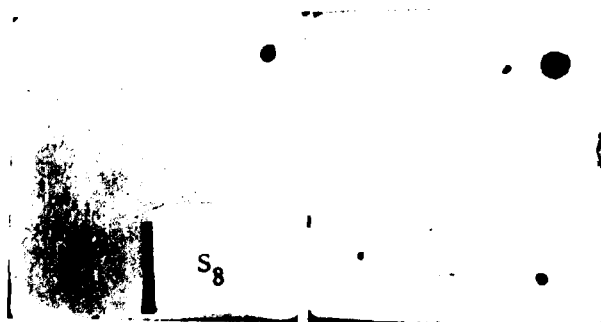


Figura 8 — Danos Provocados pela Radiação na Tinta a Base de Resina Borracha Clorada

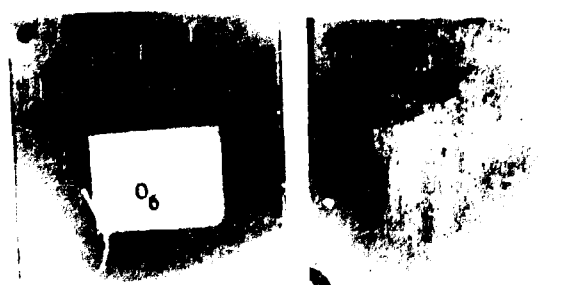


Figura 9 — Danos Provocados pela Radiação na Tinta a Base de Resina Poliuretânica

Tabela XII

Valores de Dureza das Amostras sem Irradiação (Padrões)

Amostras	Tipo	Valor de $l^{\circ}$ ( $\mu\text{m}$ )				KNH (Kgf/mm <sup>2</sup> )
		1 <sup>o</sup>	2 <sup>o</sup>	3 <sup>o</sup>	Média	
P <sub>1</sub>	epoxi	60,0	56,7	62,0	59,6 ± 2,7	20,0 ± 1,3
P <sub>2</sub>	epoxi	57,7	56,6	55,7	56,7 ± 1,0	22,3 ± 0,6
P <sub>4</sub>	epoxi	69,4	68,8	69,8	69,3 ± 0,5	14,8 ± 0,2
O <sub>1</sub>	epoxi	67,0	66,0	70,5	67,8 ± 2,4	15,4 ± 0,8
S <sub>1</sub>	epoxi	70,8	69,7	66,6	69,0 ± 2,2	15,4 ± 0,7
P <sub>3</sub>	cloreto de polivinila	leitura impossível**				
O <sub>6</sub>	poliuretânica	57,2	54,5	55,0	55,6 ± 1,4	23,0 ± 0,8
S <sub>6</sub>	alquídica	leitura impossível**				
S <sub>10</sub>	borracha clorada	60,5	60,1	60,0	60,2 ± 0,3	19,9 ± 0,1

(\*)  $l$  = comprimento da diagonal longitudinal da indentação

(\*\*) película muito mole, a carga aplicada atinge o substrato

Tabela XIII

Valores da Dureza de Amostras Irradiadas com  $10^6$  Rad

Amostras	Tipo	Valor de $l^*$ ( $\mu\text{m}$ )				KNH (Kgf/mm <sup>2</sup> )
		1º	2º	3º	Média	
P <sub>1</sub>	epoxi	58,0	59,9	60,5	58,8 ± 2,4	20,5 ± 1,2
P <sub>2</sub>	epoxi	57,6	54,0	53,4	55,0 ± 2,3	23,5 ± 1,4
P <sub>4</sub>	epoxi	73,4	67,9	68,7	70,0 ± 3,0	14,5 ± 0,9
O <sub>1</sub>	epoxi	69,0	70,3	67,9	69,1 ± 1,2	14,9 ± 0,4
S <sub>1</sub>	epoxi	65,4	65,8	68,4	66,5 ± 1,6	16,1 ± 0,5
P <sub>3</sub>	clorato de polivinila	74,8	63,0	64,8	67,5 ± 6,4	15,6 ± 2,1
O <sub>6</sub>	poliuretânica	55,4	54,7	58,5	56,2 ± 2,0	22,5 ± 1,1
S <sub>9</sub>	alquídica	leitura impossível				
S <sub>10</sub>	borracha clorada	56,4	50,0	59,7	55,4 ± 4,9	23,2 ± 2,9

(\*)  $l$  = comprimento da diagonal longitudinal da indentação

(\*\*) película muito mole, a carga aplicada atinge o substrato

Tabela XIV

Valores da Dureza de Amostras Irradiadas com  $10^7$  Rad

Amostras	Tipo	Valor de $l^*$ ( $\mu\text{m}$ )				Média	KNH (Kgf/mm <sup>2</sup> )
		1º	2º	3º			
P <sub>1</sub>	epoxi	64,9	68,5	65,1	66,1 ± 2,0	18,0 ± 0,7	
P <sub>2</sub>	epoxi	54,0	51,0	54,8	53,3 ± 2,0	25,0 ± 1,3	
P <sub>4</sub>	epoxi	65,8	69,3	72,0	69,0 ± 3,1	14,0 ± 0,9	
O <sub>1</sub>	epoxi	61,0	62,7	66,0	63,2 ± 2,5	17,8 ± 1,0	
S <sub>1</sub>	epoxi	68,4	67,4	71,0	68,9 ± 1,9	14,9 ± 0,6	
P <sub>3</sub>	cloreto de polivinila	81,5	75,0	79,6	78,7 ± 3,3	11,5 ± 0,7	
S <sub>8</sub>	alquídica	leitura impossivel**					
S <sub>10</sub>	borracha clorada	63,6	65,0	61,5	63,4 ± 1,8	17,7 ± 0,7	
O <sub>6</sub>	poliuretânica	50,0	57,4	56,9	54,8 ± 4,1	24,0 ± 2,5	

(\*)  $l$  = comprimento da diagonal longitudinal da endentação

(\*\*) película muito mole, a carga aplicada atinge o substrato

Tabela XV

Valores de Dureza de Amostras Irradiadas com  $5 \cdot 10^7$  Rad

Amostras	Tipo	Valor de $l^*$ ( $\mu\text{m}$ )				Média	KNH ( $\text{Kgf/mm}^2$ )
		1º	2º	3º			
P <sub>1</sub>	epoxi	leitura impossível**					
P <sub>2</sub>	epoxi	54,6	53,0	53,7	53,8 ± 0,8	25,3 ± 0,5	
P <sub>4</sub>	epoxi	66,2	70,6	75,0	70,6 ± 4,4	14,2 ± 1,3	
O <sub>1</sub>	epoxi	63,8	64,8	61,7	63,4 ± 1,6	17,7 ± 0,6	
S <sub>1</sub>	epoxi	leitura impossível***					
P <sub>3</sub>	clorato de polivinila	leitura impossível***					
S <sub>2</sub>	alquídica	leitura impossível***					
S <sub>10</sub>	borracha clorada	leitura impossível***					
O <sub>6</sub>	poliuretânica	50,0	48,9	53,7	50,9 ± 2,5	27,5 ± 1,9	

(\*)  $l$  = comprimento da diagonal longitudinal da endentação

(\*\*) microscopicamente nota-se quebra do polímero

(\*\*\*) película muito mole, a carga aplicada atinge o substrato

Tabela XVI

Valores de Dureza Após a Irradiação com  $10^5$  Rad

Amostras	Tipo	Valor de $l^*$ ( $\mu\text{m}$ )				KNH ( $\text{Kgf/mm}^2$ )
		1º	2º	3º	Média	
P <sub>1</sub>	epoxi	leitura impossível**				
P <sub>2</sub>	epoxi	53,6	58,9	58,4	57,0 ± 2,9	21,9 ± 1,5
P <sub>4</sub>	epoxi	64,6	60,4	62,8	62,6 ± 2,1	18,1 ± 0,9
O <sub>1</sub>	epoxi	89,7	77,2	75,0	74,0 ± 3,9	13,0 ± 1,0
S <sub>1</sub>	epoxi	leitura impossível**				
P <sub>3</sub>	cloreto de polivinila	leitura impossível**				
S <sub>8</sub>	alquídica	leitura impossível**				
S <sub>10</sub>	borracha clorada	leitura impossível**				
O <sub>6</sub>	poliuretânica	46,6	45,0	47,8	46,5 ± 1,4	32,9 ± 1,4

(\*)  $l$  = comprimento da diagonal longitudinal da endentação

(\*\*) película muito mole, a carga aplicada atinge o substrato

Tabela XVII

Dureza das Amostras Após as Sucessivas Irradiações

Amostras	Tipo	Dureza (KNH) Após a Irradiação A				
		Padrão	10 <sup>6</sup> Rad	10 <sup>7</sup> Rad	5.10 <sup>7</sup> Rad	10 <sup>8</sup> Rad
P <sub>1</sub>	epoxi	20,0 ± 1,3	20,5 ± 1,2	16,0 ± 0,7	—	—
P <sub>2</sub>	epoxi	22,3 ± 0,6	23,5 ± 1,4	25,0 ± 1,3	25,3 ± 0,5	21,9 ± 1,5
P <sub>4</sub>	epoxi	14,8 ± 0,2	14,5 ± 0,9	14,9 ± 0,9	14,2 ± 1,3	18,1 ± 0,9
O <sub>1</sub>	epoxi	15,4 ± 0,8	14,9 ± 0,4	17,8 ± 1,0	17,7 ± 0,6	13,0 ± 1,0
S <sub>1</sub>	epoxi	15,4 ± 0,7	16,1 ± 0,5	14,9 ± 0,6	—	—
P <sub>3</sub>	cloreto de polivinila	—	15,6 ± 2,1	11,5 ± 0,7	—	—
S <sub>8</sub>	alquídica	—	—	—	—	—
S <sub>10</sub>	borracha clorada	19,9 ± 0,1	23,2 ± 2,9	17,7 ± 0,7	—	—
O <sub>6</sub>	poliuretânica	23,0 ± 0,8	22,5 ± 1,1	24,0 ± 2,5	27,5 ± 1,9	32,9 ± 1,4



Tabela XVIII

## Resistência Química das Amostras

Amostras	Tipo	Resistência aos Reagentes				
		Tolueno	Acetona	Dicloro Metano	NaOH (1M)	HCl (1M)
P <sub>1</sub>	epoxi	B	R	B	B	B
P <sub>2</sub>	epoxi	B	R	B	B	B
P <sub>4</sub>	epoxi	B	R	R	B	S
O <sub>1</sub>	epoxi	B	R	R	B	B
S <sub>1</sub>	epoxi	B	B	R	B	B
S <sub>10</sub>	borracha	I	I	I	I	B
	clorada					
O <sub>6</sub>	poliuretânica	I	I	I	R	B
S <sub>9</sub>	alquídica	I	I	I	I	B
P <sub>3</sub>	clorato de polivinila	B	I	I	B	B

a única diferença entre elas é a cor, amarelo ouro para  $P_1$  e bege para  $P_2$ . Assim, o pigmento utilizado pode ser um dos principais responsáveis por esta diferença. Este fato já foi constatado por ARISS & THOMAS<sup>(4)</sup> que variando o pigmento para uma mesma resina, encontraram valores de fator de descontaminação entre 330 e 25. Observou-se também um comportamento semelhante para as tintas à base de resina poliuretânica, embora fossem de fabricantes distintos.

A tinta mais susceptível a contaminação foi a base de borracha clorada. As amostras  $P_1$  e  $O_1$  de base epoxi apresentaram os melhores comportamentos, enquanto que para a cloreto de polivinila, poliuretânica e as demais epoxi obtiveram-se valores intermediários.

## 5.2 – Descontaminação

Considerando-se o fator de descontaminação global obtido ao final do processo de remoção dos radionuclídeos (Tabela VII), observa-se que as tintas a base de resina de cloreto de polivinila, poliuretânica e a maioria dos epoxi foram as que apresentaram o melhor desempenho neste ensaio. As tintas a base de resina epoxi mostraram um comportamento diverso e dentre elas a que exibiu melhores características foi a amostra  $P_4$ . Estas variações podem ser ocasionadas provavelmente pelos diferentes ingredientes que são adicionados pelo fabricante para a formulação dessas tintas.

Analisando-se o comportamento das tintas ao fim de cada etapa de descontaminação, pode-se observar pela Tabela VII, que após o tratamento com a água, os fatores de descontaminação das tintas a base de resina epoxi apresentaram uma grande variação (desde 4,0 para  $P_2$  até 14,7 para  $O_1$ ). Considerando-se as outras tintas, a base de borracha clorada  $S_{10}$  foi a que apresentou a menor eficiência enquanto que a poliuretânica a maior. A tinta a base de cloreto de polivinila e alquídica foram as que apresentaram nesta ordem desempenhos intermediários e inferiores ao da poliuretânica. Os fatores de descontaminação, relativamente altos, alcançados nessa primeira etapa podem ser atribuídos provavelmente ao fato de que a maior parte dos radionuclídeos estavam retidos na superfície por meios mecânicos de contaminação (adsorção física) ou simplesmente depositados. Assim, pela própria natureza desse mecanismo onde as energias de ligação envolvidas são fracas<sup>(15)</sup>, a ação da água foi a simples lavagem ou dissolução das substâncias radioativas.

Na etapa seguinte, quando se utilizou a solução detergente, verificou-se novamente uma grande flutuação nos fatores de descontaminação das tintas a base de resina epoxi. Para a amostra  $P_2$  obteve-se um valor relativamente elevado (15,2) onde as duas primeiras etapas alcançaram cerca de 50% do fator de descontaminação total. Nas demais epoxi, este tratamento mostrou-se bem menos eficiente. Para as outras tintas, observa-se que este agente foi mais eficaz para a cloreto de polivinila, decrescendo para a de borracha clorada, poliuretânica e finalmente a alquídica.

Nesta etapa o detergente contribuiu para aumentar o valor do fator de descontaminação obtido na primeira etapa, principalmente pela sua ação redutora da tensão interfacial, o que facilitou a interação da água com a superfície contaminada. Entretanto, os diferentes valores de eficiência do detergente para a descontaminação das amostras podem também ter sido provocado pela presença de substâncias capazes de conferir uma carga elétrica à superfície das tintas. Se o elemento ativo do detergente estiver na forma catiônica ou aniônica, e se a superfície apresentar a mesma carga elétrica que o agente, provavelmente ocorrerá uma repulsão do detergente dificultando a sua ação.

Mesmo que um agente descontaminante limpe eficientemente uma superfície, pode haver uma contaminação residual provocada pela redeposição, do material contaminante, caso a solução não possua agentes ou outras substâncias capazes de formar compostos estáveis que mantenham os radioelementos em solução. Desta maneira, na terceira etapa, quando se utilizou a solução detergente com sal sódico do ácido etileno diamino tetra acético e ácido cítrico, houve em geral um aumento no valor de fator de descontaminação porque esses compostos funcionaram como complexantes de contaminantes catiônicos.

Esta terceira etapa, mostrou-se eficiente para as amostras  $P_4$ ,  $S_1$ ,  $P_3$ ,  $O_6$ , das quais os epoxi  $P_4$

e  $S_1$  alcançaram os maiores valores do fator de descontaminação, seguida pela poliuretânica ( $O_6$ ) e cloreto de polivinila ( $P_3$ ). As demais, borracha clorada ( $S_{10}$ ) e alquídica ( $S_8$ ) apresentaram valores relativamente bem menores.

Um outro mecanismo presente na contaminação é o processo de troca iônica entre os íons da solução contaminante e os possíveis grupos ativos presentes na superfície. Por este mecanismo, a eficiência do agente de contaminante vai depender da rapidez com que os íons presentes na solução alcançarão a superfície, para competir com os íons do radionucléido. Assim, no caso de um ácido, o principal responsável pela sua ação é o íon hidroxônio ( $H_3O^+$ ) que possuindo maior mobilidade iônica pode alcançar mais rapidamente a superfície e se fixar aos grupos reativos presentes.

Após a descontaminação com ácido observa-se novamente uma grande variação nos fatores de descontaminação das tintas epoxi, sendo que para aquelas que apresentaram os menores valores, tal comportamento pode ser justificado pela ação dos processos anteriores que removeram uma grande fração dos radionucléidos, e para as que apresentaram uma eficiência alta, ainda persistia a contaminação, o que leva a crer que esta etapa é eficiente para todas as tintas a base de resina epoxi. Isto pode ser constatado por meio da Tabela VI, onde se observa que os valores da contagem residual, após todo o processo, são aproximadamente iguais, diferindo de um fator 2, e correspondendo a cerca de 4% da contagem inicial.

O tratamento ácido também foi eficiente para as outras tintas, mas não se pode afirmar qual delas apresentou o melhor desempenho, pois conseguiu-se arrastar quase toda a contaminação, alcançando uma contagem residual em torno de 4%, como no caso das epoxi. Observa-se que esta última etapa de descontaminação foi mais positiva para a tinta a base de resina poliuretânica, em seguida para a borracha clorada, alquídica e finalmente para a de cloreto de polivinila.

Na Figura 10 representa-se os fatores de descontaminação obtidos ao final de cada uma das etapas, para as tintas a base de resina epoxi, e na Figura 11 os fatores de descontaminação para as tintas a base de borracha clorada, poliuretânica, alquídica e cloreto de polivinila.

Pelo estudo do comportamento dos radioisótopos feito mediante a contagem após cada estágio no detector Ge(Li), as tintas à base de resina epoxi e à base de cloreto de polivinila foram as que apresentaram os maiores valores de fator de descontaminação para o céσιο, crômio e cobalto. As alquídicas comportaram-se muito bem em relação ao céσιο e cobalto mas decaem um pouco com o crômio. As poliuretânicas, a borracha clorada e cloreto de polivinila são as que apresentam o melhor desempenho.

A atividade remanescente após todas as etapas provavelmente podem ser atribuídas aos contaminantes que se ligaram a superfície por um processo de reação química, onde alguns radionucléidos podem reagir com os elementos das cadeias poliméricas ou com outros agentes presentes na tinta, como agentes de cura, plastificantes ou pigmentos que podem conter grupos reativos. Pode-se observar pela Tabela X que o iodo praticamente não é removido mesmo após todas as etapas de descontaminação. Isto pode ser explicado pelo fato de que as ligações formadas por esse processo possuem uma energia muito alta<sup>(15)</sup>, e sendo assim, os agentes descontaminantes brandos como os detergentes, agentes complexantes e mesmo a ação dos ácidos não são capazes de romper este tipo de ligação.

No entanto, após a exposição a  $10^8$  rad, os fatores de descontaminação alcançados pelas tintas, em geral, diminuíram com relação as amostras não irradiadas, a não ser no caso da tinta a base de resina epoxi  $O_1$  que sofreu um aumento e das amostras  $P_2$  e  $S_1$  também a base de resina epoxi, cujas variações encontram-se dentro do erro estimado. As amostras  $P_1$  e  $P_4$  apresentaram uma variação apreciável nos fatores de descontaminação final, enquanto que nas tintas a base de resina borracha clorada e alquídica foi muito pequena, como pode ser observado nas Figuras 10, 11, 12 e 13, onde são colocados em gráfico os fatores de descontaminação obtidos ao final de cada etapa do processo.

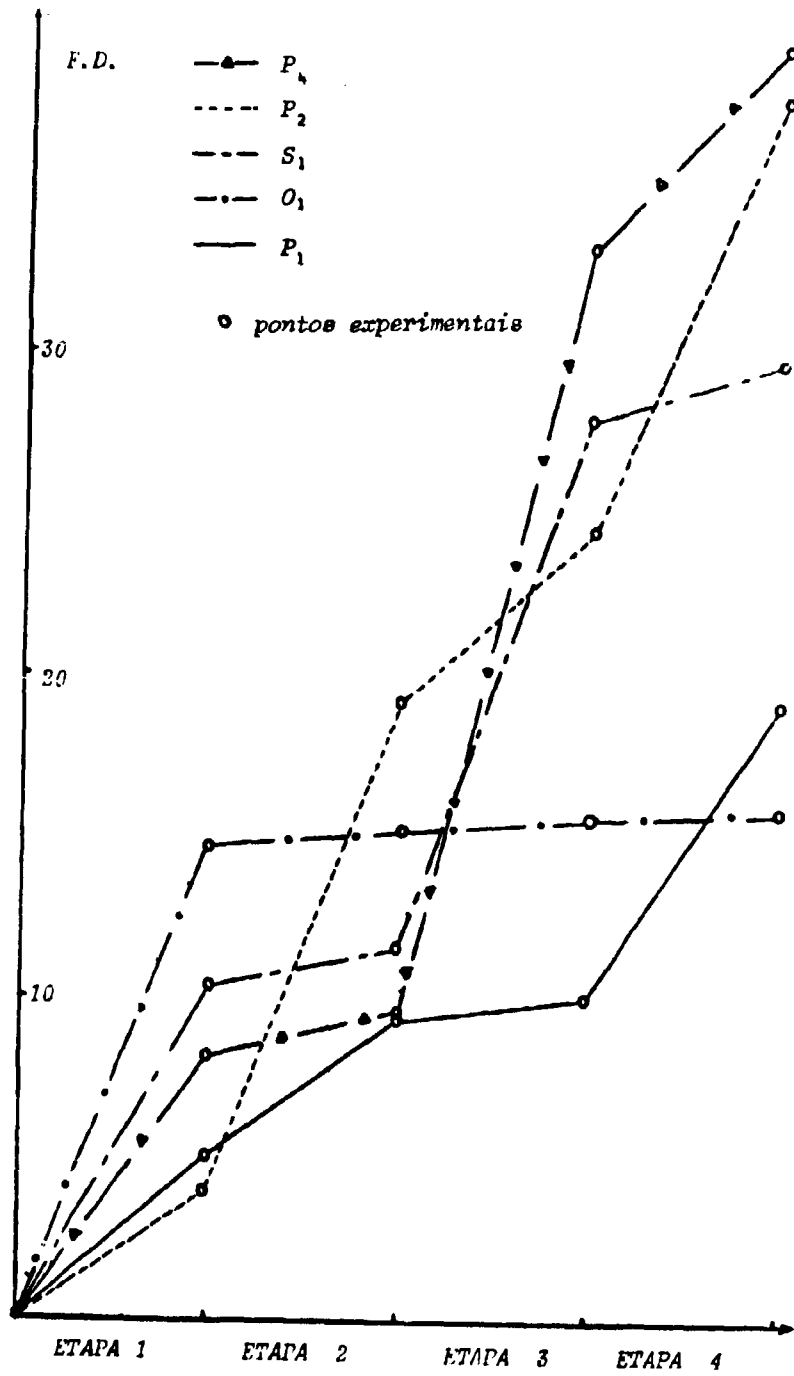


Figura 10 - Gráfico dos Fatores de Descontaminação (F.D.) para Amostras de Tinta a Base de Resina Epoxi

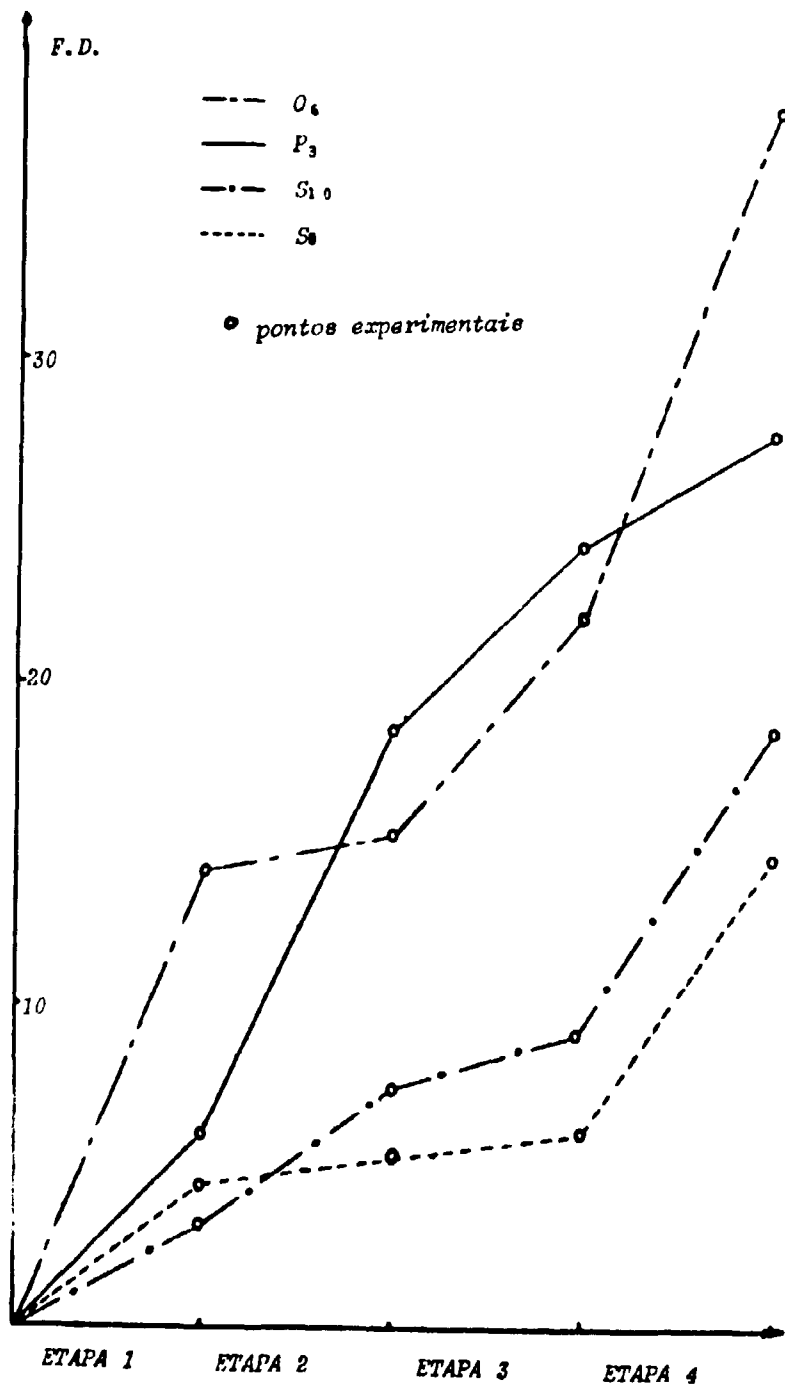


Figura 11 - Gráfico dos Fatores de Descontaminação (F.D.) para Amostras de Tintas e Base de Resina Alquídica (S<sub>4</sub>), Poliuretânica (O<sub>6</sub>), Cloreto de Polivinila (P<sub>3</sub>) e Borracha Clorada (S<sub>10</sub>)

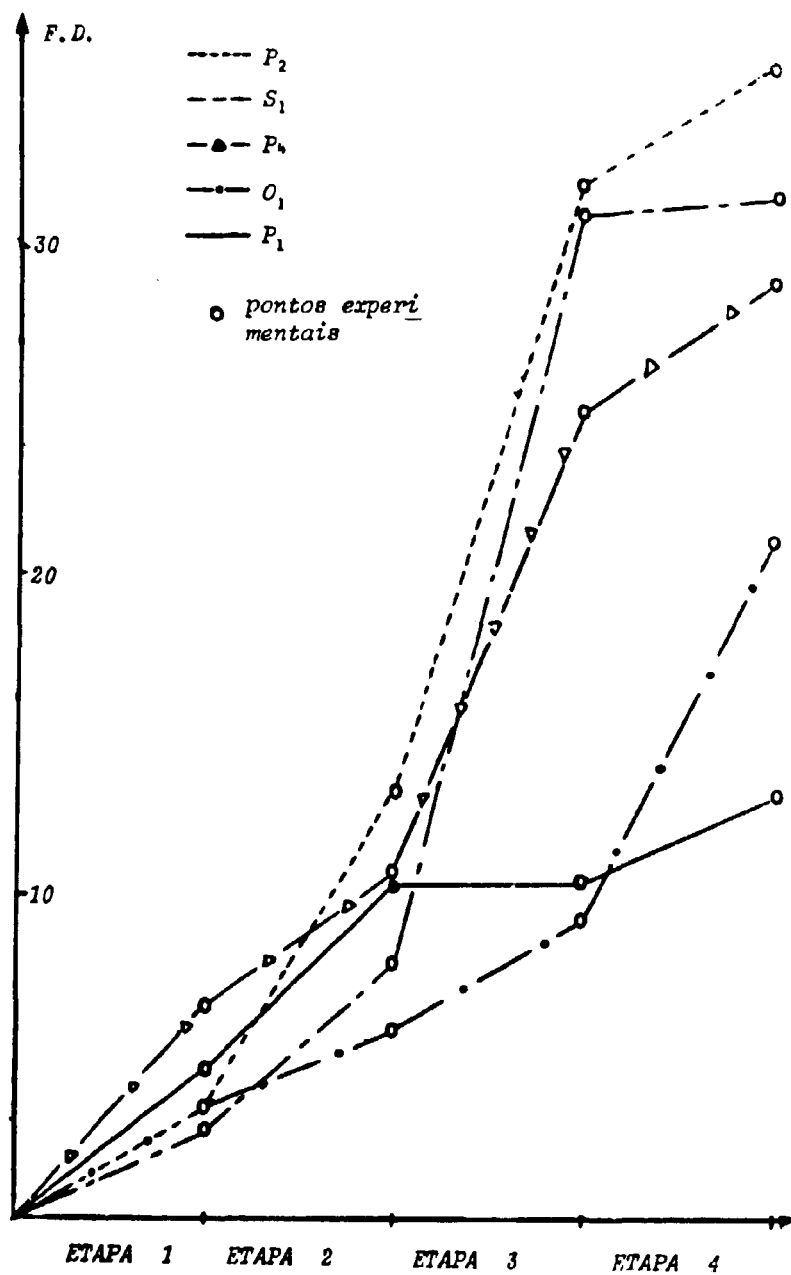


Figura 12 - Gráfico dos Fatores de Descontaminação (F.D.) para Amostras de Tinta e Base de Resina Epoxi Após Irradiação a  $10^8$  Rad

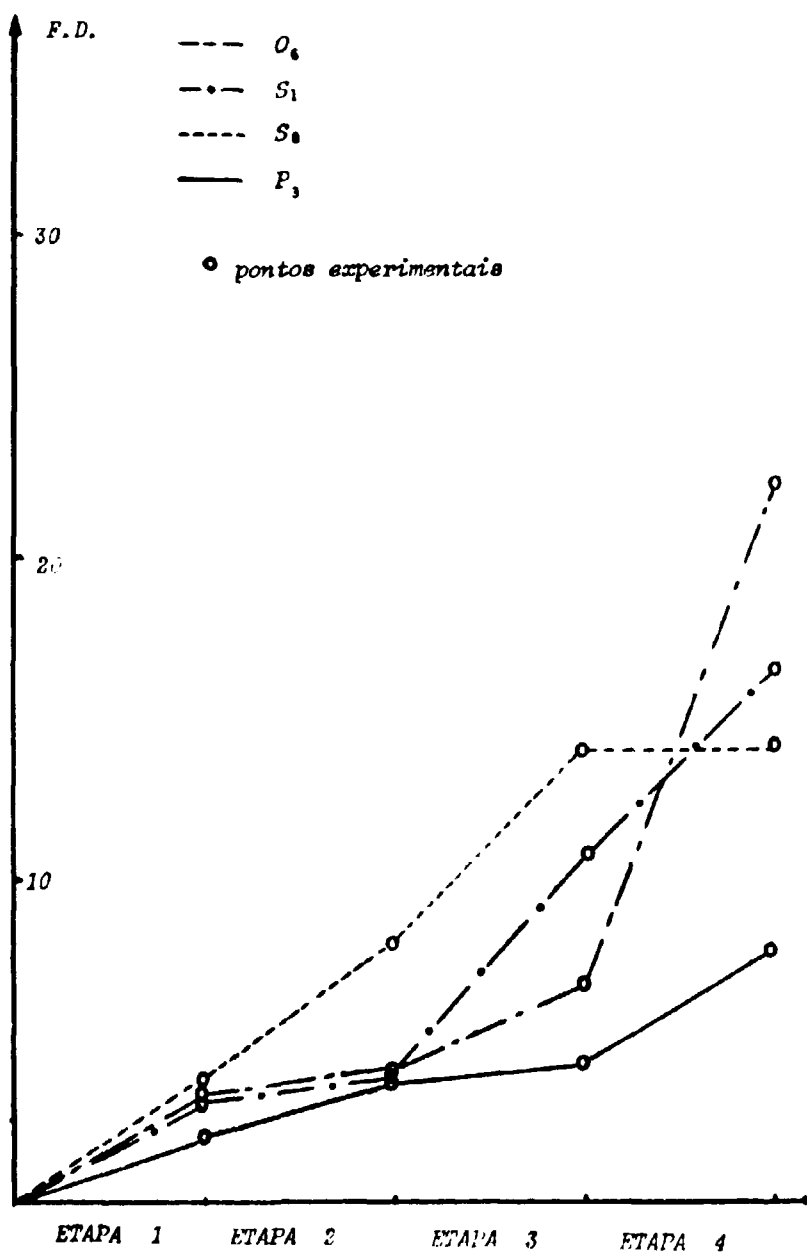


Figura 13 - Gráfico dos Fatores de Descontaminação (F.D.) para Amostras de Tintas a Base de Resina Alquídica ( $S_8$ ), Poliuretânica ( $O_6$ ), Cloreto de Polivinila ( $P_3$ ) e Borracha Clorada ( $S_{10}$ ) Após Irradiação a  $10^8$  Rad

A diferença de fatores de descontaminação para um mesmo tipo de tinta encontrados antes e depois da irradiação pode ter sido causado pela radiação que provavelmente afetou o polímero, formando rachaduras microscópicas ou mesmo radicais reativos que facilitaram a incorporação dos radionuclídeos.

### 5.3 – Danos de Radiação

Pela Tabela XI pode-se observar que na maioria das tintas as variações macroscópicas mais significativas até a dose de  $10^8$  rad foram mudanças de coloração, exceto as tintas a base de resina epoxi  $P_1$  e  $S_1$  e a alquídica  $S_3$  que apresentaram uma perda gradativa de rigidez, a medida que eram irradiadas.

Pela análise microscópica feita por meio da dureza das amostras após as irradiações, Tabela XVII, observa-se que as tintas a base de resina epoxi  $P_4$  e  $P_2$  quase não sofreram variações mantendo a sua integridade até a dose de  $10^8$  rad. Por observações macroscópicas, Tabela XI, notou-se unicamente uma variação na cor. No entanto, a tinta a base de resina poliuretânica foi se tornando gradativamente mais rígida a medida que era irradiada. Pode-se tentar explicar este fenômeno considerando-se que quando as ligações são rompidas pelo efeito da radiação, existe a probabilidade de formação de radicais livres que ao se recombinarem, promovem ligações cruzadas formando retículos tridimensionais que aumentam a rigidez e conseqüentemente a dureza da tinta. Quanto as observações macroscópicas notou-se apenas variações na cor.

A tinta a base de borracha clorada resistiu até doses de  $10^7$  rad, e a partir desse valor as leituras foram impraticáveis por causa da ruptura do polímero que foi observado microscopicamente. Novamente, por observações macroscópicas o que se notou foram variações na coloração em altas doses de radiação. A tinta a base de resina alquídica apresentava uma superfície pouco resistente e mesmo antes de sofrer as irradiações a leitura da dureza foi impraticável.

A tinta a base de cloreto de polivinila antes da irradiação apresentava um baixo valor de dureza. Quando foi exposta a uma dose de  $10^6$  rad, observou-se um aumento da sua rigidez causado possivelmente pela formação de grupos reativos que promoveram ligações cruzadas entre as moléculas. No entanto após a exposição a  $10^7$  rad houve novamente um decréscimo da dureza e a partir dessa dose tornou-se gradativamente pouco resistente, causado provavelmente pelo rompimento de ligações que provocaram a degradação da cadeia polimérica. A resina a base de cloreto de polivinila é formada basicamente por uma cadeia linear de carbono. Este tipo de polímero ao receber a energia adicional proveniente da radiação, concentra-a numa determinada região da cadeia, aumentando a energia vibracional das moléculas que culmina com a ruptura das suas ligações. Ao contrário, as tintas epoxi contêm grupos aromáticos onde a energia adicional recebida pode ser distribuída ao longo do anel benzênico impedindo o seu acúmulo numa determinada região. Esta é provavelmente uma das causas de maior estabilidade à radiação da resina epoxi. Do ponto de vista macroscópico, a tinta a base de cloreto de polivinila teve um comportamento análogo ao descrito pela análise microscópica.

Após a exposição a  $10^9$  rad, a maioria das tintas não resistiram, como pode ser observado nas Figuras 1 a 9. Somente as tintas a base de resina epoxi é que apresentaram, macroscopicamente, mudanças de coloração, exceto a  $O_1$  que mostrou o aparecimento de minúsculas bolhas na superfície.

As tintas a base de borracha clorada e cloreto de polivinila, Figuras 6 e 7, degradaram-se totalmente com formação de bolhas e rachaduras. Provavelmente tal efeito pode ser uma conseqüência da presença do cloro que, após ruptura das ligações, podem originar moléculas de HCl capazes de difundir através da camada de tinta até a superfície e provocar o aparecimento de bolhas.

As tintas a base de resina alquídica e poliuretânica também mostraram-se pouco resistentes apresentando pequenas bolhas na superfície, como pode ser vista nas Figuras 8 e 9.



#### 5.4 – Resistência Química

Pela análise dos resultados obtidos nos ensaios de resistência das amostras aos reagentes, Tabela XVIII, pode-se observar que as tintas epoxi, em geral, foram as que apresentaram melhores desempenhos em relação aos agentes utilizados. A poliuretânica,  $O_6$ , apresentou uma boa resistência ao ácido, embora não seja tão resistente ao álcali e praticamente não resista à ação de solventes orgânicos. As tintas a base de borracha clorada, amostra  $S_{10}$ , e alquídica,  $S_8$ , praticamente não resistem à ação dos agentes utilizados, exceto ao ácido. A tinta a base de cloreto de polivinila,  $P_3$ , resiste somente à ação dos ácidos, álcali e tolueno.

#### 5.5 – Conclusões

Tendo em vista o comportamento das tintas nos ensaios realizados, pode-se concluir que:

– As tintas epoxi foram as que, em geral, apresentaram melhores características de contaminação, descontaminação, resistência à radiação e aos agentes químicos, podendo dessa maneira serem empregadas como um ótimo revestimento para áreas com campo de radiação intenso. Além dessas propriedades, este tipo de resina é capaz de formar inúmeros compostos que podem suprir as mais variadas exigências da indústria nuclear. A amostra epoxi  $P_1$  não se mostrou tão eficiente, quando o campo de radiação era alto e a amostra  $O_1$  não apresentou boas características de descontaminação ainda que se mostrasse resistente a campo de radiação relativamente intenso ( $10^6$  rad).

– A tinta a base de resina poliuretânica apresentou boas características de resistência à contaminação e descontaminação. Resistiu a doses de até  $10^6$  rad, observando-se que se tornava, gradativamente, mais rígida à medida que sofria as irradiações. Este tipo de resina pode ser útil em instalações nucleares onde é necessária uma proteção que resista à ação dos radiocontaminantes, aos processos de descontaminação, desgaste mecânico e onde não exista doses superiores a  $10^6$  rad.

– A tinta a base de borracha clorada não apresentou características apropriadas para a sua aplicação em complexos nucleares, mostrando-se bastante susceptível à radiação e à contaminação.

– A tinta a base de resina alquídica mostrou boas características de susceptibilidade à contaminação e facilidade de descontaminação, entretanto degradam-se quando expostas, mesmo a pequenas doses de radiação. Além disto, tem fraca resistência aos agentes químicos.

– A tinta a base de cloreto de polivinila embora se apresentasse pouco susceptível à contaminação e com boas características de descontaminação, mostrou-se pouco resistente à radiação. Desta maneira, este tipo de tinta, assim como a alquídica, é um bom revestimento para ser aplicado em locais onde a probabilidade de contaminação é grande mas com pequenas possibilidades de exposição a altas doses de radiação.

#### 6 – SUGESTÕES PARA FUTUROS TRABALHOS

- Prosseguir o estudo iniciado neste trabalho para todas as tintas de produção nacional, selecionando os métodos de ensaio segundo as necessidades específicas das diferentes instalações que compõe o ciclo do combustível.
- Estudar a influência dos constituintes das tintas e seu comportamento frente a processos de contaminação-descontaminação e resistência à radiação visando formular tintas para usos especiais dentro da indústria nuclear.
- Desenvolver procedimentos de descontaminação para os diferentes tipos de tinta a serem utilizados nos diversos locais dentro de uma instalação nuclear.

## ABSTRACT

The performance of some Brazilian commercial paints under physical, chemical and radiation conditions typical of nuclear installations was studied. Resistance to gamma rays in the range of  $10^4 - 10^9$  rad as well as the susceptibility to contamination, ease of decontamination and chemical resistance in 9 different types of paints were studied. Finally, suggestions are provided for the best choice of commercial paints according to their specific uses.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AMERICAN INSTITUTE OF CHEMICAL ENGINEERS. *Protective coatings (paints) for the nuclear industry*. 1967. (USASI-N5.9-1967).
2. AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. Standard methods of test for indentation hardness of organic coatings. Sep. 13, 1968. Reapproved 1973. (ASTM D 1474-68). In: 1975 ANNUAL book of ASTM standards, part 27: Paints-tests for formulated products and applied coatings. p.228-32.
3. ARISS, B. W. & THOMAS, C. R. Principles involved in the formulation of decontamination reagents. In: BLYTHE, H. J. ed. *Proceedings of first international symposium on the decontamination of nuclear installations: held in Harwell England 4-6 May 1966*. Cambridge, Cambridge University, 1967. p.3-10.
4. ARISS, B. W. The use of coatings to facilitate decontamination. In: BLYTHE, H. J., ed. *Proceedings of the first international symposium on the decontamination of nuclear installations: held in Harwell England 4-6 May 1966*. Cambridge, Cambridge University, 1967. p.55-64.
5. ASSISTANCE programs. In: CHEMICAL technology division annual progress report for period ending May 31, 1969. Oak Ridge, Tenn, Oak Ridge National Laboratory, Oct. 1969. p.333-7. (ORNL-4422).
6. BARRY, P. J. Some general considerations in chemical decontamination. *Health Phys.*, 1:184-8, Sep. 1958.
7. BASIC requirements for plastics and paints used in nuclear labs and facilities. *Notiziario. Comitato Nazionale di Energia Nucleare*, 20(11):74-5, 1974.
8. BOPP, C. D. & SISMAN, O. How radiation changes polymer mechanical properties. *Nucleonics*, 13(10):51-5, Oct. 1955.
9. BOPP, C. D. & SISMAN, O. *Radiation stability of plastics and elastomers (supplement to ORNL - 928)*. Oak Ridge, Tenn., Oak Ridge National Laboratory, Jul. 1953. p.68. (ORNL-1373).
10. BRESEE, J. C.; FLANARY, J. R.; GOODE, J. H.; WATSON, C. D.; WATSON, J. S. Damaging effects of radiation in chemical materials. *Nucleonics*, 14(9):75-82, Sep. 1956.
11. BRESEE, J. C.; WATSON, C. D.; WATSON, J. S. *Gamma radiation damage studies of organic protective coatings and gaskets*. Oak Ridge, Tenn., Oak Ridge National Laboratory, 1958. (ORNL-2174).
12. BROWDER, N. F. *Summary of surface decontamination experience at Oak Ridge National Laboratory*. Oak Ridge, Tenn., United States Atomic Energy Commission. Division of Technical Information, 1948. (AECD-3998).

13. BUSK, E. S. & JOHNSON, K. D. B. *Removal of radioactive contamination from various surfaces*. Harwell, Berks, Engl., United Kingdom Atomic Energy Authority. Research Group. Atomic Energy Research Establishment, Dec. 1948. (AERE-C/R-286).
14. CARABEDIAN, H. V. *Decontamination and corrosion resistance tests of some selected coatings*. Oak Ridge, Tenn., United States Atomic Energy Commission. Division of Technical Information, 1959. (AECU-4187).
15. CARLSON, A. B. Contamination mechanisms. In: AYRES, J. A., ed. *Decontamination of nuclear reactors and equipment*. New York, N. Y., Ronald, 1970. p.54-136.
16. CHARLESBY, A. *Atomic radiation and polymers*. New York, Pergamon, 1960.
17. DEUTSCHES INSTITUT FUER NORNUMG. *Dekontamination von radioaktiv kontaminierten Oberflächen: Verfahren zur Prüfung der dekontaminierbarkeit*. Dez. 1976. (DIN-25415).
18. EISENBUD, M.; BLATZ, H.; BARRY, E. V. How important is surface contamination? *Nucleonics*, 12(8):12-5, Aug. 1954.
19. FISH, B. R. Health physics technology. In: MORGAN, K. Z.; SNYDER, W. S.; STRUXNESS, E. G. *Health physics division annual progress report for period ending July 31, 1966. Part 6*. Oak Ridge, Tenn., Oak Ridge National Laboratory, Oct. 1966. p.243-67. (ORNL-4007).
20. GOLDBERG, G. *Testing of coatings for the nuclear industry*. Oak Ridge, Tenn., Oak Ridge National Laboratory, /s.d./ (To be presented at the Southeastern Regional Meeting of the National Association of Corrosion Engineers, November 9-13, 1975, Buena Vista, Florida/ (CONF-751121-1).
21. HUFF, J. B. Effectiveness of various solutions for decontaminating stainless steel, lead and glass. *Nucleonics*, 15(6):106-10, Jun. 1957.
22. KIRCHER, J. F. & BOWMAN, R. E. *Effects of radiation on materials and components*. New York, Reinhold, 1964. p.144.
23. KUNZE, S.; DIPPEL, T.; HENTSCHEL, D. Decontamination tests on protective coatings. *Kerntechnik*, 18(11):495-7, 1976.
24. LANE, W.; FULLER, R.; GRAHAM, L.; MACKIN, J. Contamination and decontamination of laboratory bench top materials. *Nucleonics*, 11(8):49, Aug. 1953.
25. LLOYD, R. *Decontaminability of structural materials and surface coatings for use in nuclear installations*. Pittsburgh, Westinghouse Electric Corp. Atomic Power Div., May 1957. (WAPD-PWR-CP-3052).
26. MESTRE, E. Surface decontamination. *Energie nucl.*, 3:309-18, 1961.
27. MILES, D. C. & BRISTON, J. H. *Tecnologia dos polimeros*. São Paulo, Polígono, 1975.
28. MISCELLANEOUS programs. In: CHEMICAL technology division annual progress report for period ending May 31, 1970. Oak Ridge, Tenn., Oak Ridge National Laboratory, Oct. 1970. p.258-61. (ORNL-4572).
29. MIURA, T. & ISHIDA, Y. Contamination by radioactive materials and its removal. In: PROCEEDINGS of the second Japan conference on radioisotopes, February 1958. /s.l./, United States Atomic Energy Commission, May 1961. p.666-81. (AEC-tr-4482).

30. NATIONAL BUREAU OF STANDARDS. *Control and removal of radioactive contamination in laboratories. /s.d./*. (NBS-Handbook-48).
31. NEWBY, B. J. & ROHDE, K. L. Fission product sorption by protective coatings. In: OAK RIDGE NATIONAL LABORATORY. *International symposium on fission product release and transport under accident conditions held at Oak Ridge, Tennessee, April 5-7, 1965, v.2*. Oak Ridge, Tenn., United States Atomic Energy Commission. Division of Technical Information, 1965. p.720-9. (CONF-650407).
32. PAMAROLA, J. *Problems of decontamination*. Oak Ridge, Tenn., United States Atomic Energy Commission. Division of Technical Information, 1959. (AEC-tr-3952).
33. PARKER, G. W. & HERBERT, G. M. Decontamination characteristics of porcelain enamel. *Nucleonics*, 12(11):72-4, Nov. 1954.
34. PUTT, G. Paints for nuclear plants. *Notiziario Comitato Nazionale di Energia Nucleare*, 16(4):75-8, 1970.
35. SCHMITT, B. F. Testing the ease decontamination of coatings. *Kerntechnik*, 11:397-402, 1969.
36. SCOFIELD, F. Protective coatings. *Ind. Eng. Chem.*, 50:1470-81, 1958.
37. SHAH, S. M.; GOPINATHAN, E.; BHAGWATH, A. M. *Study of decontamination and radiation resistance properties of Indian paints*. Bombay, India, Bhabha Atomic Research Centre, 1976. (BARC/I-386).
38. SMITH, K. The development of a test method for assessing the decontaminability of surfaces. In: BLYTHE, H. J., ed. *Proceedings of the first international symposium on the decontamination of nuclear installations: held in Harwell England 4-6 May 1966.*, Cambridge, Cambridge University, 1967. p.39-54.
39. STANDARDS for coating materials in nuclear plants. *Notiziario Comitato Nazionale di Energia Nucleare*, 20(3):51-2, 1974.
40. STEPHAN, H. *Procédés des décontamination*. Gif-sur-Yvette, Commissariat a l'Energie Atomique, 1961. (CEA-tr-A-1015).
41. TAZIMA, Y. & WADA, Y. *A study of radioactive decontamination: the effect of condensed phosphate on the radioactive decontamination of various metal surfaces*. Oak Ridge, Tenn., United States Atomic Energy Commission. Division of Technical Information, 1960. (AEC-tr-4302).
42. TOMPKINS, P. C. Surface contamination and decontamination. In: BLATZ, H., ed. *Radiation hygiene handbook.*, New York, N. Y., MacGraw-Hill, 1959. p.18. 1-18. 23. (McGraw-Hill handbook).
43. TOMPKINS, P. C.; BIZZEL, O. M.; WATSON, C. D. Practical aspects of surface decontamination. *Nucleonics*, 7(2):42-54, 87, Aug. 1950.
44. VINYL coatings for resistance to atmospheric corrosion. *Materials Performance*, 16(12):9-13, Dec 1977.
45. WATSON, C. D. & WEST, G. A. Protective coatings-paints. In: AYRES, J. A. ed. *Decontamination of nuclear reactors and equipment*. New York, N. Y., Ronald, 1970. p.330-52.
46. WATSON, C. D. & WEST, G. A. Radiation effects on paints: effective coatings vital to nuclear industry, Oak Ridge National Laboratory. *Mater. Protect*, 6(2):44-9, 1976.

47. WATSON, C. D.; HANDLEY, T. H.; WEST, G. A. *Decontamination and corrosion resistance properties of selected laboratory surfaces*. Oak Ridge, Tenn., Oak Ridge National Laboratory, 1950. (AECD-2996 (rev.); ORNL-732).
48. WEST, G. A. & WATSON, C. D. *Gamma radiation damage and decontamination evaluation of protective coatings and other materials for hot laboratory and fuel processing facilities*. Oak Ridge, Tenn., Oak Ridge National Laboratory, 1965. (ORNL-3589).
49. WHATLEY, M. E.; HAAS, P. A.; HORTON, R. W.; RYON, A. D.; SUDDATH, J. C.; WATSON, C. D. *Chemical technology division, unit operations section monthly progress report, July 1960*. Oak Ridge, Tenn., Oak Ridge National Laboratory, Oct. 1960. p.42. (CF-60-7-46).
50. WHATLEY, M. E.; HAAS, P. A.; HORTON, R. W.; RYON, A. D.; SUDDATH, J. C.; WATSON, C. D. *Unit operations section, quarterly progress report July-September, 1965*. Oak Ridge, Tenn., Oak Ridge National Laboratory, Mar. 1966. (ORNL-3916).



**INSTITUTO DE ENERGIA ATÔMICA**  
**Caixa Postal, 11049 – Pinheiros**  
**CEP 05508**  
**01000 – São Paulo – SP**

**Telefone: 211-6011**  
**Endereço Telegráfico – IEATOMICA**  
**Telex – 011-23592 IENA BR**