

**JOÃO REGIS DOS SANTOS**

**GESTÃO DE SISTEMA DE PROTEÇÃO CONTRA INCÊNDIO EM INSTALAÇÕES  
NUCLEARES: FATOR DE FORTALECIMENTO DO SISTEMA DE GESTÃO  
INTEGRADA - UM ESTUDO DE CASO**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado em Sistemas de  
Gestão da Universidade Federal Fluminense como requisito  
parcial para obtenção do Grau de Mestre em Sistemas de Gestão.  
Área de Concentração: **Sistema de Gestão de Segurança.**

**Orientador:**

**Prof. Eduardo Linhares Qualharini, D.Sc.**

Niterói

2005



## DEDICATÓRIA

Dedico esta dissertação:

À minha esposa, Eliane, pelo incentivo, paciência e compreensão. Lilica, valeu a força!

Aos meus filhos Elisa e Reginho, pelo apoio, incentivo e até dicas. Vocês são a razão de tudo em minha vida.

À minha mãe, Nila, musa inspiradora de nossa família. Pelo desafio de “salvar-nos” das trevas da ignorância.

À Aratuípe, meu torrão. Não é apenas um lugar, é um estado de espírito.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço:

A Deus, por ter me proporcionado a vida e os meios necessários para a realização deste sonho.

Ao Professor Eduardo Linhares Qualharini, meu orientador, que me incentivou e aceitou o desafio: tornar viável uma idéia antes difusa.

Ao colega e amigo Custódio Carvalho Alves, por ter me apresentado há alguns anos atrás a especificidade da proteção contra incêndio em instalações nucleares.

A INB, sua diretoria, gerências, coordenadores e pessoal das áreas de segurança do trabalho, proteção radiológica, meio ambiente, proteção física, proteção contra incêndio e qualidade, pela confiança e apoio inestimáveis, sem os quais seria impossível a realização deste trabalho.

Ao Instituto de Engenharia Nuclear (IEN), sua diretoria e colegas, pela oportunidade que me foi dada de concretizar este sonho.

Ao colega e amigo, engenheiro Dario (Tchê) da INB, pelo inestimável apoio durante a realização dos trabalhos de campo.

“...guarda o depósito que te foi confiado, evitando as conversas vãs e as profanas e as oposições da falsamente chamada ciência; a qual professando-a alguns, se desviaram da fé.”

São Paulo à Timóteo em I Tim. 6.20 e 21

## RESUMO

O presente estudo investigou e analisou a importância de um sistema de gestão integrado de segurança, meio ambiente e saúde numa instalação nuclear, tendo como perspectiva a gestão da proteção contra incêndio. A investigação foi feita utilizando uma pesquisa qualitativa envolvendo um estudo de caso, onde a ambiência considerada foram as Fábricas de Reconversão e Pastilhas de UO<sub>2</sub> das Indústrias Nucleares do Brasil, localizada em Resende no Rio de Janeiro e a população estudada os gerentes e o pessoal de nível operacional diretamente envolvido com os aspectos relacionados à segurança do Complexo Industrial da referida empresa. A motivação para a pesquisa foi a busca de uma maior interação das questões relacionadas à segurança, meio ambiente e saúde na indústria nuclear, tendo como eixo da investigação a proteção contra incêndio. Como resultado, observou-se que numa instalação nuclear, embora se lide com processos diversificados de segurança, a integração é possível e necessária, visto que existem mais razões para o compartilhamento do que o contrário.

**Palavras-chave:** Proteção contra incêndio – Segurança nuclear – Gestão integrada de segurança

## **ABSTRACT**

The present study investigated and analyzed the importance of a system of integrated safety manage, environment and health in a nuclear installation, having as perspective, the fire protection manage. The inquiry was made using a qualitative research involving a case's study, where the considered environment was the Reconversion and UO<sub>2</sub> Plant of the Indústrias Nucleares do Brasil (INB), located in Resende in Rio de Janeiro and the studied population, the managers and the staff directly involved with the aspects related to the safety of the industrial complex of the related company. The motivation for the research was the search of a bigger interaction of the questions related to the safety, environment and health in the nuclear industry having, as axle of the investigation, the fire protection. As a result, it was observed that in a nuclear installation, although dealing with diversified safety processes, integration is possible and necessary, since there are more reasons for integration than otherwise.

**Key-words:** Fire Protection - Nuclear Safety - Integrated Safety Management

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1	Objetivos da proteção contra incêndio	23
Figura 2	Árvore de decisão de proteção contra incêndio – prevenção de incêndio	24
Figura 3	Árvore de decisão de proteção contra incêndio – combate a incêndio	27
Figura 4	Esquema do reator de Windscale	31
Figura 5	Incêndio de Browns Ferry – Áreas atingidas	36
Figura 6	Usina de Chernobil 2 e a sala de turbinas	37
Figura 7	Defesa em profundidade em proteção contra incêndio	50
Figura 8	Desdobramento em trens redundantes separados por barreiras corta-fogo	53
Figura 9	Inter-relação entre segurança e o objetivo da organização	62
Figura 10	Esquema do ciclo do combustível nuclear	69
Figura 11	Esquema da fabricação do pó de UO <sub>2</sub>	73
Figura 12	Esquema das etapas de fabricação das pastilhas de UO <sub>2</sub>	78
Figura 13	Organograma funcional nível estratégico	88
Figura 14	Organograma funcional nível tático-operacional – produção	89
Figura 15	Organograma funcional nível tático-operacional – administração	90
Quadro 1	Opções de Respostas do Questionário para Pessoal Operacional	96
Gráfico 1	Gráfico de aderência ao comprometimento com a segurança	100
Gráfico 2	Gráfico de aderência à interação dos processos de segurança	102
Gráfico 3	Gráfico de aderência aos compromissos com a regulação	104



## LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Estimativa de liberação de radionuclídeos no incêndio de Windscale	32
Tabela 2	Reuniões da AIEA para análise de incêndio em instalações nucleares	41
Tabela 3	Perdas financeiras provocadas por grandes acidentes na indústria Petroquímica	63
Tabela 4	Informações resumidas e simplificadas sobre os acidentes nucleares de TMI e Chernobil	64
Tabela 5	Quantidade de extintores de incêndio das Fábricas de Pó e Pastilhas	81

## LISTA DE SIGLAS

AIEA	Agência Internacional de Energia Atômica
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
BCI	Brigada Central de Incêndio
BIA-II	Brigada Interna de Apoio da Unidade II
BTP	Branch Technical Position
CNEN	Comissão Nacional de Energia Nuclear
CTMSP	Centro Tecnológico da Marinha em São Paulo
DOE	Department of Energy - USA
GLP	Gás Liquefeito de Petróleo
IAEA	International Atomic Energy Agency
IBAMA	Instituto Brasileiro de Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
INB	Indústrias Nucleares do Brasil
INES	International of Nuclear Event Scale
IPEN	Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares
ISO	International Organization for Standardization
LOCA	Loss Coolen Accident
MTE	Ministério do Trabalho e Emprego
NBR	Norma Brasileira Registrada
NE	Norma Experimental
NFPA	National Fire Protection Association
NR	Norma Regulamentadora do Ministério do Trabalho e Emprego
NRC	Nuclear Regulatory Commission - USA
NN	Norma Nuclear
OHSAS	Occupational Health and Safety Assessment Series
PDCA	Plan-Do-Check-Act
TCAU	Tricarbonato de Amônia e Uranila
TMI	Three Mile Island
UFF	Universidade Federal Fluminense
WANO	World Association of Nuclear Operators

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	13
1.1	CONSIDERAÇÕES INICIAIS	13
1.2	DELIMITAÇÃO DO PROBLEMA	15
1.3	OBJETIVO DO ESTUDO	17
1.4	METODOLOGIA EMPREGADA	18
1.5	ESTRUTURAÇÃO DO TRABALHO	18
<b>2</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b>	20
2.1	REFERENCIAL TEÓRICO	20
<b>2.1.1</b>	<b>Proteção Contra Incêndio</b>	20
<b>2.1.2</b>	<b>Sistema de Gestão Integrada</b>	28
2.2	PROTEÇÃO CONTRA INCÊNDIO EM INSTALAÇÕES NUCLEARES	29
<b>2.2.1</b>	<b>Ocorrências de Incêndios em Instalações Nucleares</b>	29
2.2.1.1	Incêndio em Windscale	30
2.2.1.2	Incêndio em Browns Ferry	33
2.2.1.3	Incêndio em Chernobil – Unidade 2	37
2.2.1.4	Incêndio em Vandellos I	38
<b>2.2.2</b>	<b>Estatística de Incêndios em Instalações Nucleares</b>	40
<b>2.2.3</b>	<b>Evolução do Conceito de Proteção Contra Incêndio em Instalações Nucleares</b>	45
<b>2.2.4</b>	<b>Requisitos de Proteção Contra Incêndio em Instalações Nucleares</b>	48
<b>2.2.5</b>	<b>Análise de Incêndio</b>	55
2.3	GESTÃO INTEGRADA DE SEGURANÇA	59
<b>3</b>	<b>O CAMPO DO ESTUDO DE CASO</b>	68
3.1	INTRODUÇÃO	68
3.2	CICLO DO COMBUSTÍVEL NUCLEAR	68
3.3	DESCRIÇÃO DO PROCESSO DE RECONVERSÃO E DE FABRICAÇÃO DE PASTILHAS DE UO <sub>2</sub>	71
<b>3.3.1</b>	<b>Reconversão</b>	72
<b>3.3.2</b>	<b>Fabricação das Pastilhas</b>	77
3.4	PROTEÇÃO CONTRA INCÊNDIO NAS FÁBRICAS DE PÓ E PASTILHAS	79
<b>3.4.1</b>	<b>Sistemas passivos de proteção</b>	80

<b>3.4.2</b>	<b>Sistemas ativos de proteção</b>	81
<b>3.4.3</b>	<b>Incêndios postulados para a Unidade II</b>	84
3.5	GESTÃO DE SEGURANÇA NA INB	85
<b>4</b>	<b>CONTEXTUALIZAÇÃO DO TEMA</b>	93
4.1	INTRODUÇÃO	93
4.2	MÉTODO DE TRABALHO	93
<b>4.2.1</b>	<b>Pesquisa</b>	95
<b>4.2.2</b>	<b>Entrevista dos gestores</b>	96
<b>5</b>	<b>ANÁLISE DOS RESULTADOS</b>	98
5.1	INTRODUÇÃO	98
5.2	RESULTADOS OBSERVADOS	98
<b>5.2.1</b>	<b>Pesquisa com o pessoal operacional da segurança</b>	98
<b>5.2.2</b>	<b>Entrevista semi-estruturada dos gestores</b>	104
<b>6</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b>	107
6.1	INTRODUÇÃO	107
6.2	CONSTATAÇÃO DA HIPÓTESE PROPOSTA	107
6.3	CONCLUSÕES	108
6.4	RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	110
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	112
	APÊNDICES	116

## CAPÍTULO 1

### 1 INTRODUÇÃO

#### 1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

A importância da proteção contra incêndio numa instalação nuclear e a necessidade de uma maior integração com os demais processos de segurança, tem sido objeto de preocupações por parte dos órgãos reguladores, dos operadores dessas instalações e da comunidade. O setor nuclear tradicionalmente investe considerável parte de seus recursos em segurança, até porque uma falha neste sistema pode redundar em prejuízos significativos para os negócios da organização, para a sua imagem e para o uso pacífico da energia nuclear como o todo, considerando o impacto negativo que um acidente traduz nesse ramo para a sociedade. Não é por menos que a área nuclear possui uma diversificada matiz de processos relacionados à segurança. Dentre estes processos, nas instalações nucleares é comum encontrar-se atividades de segurança do trabalho, proteção radiológica, proteção ao meio ambiente, saúde do trabalhador, proteção física e proteção contra incêndio, além de outros que mantêm um forte vínculo com os da segurança, como qualidade, licenciamento, responsabilidade social, dentre outros.

Neste segmento, os processos relacionados à segurança, todos com diretrizes próprias do órgão regulador, no Brasil, a Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN), necessitam de uma gestão que permita o inter-relacionamento eficiente entre eles, proporcionando o uso adequado dos recursos e evitando a redundância de esforços.

A aplicação de um modelo de gestão integrada de segurança em instalações desse tipo não deve ser visto como uma opção, mas como uma necessidade premente e para isso a

proteção contra incêndio é um bom exemplo de elemento integrador, visto que perpassa todos os demais processos anteriormente citados.

Numa instalação nuclear são desenvolvidas atividades voltadas para a proteção dos sistemas, do material nuclear, das pessoas e do meio ambiente, cujas designações mais comuns, geralmente sob a forma de processos são: segurança nuclear, segurança radiológica, segurança do trabalhador, saúde do trabalhador, proteção física, proteção ambiental e proteção contra incêndio. A integração que propomos deve abranger as áreas citadas, o que nos remete a necessidade de melhor compreender os propósitos de cada uma.

Segurança nuclear é definida como o conjunto de medidas de caráter técnico, incluídos no projeto, na construção, na operação e na manutenção de uma instalação nuclear, visando evitar a ocorrência de acidentes ou minimizar suas conseqüências (CNEN, norma NE-1.04, 2002). A segurança nuclear está associada com a garantia da operacionalidade dos sistemas importantes para a segurança da instalação, ou seja, aqueles que na hipótese de mau funcionamento pode resultar em exposições indevidas à radiação para o pessoal interno ou para o público em geral, ou sistemas que evitem que ocorrências operacionais previstas resultem em condições de acidente ou ainda dispositivos que sirvam para atenuar as conseqüências de falhas ou mau funcionamento de sistemas importantes para a segurança.

Segurança radiológica, também chamada de proteção radiológica, é de acordo com a recém revisada norma CNEN-NN-3.01-Diretrizes Básicas de Proteção Radiológica (2004), um conjunto de medidas que visam a proteger o ser humano e seus descendentes contra possíveis efeitos indesejados causados pela radiação ionizante. Inclui as medidas que têm como principal objetivo o atendimento dos requisitos para as práticas seguras, que são os requisitos de ordem geral, requisitos administrativos, requisitos básicos de radioproteção e os requisitos de gestão. Os requisitos básicos de radioproteção são a justificação, a limitação da dose e a otimização. “Justificação” preconiza que nenhuma prática será aceita pelo órgão

regulador, a não ser que produza benefícios para os indivíduos expostos ou para a sociedade suficiente para compensar o detrimento correspondente, levando-se em conta os fatores sociais e econômicos, por exemplo. “Limitação” da dose estabelece que ninguém deve se expor às radiações ionizantes além dos limites previstos pelo órgão regulador. O requisito da “justificação” afirma que nenhuma instalação deve ser considerada suficientemente preparada a ponto de não buscar melhorias de seus processos de segurança radiológica.

A questão de segurança e de saúde do trabalhador possui uma antiga simbiose. Com o advento da revolução industrial, o que levou a utilização de máquinas, equipamentos e o emprego mais numeroso de pessoas no processo produtivo, a segurança do trabalho passou a ser uma questão de saúde pública. Conseqüentemente, a necessidade de atuar-se ao nível da prevenção dos acidentes e das doenças relacionadas ao trabalho inspirou os legisladores no século XIX na Europa, Estados Unidos, e também no Brasil no início do século XX, no que se costuma chamar de nossa revolução industrial. Dos processos relacionados à segurança em instalações nucleares, sem dúvida saúde e segurança dos trabalhadores são os menos exclusivos, pois seguem os mesmos requisitos das demais instalações. As pessoas que trabalham nesses processos talvez possuam a melhor preparação sobre os conceitos gerais de segurança e da importância do compartilhamento das competências existente entre eles. Sua base regulatória está vinculada às ações do Ministério do Trabalho e Emprego (MTE).

Conforme define a norma CNEN-NE-2.01 (1996), proteção física é um conjunto de medidas destinadas a evitar atos de sabotagem contra materiais, equipamentos e instalações; a impedir a remoção não autorizada de material, em especial nuclear; a prover meios para a rápida localização e recuperação de material desviado; e à defesa do patrimônio e da integridade física do pessoal de uma unidade operacional. A proteção física tem, portanto, a responsabilidade por proteger o material nuclear das ameaças dos possíveis adversários, internos ou externos. Destaca-se que a proteção do material nuclear, dos equipamentos

sensíveis e da tecnologia nuclear faz parte dos compromissos que as autoridades nacionais assumem diante dos órgãos de controle bilaterais, como a Agência Internacional de Energia Atômica (AIEA), permitindo o controle da proliferação da energia nuclear para fins não pacíficos.

Proteção ambiental deve ser entendida como os meios utilizados pela empresa para garantir que os ecossistemas e as populações residentes no entorno das instalações não vão ser impactadas com as emissões oriundas do processo produtivo da organização.

## 1.2 DELIMITAÇÃO DO PROBLEMA

A gestão da proteção contra incêndio numa instalação nuclear geralmente é feita através do pessoal da engenharia de segurança ou ainda, algumas vezes, pelo pessoal da proteção física dessas organizações. Tal fato ocorre pela falta de visão integrada das questões de segurança das organizações nucleares, por razões históricas e culturais, devido à necessidade que essas organizações têm de atenderem órgãos reguladores distintos, cujos critérios de licenciamento muitas vezes não possuem diretrizes comuns.

Para a operação de uma instalação nuclear, além da necessidade de atendimento às exigências legais sobre segurança comuns a qualquer empresa, como as relacionadas ao Ministério do Trabalho e Emprego e ao Corpo de Bombeiros, são necessários o licenciamento ambiental, a cargo do IBAMA e o licenciamento nuclear, a cargo da CNEN. Um processo de licenciamento nuclear envolve, portanto, várias etapas, sempre com o objetivo de garantir a segurança das instalações, e cobrem as diversas áreas da segurança, como a segurança nuclear e radiológica, salvaguardas e contabilidade nuclear, proteção física e proteção contra incêndio.



O viés da proteção contra incêndio parece o mais adequado para a investigação da interferência da gestão não integrada, por se tratar de um processo que perpassa todas as demais áreas de segurança presentes numa instalação nuclear.

A hipótese é, portanto, que a gestão da proteção contra incêndio integrada aos outros processos de segurança é um fator agregador do sistema de gestão de segurança como um todo e contribui para a melhoria da visão holística que as questões de segurança devem ter, mormente numa instalação nuclear.

A proposta desta pesquisa é demonstrar como um sistema de gestão de proteção contra incêndio, integrado e interdisciplinar, aplicável a instalações nucleares, permite melhorar o sistema de gestão dos processos de segurança como o todo.

### 1.3 OBJETIVO DO ESTUDO

Este estudo tem como principal objetivo investigar como se pode melhorar a relação entre as diversas áreas de segurança de uma instalação nuclear através da gestão eficiente do sistema integrado de segurança, tendo como perspectiva a gestão de proteção contra incêndio. Serão verificadas através de avaliação de uma instalação nuclear utilizada para estudo de caso, como inter-relaciona as áreas de proteção radiológica, proteção do meio ambiente, segurança do trabalho, saúde do trabalhador, proteção contra incêndio e proteção física.

Através da metodologia proposta neste capítulo, as seguintes confirmações ou refutações serão verificadas:

- A proteção contra incêndio numa instalação nuclear perpassa todas as demais áreas de segurança e daí a sua importância na elaboração do presente estudo.
- Numa instalação nuclear, mais ainda do que em outras organizações, a integração da gestão dos sistemas de segurança é um fator crítico de sucesso.

- A gestão adequada da proteção contra incêndio em instalações nucleares permite a melhoria das condições de segurança da instalação como um todo.
- A especificidade de cada uma das áreas de segurança, especialmente numa instalação nuclear, não permite uma maior integração entre elas.

#### 1.4 METODOLOGIA EMPREGADA

A metodologia empregada nesse estudo foi o uso de questionário fechado, confeccionado com a escala Likert aplicado junto aos empregados que atuam mais diretamente com as questões relacionadas à segurança na instalação e entrevistas semi-estruturadas com os principais gestores das áreas de segurança do complexo.

Iniciou-se este trabalho fazendo uma revisão da literatura básica a ser utilizada como referência, em especial literatura especializada em proteção contra incêndio, segurança, meio ambiente e saúde, bem como as normas da Comissão Nacional de Energia Nuclear. Passou-se, em seguida, a estudar o sistema de gestão da organização, no caso as Indústrias Nucleares do Brasil (INB), complexo industrial de Resende no Rio de Janeiro, com enfoque para as questões de segurança do trabalho, saúde, meio ambiente, qualidade e responsabilidade social. Foram consultados os documentos e manuais da empresa que trata dos temas mencionados dos processos relacionados.

#### 1.5 ESTRUTURAÇÃO DO TRABALHO

A estruturação do trabalho ficou constituída de seis capítulos, formatados segundo a orientação de trabalhos científicos preconizados pela Universidade Federal Fluminense, com a seguinte estruturação:

Capítulo 1 – introdução

Capítulo 2 – revisão bibliográfica

Capítulo 3 – o campo do estudo do caso

Capítulo 4 - contextualização do tema

Capítulo 5 – análise dos resultados

Capítulo 6 – considerações finais

## CAPÍTULO 2

### 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 2.1 REFERENCIAL TEÓRICO

No presente capítulo são abordados os principais conceitos que servirão para um melhor entendimento do estudo, tendo como referencial teórico publicações das melhores fontes sobre o tema, incluindo livros, revistas, normas nacionais e internacionais, artigos de pesquisadores, teses, dissertações, relatórios de agências licenciadoras, jornais, artigos publicados na internet, etc.

Como este trabalho intenciona vincular a relação de dependência entre a gestão da proteção contra incêndio e o sistema de gestão de segurança como um todo, torna-se necessário definir-se claramente o significado desses termos no escopo da presente pesquisa, em especial numa organização nuclear, dadas as características peculiares relacionadas às questões de segurança, já mencionadas.

##### 2.1.1 Proteção contra incêndio

Existem inúmeras definições para o que no presente estudo denomina-se de proteção contra incêndio, cada uma com maior ou menor abrangência de seu significado. Neste trabalho, entretanto, será considerada proteção contra incêndio como um conjunto de ações que envolvem o projeto, as medidas passivas e ativas de proteção, as ações preventivas e o combate ao incêndio propriamente dito.

Não é comum em algumas culturas organizacionais referir-se a esta terminologia com o seu entendimento ampliado, mesmo porque, mormente em nosso país, é mais usual utilizar-

se expressões como prevenção contra incêndio, prevenção de incêndios, segurança contra incêndio, prevenção e combate a incêndios etc, quando está se referindo ao que chamamos de proteção contra incêndio. FERREIRA (2001) define proteção como “o ato ou efeito de proteger”, conquanto o mesmo renomado dicionarista define proteger como “dispensar proteção a, amparar, preservar do mal, resguardar e defender”. Desse modo, proteção nos parece uma ação mais abrangente, que no campo da segurança contra incêndio quer dizer prevenir e combater.

Assim, proteger contra o incêndio é mais do que dispor dos recursos técnicos para coibir o incêndio ou de medidas antecipativas que evitem o surgimento do fogo. Envolve também aspectos construtivos, o arranjo do ambiente, as ações de ordem organizacionais, como os procedimentos, treinamentos e o combate efetivo. Resumidamente pode-se dizer que proteção contra incêndio abrange a prevenção contra incêndio e a sua mitigação. Na área nuclear, especialmente em usinas nucleares, o termo proteção contra incêndio tem esse significado abrangente. Isto pode ser constatado na própria definição dada pela CNEN em suas normas que tratam do tema: “proteção contra incêndio é um conjunto de atividades e itens relacionados com a prevenção, detecção, alarme, combate, confinamento e minimização de danos do incêndio”. (CNEN, NN-2.03, 1999).

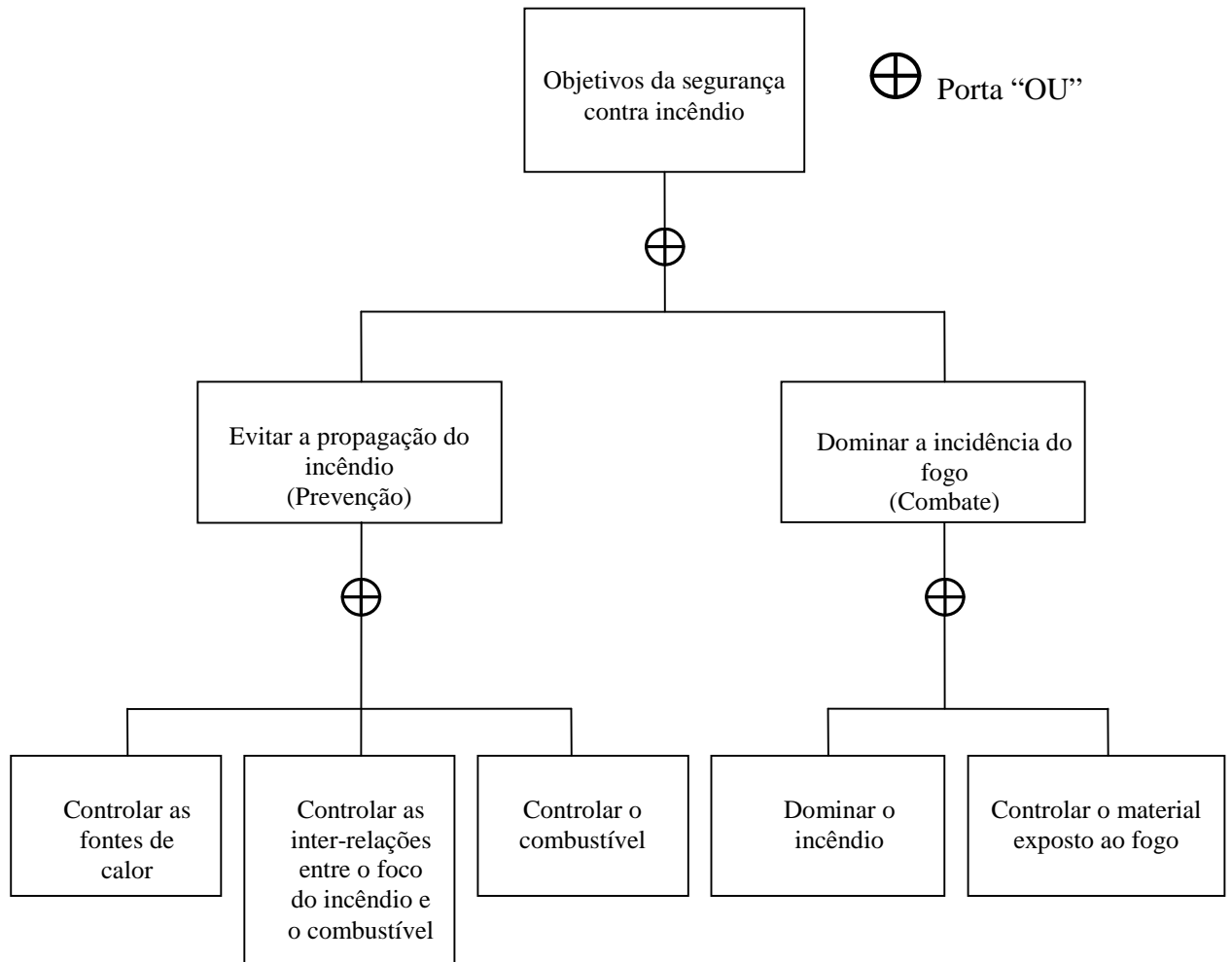
Naturalmente as preocupações com a proteção contra incêndio começam quando são elaborados os projetos das instalações. Nesse momento o projetista deverá avaliar as condições gerais e específicas que deverão ser incorporadas ao edifício. Estará atento à segurança das pessoas, à proteção dos bens e à continuidade das atividades da edificação que estará projetando.

Em geral, a preocupação do projetista se baseará no cumprimento das recomendações legais, os códigos de obras e as normas técnicas aplicáveis. Parece óbvio que a utilização dessa base legal e técnica é o mínimo que se pode requerer, mas se as decisões que se forem

tomar neste momento não se limitarem a isso, é mais provável que se terá mais chances de sucesso de se conceber uma edificação mais customizada ao risco de incêndio que ela efetivamente vai ter. Nesse momento começa a definição dos dispositivos de proteção passiva normalmente relacionados aos aspectos construtivos, incluindo a proteção de estruturas, barreiras corta-fogo e outros dispositivos também pertencentes a este grupo como sistemas de iluminação de emergências e vias de evacuação. De fato, incorporam-se os objetivos da proteção contra incêndio ao desenho da planta.

Os modernos códigos de proteção contra incêndio prevêm requisitos de segurança estrutural das edificações para a proteção contra incêndios. São previstos requisitos para a compartimentação, o tempo requerido de resistência ao fogo e carga de incêndio específica em função da atividade prevista para o local, permitindo ao projetista adotar instrumentos de proteção passiva, um dos objetivos da proteção contra incêndio (CBMSP, 1997).

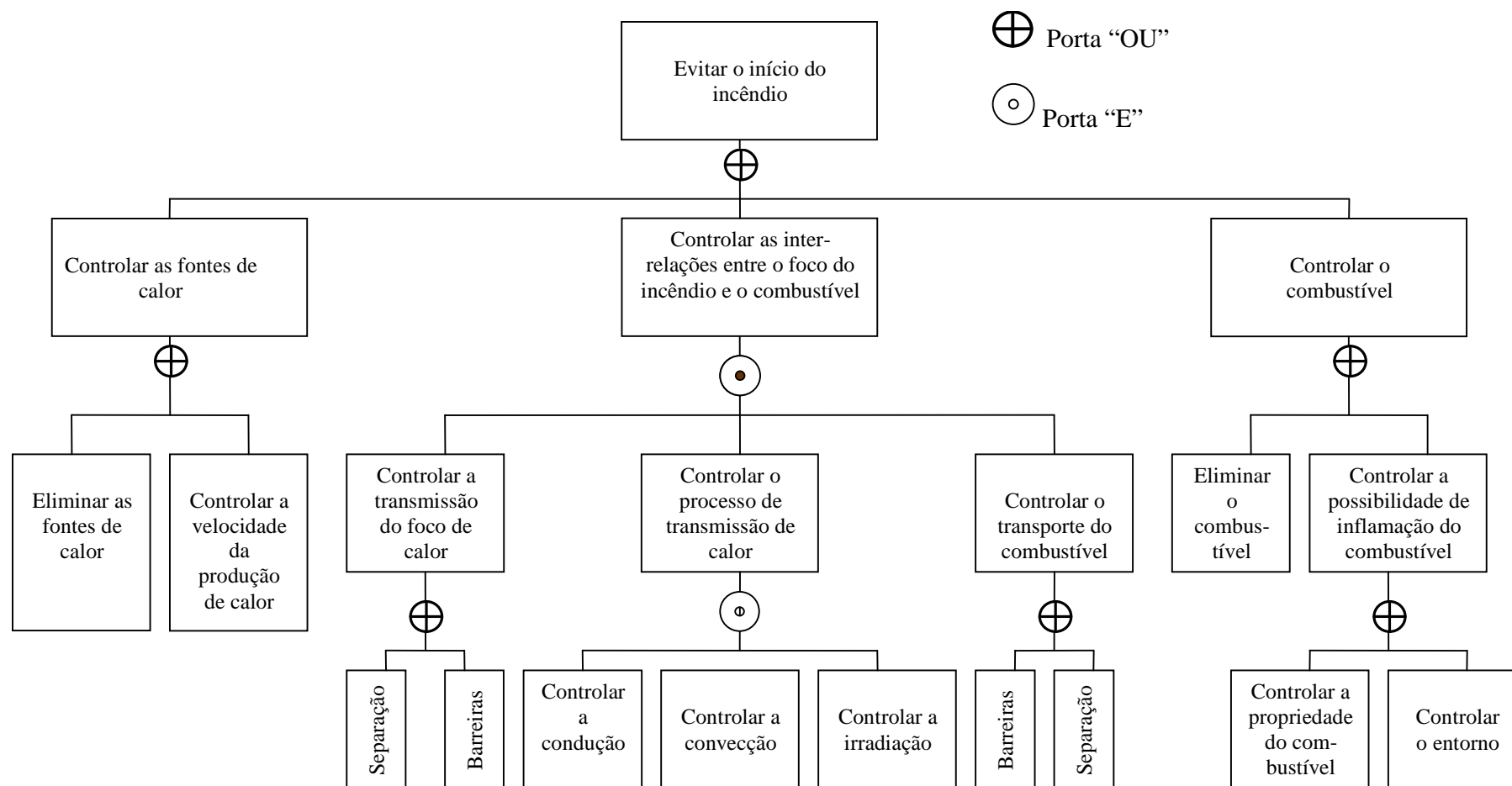
Os objetivos da proteção contra incêndio podem ser representados graficamente conforme sugere CARRASCO (1999) nos diagramas apresentados nas figuras 1, 2 e 3. Para um melhor entendimento é necessário que sua leitura seja feita a partir das causas indicadas na base da figura e assim podem-se verificar os efeitos nos níveis acima, aplicando-se as portas lógicas correspondentes.



**Figura 1:** Objetivos da proteção contra incêndio

Fonte: CARRASCO, adaptado (1999)

A NFPA sugere o uso da ferramenta da árvore de decisão, após ter aquela entidade constatado que mesmo quando se adota todos os códigos e normas nas construções de edificações de grandes alturas, ainda assim estas continuavam vulneráveis quanto à proteção contra incêndio (CARRASCO, 1999). Percebe-se que os dois objetivos evidenciam a prevenção, representada pelos controles das fontes de ignição e do combustível e o combate, com as ações efetivas para debelar o incêndio, como observado na Figura 1.



**Figura 2:** Árvore de decisão de proteção contra incêndio – prevenção de incêndio

**Fonte:** CARRASCO adaptado (1999)

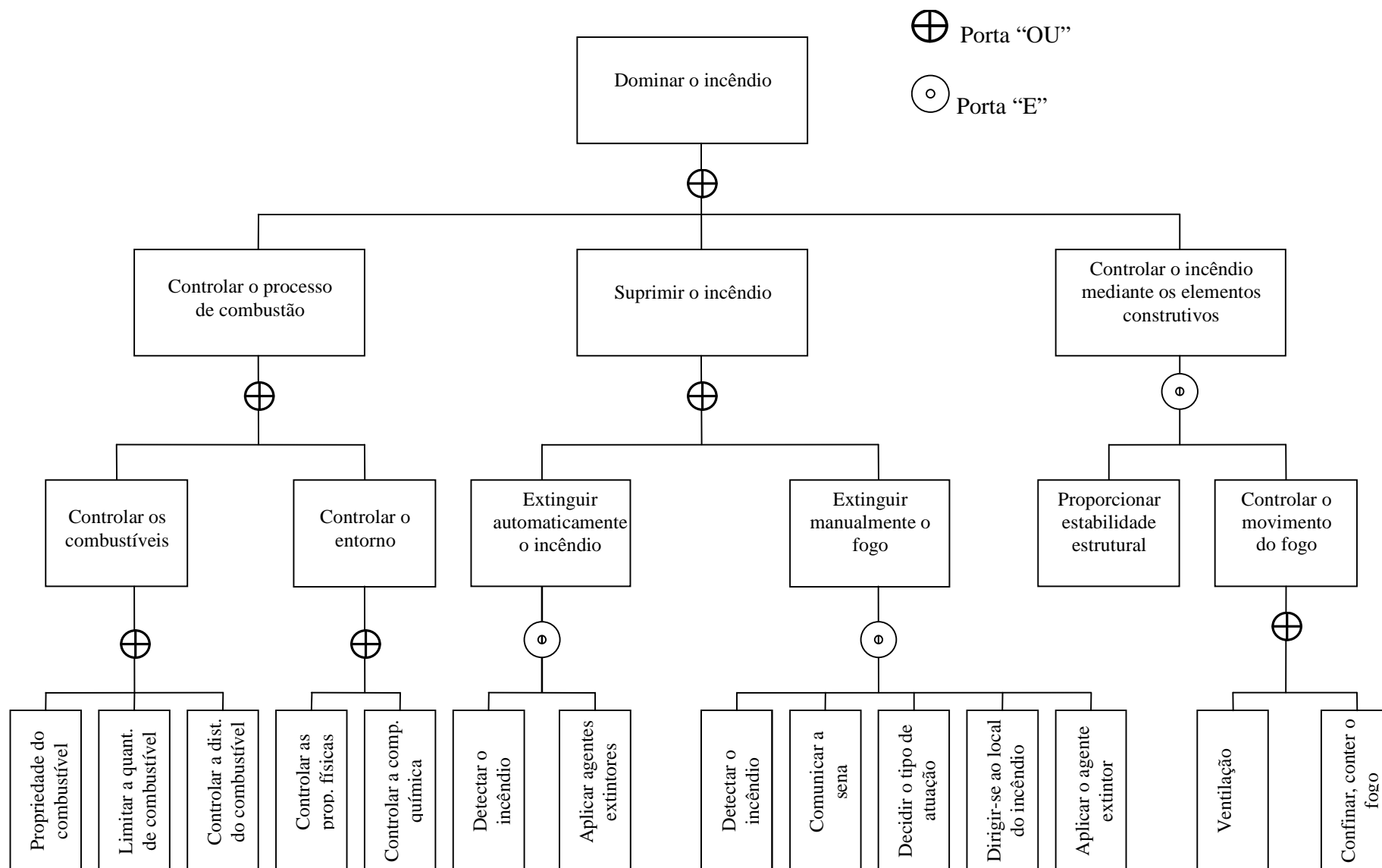


Os aspectos preventivos identificados na figura 2 demonstram que diversas ações devem ser definidas ainda durante o projeto. O controle das fontes de calor pode ser promovido nesta fase, por exemplo, com a adoção de projetos elétricos bem elaborados e a especificação de materiais elétricos com características adequadas às cargas que vão alimentar. A preocupação com a qualidade desses mesmos materiais é outro fator preponderante para a garantia de não ocorrência de sobrecargas, aquecimentos e curtos-circuitos, que são as principais causas de incêndios de origem elétrica. A adoção de medidas que restrinjam o uso de fontes de calor com maior probabilidade de provocarem incêndios ou seu uso controlado, através de liberação específica ou supervisionada, é outra medida que suporta este princípio preventivo.

O controle das inter-relações entre o foco do incêndio e o combustível se dá com a adoção de medidas que eliminem na fonte as ignições eventualmente ocorridas, evitando assim que o combustível em seu entorno sirva de meio de propagação e conseqüentemente torne o incêndio propriamente dito inevitável. A separação entre o combustível existente numa área e as possíveis fontes de ignição é um exemplo de como este princípio pode ser adotado, pois desta forma evita-se que pelos meios de transmissão de calor este entre em contato com o combustível.

O controle do combustível como medida preventiva, de igual modo, é uma maneira como ainda na fase de projeto pode-se prevenir incêndios. Em princípio, todo esforço deve ser feito no sentido de não se utilizarem materiais combustíveis nas áreas em questão. Quando isso não for possível deve-se fazer a escolha adequada dos materiais levando-se em conta suas características relacionadas a combustibilidade. Estas restrições permitirão a redução da carga

de incêndio do local e assim, mesmo que uma ignição venha ocorrer, a propagação do incêndio tornar-se-á menos provável.



**Figura 3:** Árvore de decisão de proteção contra incêndio – combate a incêndio.

**Fonte:** CARRASCO adaptado (1999)

As ações destinadas ao controle da combustão, supressão do incêndio e o controle do incêndio mediante elementos construtivos, integram o objetivo que tem como função primordial dominar o incêndio caso os outros objetivos anteriormente detalhados falhem. Algumas destas ações são objetos de considerações durante o projeto, outras requerem atuação durante a ocorrência do sinistro.

Esta estruturação proposta por CARRASCO (1999) permite perceber de forma sistêmica e lógica o entendimento do problema, como uma árvore de decisões, com etapas claramente definidas, onde cada objetivo deve expressar o grau de proteção que o edifício há de proporcionar aos seus ocupantes, aos seus objetos e aos seus vizinhos.

A aplicação desta estratégia em instalações nucleares é feita com a adoção das leis da defesa em profundidade e da realização de Análise de Incêndio, detalhadas no Capítulo 2.

### **2.1.2 Sistema de gestão integrada**

A gestão integrada adveio da necessidade das organizações de padronizarem seus processos para tornarem-se mais competitivas. O sistema de gestão integrado assegura, de maneira planejada, a satisfação das partes interessadas visto que envolve a implementação do Sistema de Gestão de Qualidade, com o objetivo de atender os interesses dos clientes, o interesse da sociedade com a implementação do Sistema de Gestão Ambiental e dos colaboradores com a implementação do sistema de Gestão da segurança e Saúde no Trabalho.

Cada um desses sistemas possui referências normativas específicas, mas que guardam estreita semelhança o que permite sua integração. A melhoria contínua do processo é uma meta perseguida e para isso aplica-se o modelo PDCA, que permite a gestão das fases de planejamento, execução, verificação e melhoria.

## 2.2 PROTEÇÃO CONTRA INCÊNDIO EM INSTALAÇÕES NUCLEARES

O mais significativo evento que demonstrou a vulnerabilidade de uma instalação nuclear aos efeitos do fogo ocorreu na usina nuclear Browns Ferry (1975), nos EUA. Este incêndio, de vilão dos incêndios em instalações nucleares, se tornaria algum tempo depois na principal referência para a melhoria dos requisitos de segurança contra incêndio nessas instalações, de modo particular usinas nucleares. A proteção contra incêndio deixou de ser tratada de forma isolada em relação aos demais sistemas relacionados à segurança nuclear, preocupação maior numa instalação deste tipo. Por conta deste episódio, várias modificações nos critérios de projeto e operação das usinas foram introduzidas, primeiramente nos EUA e, posteriormente, em outros países, com a publicação pela AIEA em 1979 do Safety Series nº 50 - SG -D2 - Fire Protection in Nuclear Power Plants.

O propósito da proteção contra incêndio numa instalação nuclear não se limita a atender aos requisitos de prevenção, combate a incêndios e condições para a desocupação em situações de incêndio, comuns em outros tipos de instalações. Acrescenta-se a estes, os requisitos relacionados à necessidade de se garantir que os sistemas de segurança sejam preservados dos efeitos do fogo, permitindo a continuidade operacional destes sistemas, mesmo em condições de incêndio.

### 2.2.1 Ocorrências de incêndios em instalações nucleares

Anteriormente ao incêndio da usina nuclear de Browns Ferry (1975), vários outros eventos de incêndio em instalações nucleares são relatados, embora com um nível de detalhamento menor do que se pode esperar. Isto ocorre, naturalmente, por ser na época em que

esses eventos aconteceram a divulgação de acidentes em instalações nucleares um tabu, pois em muitas situações envolviam projetos secretos, relacionados ao desenvolvimento de armas, o que justificava a preocupação das autoridades de então em não fazer uma divulgação ampla dos fatos. Um exemplo foi o incêndio ocorrido em setembro de 1957 na usina de Rocky Flats em Denver, Colorado, nos Estados Unidos, incêndio este devido à combustão espontânea de plutônio existente numa caixa de luvas utilizada para o processamento do material, atingindo ainda os filtros utilizados para evitar que resíduo de plutônio fosse lançado no ambiente. A usina fazia parte do programa americano de produção de armas nucleares, e, portanto protegida pelo segredo militar. Em 1969, outro incêndio de maiores proporções aconteceu nas mesmas condições na citada instalação, de igual modo lançando para o ambiente, quantidade desconhecida de material nuclear (ALBRIGHT e O'NEILL, 1999).

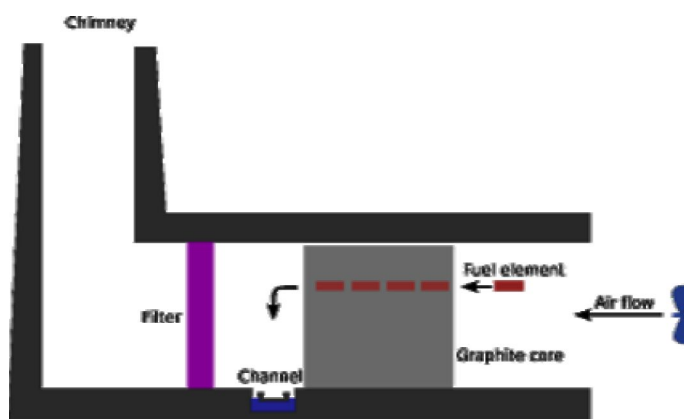
A seguir serão relatados outros eventos de incêndio envolvendo instalações nucleares.

#### 2.2.1.1 Incêndio em Windscale

Em 10 de outubro de 1957 ocorreu um incêndio na pilha número 1 do reator moderado a grafite e refrigerado a gás operado pelo governo Britânico em Windscale, atualmente Sellafield. O reator de Windscale, cujo diagrama é apresentado na figura 4, era uma instalação utilizada para produzir plutônio para o programa de armas do governo britânico e também para a produção de polônio (Po-210).

A causa do início do incêndio não é precisa, mas é provável que a razão tenha sido o desgaste do material onde estavam localizados os elementos combustíveis no núcleo do reator e a operação inadequada do sistema. Além disso, foram condições preponderantes para a ocorrência do acidente a incapacidade de, então, se monitorar os danos nas placas dos

elementos combustível do núcleo do reator e o uso de urânio metálico ao invés de dióxido de urânio como combustível (BERTINI, et al, 1980).



**Figura 4:** Esquema do reator de Windscale

**Fonte:** ANSEWERS (consulta: outubro de 2005)

O fogo começou durante o processo de recozimento da estrutura de grafite. Durante uma operação normal, os nêutrons que atingem a grafite resultam na distorção da sua estrutura. Esta distorção leva a um acúmulo da energia armazenada (*buildup*) na grafite. O processo controlado de recozimento foi usado para restaurar a estrutura da grafite e liberar a energia armazenada. Infelizmente, neste caso, energia excessiva foi liberada tendo por resultado danos no combustível. O combustível de urânio metálico e a grafite então reagiram com o ar e começaram queimar-se (BERTINI, et al, 1980).

O incêndio ficou restrito ao núcleo do reator e durou mais de 24 horas, tendo ocorrido pelo menos dois lançamentos de materiais radioativos para o ambiente externo. O primeiro foi em consequência da queima natural do urânio presente núcleo quando do início do incêndio e o

segundo ocorreu um dia após, quando o reator foi encharcado com água numa tentativa de extinguir o fogo.

Mais de 20% do núcleo do reator foi danificado pelo fogo e trabalhadores da usina foram expostos a doses 150 vezes maiores do que os limites de doses previstos. Estima-se que membros da população foram diretamente expostos a mais de 10 vezes dos limites de dose para o público. A fumaça e o vapor oriundo do núcleo arrastaram partículas e gases radioativos para a atmosfera, atingindo a maior parte da Inglaterra e parte Europa. Como consequência, radionuclídeos, especialmente iodo radioativo, contaminaram as pastagens que, consumidas pelos animais, produziram contaminação no leite. As autoridades restringiram a produção de leite dos fazendeiros das regiões mais próximas por 45 dias.

A atividade de material radioativo que foi para a atmosfera foi estimada por EISENBUD (1987) em milhares de curies, conforme Tabela 1.

**Tabela 1:** Estimativa de liberação de radionuclídeos no incêndio de Windscale

Radionuclídeo	Estimativa de liberação (Curies)
<b>I-131</b>	<b>16.200 – 20.000</b>
<b>Cs-137</b>	<b>600 – 1.240</b>
<b>Sr - 89</b>	<b>80 - 137</b>
<b>Sr -90</b>	<b>6 - 9</b>
<b>Po-210</b>	<b>≈ 240</b>

**Fonte:** EISENBUD (1987)

O acidente de Windscale, superado pelo de Chernobil apenas pela extensão das consequências, serviu de base para estudos epidemiológicos, tendo influenciado na elaboração no guia de proteção radiológico ICRP-50 (ARNOLD, 1992).



### 2.2.1.2 Incêndio em Browns Ferry

No dia 22 de março de 1975, aconteceu o maior acidente em uma instalação nuclear cuja origem se deveu a um incêndio. A central nuclear de Browns Ferry está localizada numa localidade próxima a cidade de Decatur no Estado do Alabama, EUA, e é operada pela empresa TVA - Tennessee Valley Authority. Na época do acidente a central era composta de três unidades tipo BWR, cada uma com uma potência de 1.100 MW(e). Quando ocorreu o acidente duas unidades estavam em operação e uma terceira estava em fase final de construção.

De acordo com SCOTT (1976), o incêndio iniciou-se quando operários, utilizando-se uma vela, testavam a fuga de pressão no edifício de contenção. O teste consistia em verificar, observando-se a inclinação da chama da vela, a direção do fluxo de ar e, conseqüentemente, se havia fuga. A chama da vela fez entrar em ignição a espuma de poliuretano utilizada como selante da abertura para passagem de bandejas de cabos elétricos. O incêndio demorou cerca de 7 horas para ser completamente debelado.

Em usinas do tipo de Browns Ferry o edifício do reator é mantido com uma pressão negativa em relação ao exterior, para assegurar que não haja fuga de ar para fora do mesmo no caso de vazamento de material radioativo sendo assim um requisito de segurança. A manutenção dessa sub-pressão é feita removendo-se continuamente ar do edifício de contenção, fazendo-o passar por filtros antes de ser liberado para o meio ambiente.

O fogo iniciou-se na sala de cabos, exatamente em uma abertura para passagem de bandejas de cabos que atravessa a parede do edifício do reator. Cada abertura para passagem de bandejas de cabos era selada com espuma de poliuretano. Sobre a espuma de poliuretano e também sobre os cabos elétricos, foi aplicado um revestimento a base de composto anti-chama, com espessura entre 3 e 6 mm. Este preenchimento com poliuretano bem como o revestimento

anti-chama era feito nos dois lados da parede que, no total, possuía 1,22m de espessura, integrando o sistema de barreiras corta-fogo da usina.

A espuma de poliuretano bem como o revestimento anti-chama da abertura para passagem de cabos do local onde o incêndio se iniciou, tinha sido removida em parte para permitir a passagem de novos cabos, deixando o poliuretano, material inflamável, exposto a ação das chamas. Convém salientar que o uso de chama aberta para teste de fuga era prática comum em instalações industriais.

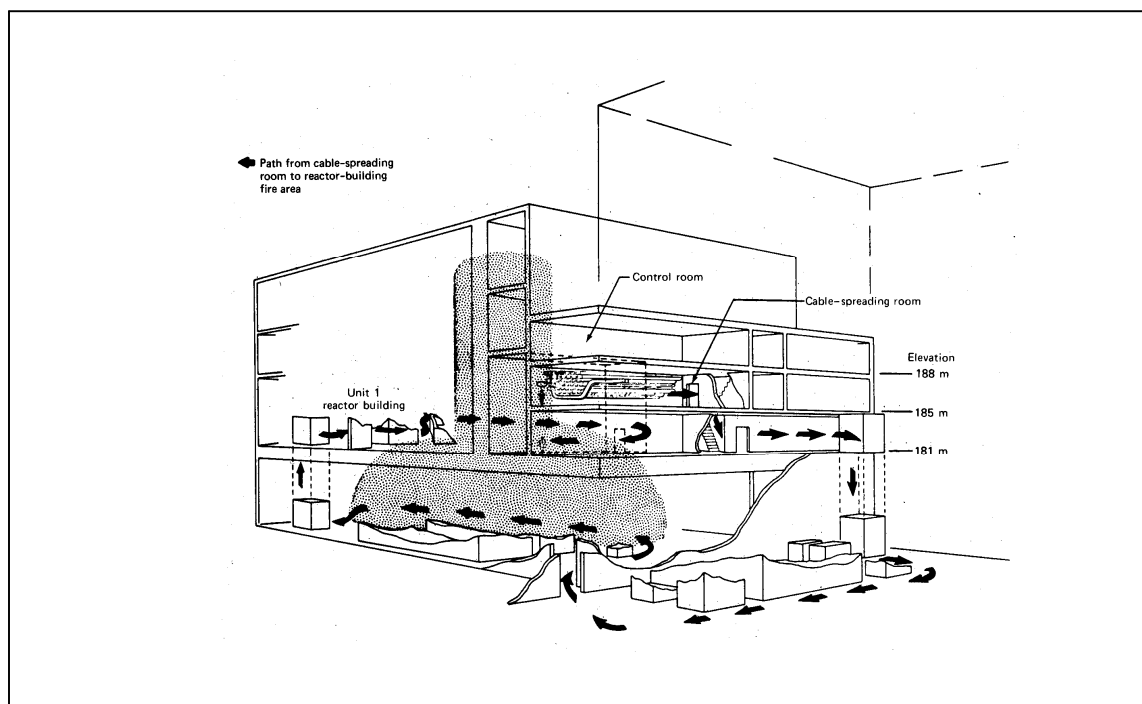
Um dos operários observou que existia uma abertura de 50 a 100 mm por onde havia um fluxo de ar. Utilizando-se de dois pedaços de poliuretano, tamponou a abertura e posteriormente realizou outro teste com a chama. Deve ser salientado que o poliuretano utilizado após a introdução de novos cabos não era do tipo previsto, sendo muito mais inflamável. Provavelmente o incêndio iniciou-se neste segundo teste, pois foi a partir de então que um dos operários observou de que havia fogo dentro da abertura.

O operário tentou apagar as chamas utilizando uma lanterna e posteriormente trapos de tecido, não conseguindo. Extintores de CO<sub>2</sub> foram utilizados pela própria equipe de operários, porém o gás era sugado pelo furo, já que existia um fluxo de ar naquele sentido, não permitindo atingir o foco do incêndio. Posteriormente tentou-se apagar o fogo utilizando-se dois extintores de pó químico seco, do mesmo modo sem sucesso. Um dos operários então mandou informar o fato ao chefe de turno de operação. Quinze minutos após o início do incêndio foi dado alarme de desocupação da sala de cabos para que o sistema fixo de CO<sub>2</sub> pudesse ser disparado, porém, ao se tentar acionar este sistema, verificou-se que estava desativado por medida de segurança, já que haviam operários trabalhando na sala de cabos, e este era um procedimento adotado nestes casos. Algum tempo depois o sistema fixo de CO<sub>2</sub> foi

disparado pela primeira vez, e assim foram feitas várias tentativas. A essa altura o incêndio já havia atingido o edifício do reator, espalhando-se pelas bandejas de cabos. Da mesma forma, tentou-se apagar o incêndio no edifício do reator utilizando-se extintores de pó químico, mas não foi possível devido ao difícil acesso ao local e à inexistência de equipamentos de proteção respiratória para proteger os operadores, diante da grande quantidade de fumaça existente. O operador assistente que estava conduzindo as operações de combate solicitou apoio aos bombeiros oficiais e por volta de 1:45 h bombeiros de Athens, Alabama, chegaram ao local.

O chefe dos bombeiros recomendou que fosse utilizada água, porém o superintendente da usina não permitiu temendo que fosse provocado um curto-circuito e com isso sistemas elétricos responsáveis pelo desligamento e resfriamento seguro do reator fossem comprometidos. O incêndio na sala de cabos foi extinto às 16:20 h, porém no edifício do reator continuou se espalhando. A essa altura os sistemas de segurança começaram a ficar comprometidos, pois a alimentação de água de refrigeração é paralisada devido à inoperância da bomba elétrica e as bombas de recalque de condensado, embora em operação, estavam com pressão insuficiente (2,4 MPa) para superar a pressão do vaso do reator que já estava em torno de 7,4 MPa. Por volta das 18:00 h o chefe dos bombeiros recomendou novamente ao superintendente o uso de água para o combate ao incêndio, porém mais uma vez não foi permitido. A solução se complicou quando quatro das onze válvulas de alívio de pressão ficaram fora de operação e as bombas de recalque deixaram de alimentar o sistema. O superintendente então, às 19:00 h, finalmente autorizou o uso de água para combater o incêndio e isto posto, às 19:45 h o fogo foi extinto.

Na figura 5 pode-se observar a extensão dos danos do incêndio, causados diretamente pela ação do fogo, especialmente nas bandejas de cabos ou pela fumaça, que naturalmente atingiu áreas mais distantes, danificando cabos e sistemas de instrumentação.



**Figura 5:** Incêndio em Browns Ferry – Áreas atingidas

**Fonte:** NUCLEAR SAFETY (1976)

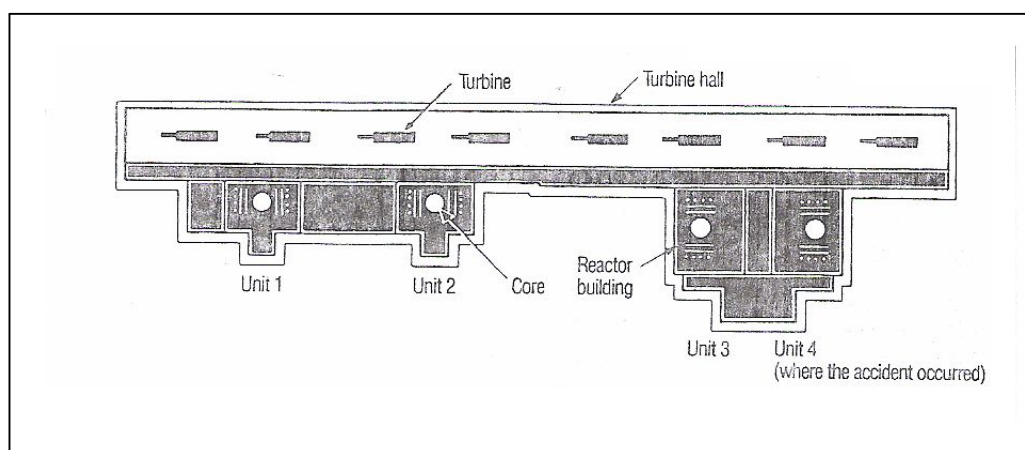
Os prejuízos causados com o incêndio foram enormes, milhares de metros de cabos e sistemas elétricos foram danificados, produzindo perdas diretas em torno de 10 milhões de dólares e aproximadamente a mesma quantia por mês por falta de faturamento devido à energia que se deixou de fornecer aos consumidores durante o período de um ano, tempo em que ficou fora de operação para reparos.

Felizmente, embora tenha havido os prejuízos materiais já indicados, este incêndio não trouxe conseqüências para as pessoas nem para o meio ambiente, visto que não ocorreram

lesões nos operários ou membros das equipes de emergências e nem houve envolvimento direto de material nuclear ou radioativo com o fogo.

### 2.2.1.3 Incêndio em Chernobil – Unidade 2

Em 11 de outubro de 1991 ocorreu um incêndio na sala de turbinas da unidade 2 do complexo nuclear de Chernobil, na Ucrânia. A unidade 2 da central nuclear de Chernobil integrava um conjunto de quatro reatores, cada uma com dois turbos-geradores geminados instalados numa única sala de turbinas (Figura 6). A usina de Chernobil 2 era do tipo RBMK desenvolvido pela União Soviética, tinha a potência de 1.000 MW(e) e no dia do acidente estava operando a 70 % de sua capacidade para que fosse feito um serviço de manutenção no turbo-gerador 4. A manobra de preparo para o serviço de manutenção incluía a parada controlada do turbo-gerador.



**Figura 6:** Reatores da usina de Cherbobil 2 e a sala de turbinas

**Fonte:** NUCLEAR ENGINEERING INTERNATIONAL (1992)

O turbo-gerador 4 já tinha diminuído a velocidade em cerca 150 RPM quando um defeito no disjuntor 2 o reconectou ao sistema elétrico. Esta entrada inesperada de corrente

provocou uma potência reversa com cerca de 3.000 MJ de energia no sistema que destrói a excitatriz. Um outro problema ocorreu neste momento foi o vazamento do hidrogênio e óleo utilizado para a refrigeração e selagem do rotor. A utilização de hidrogênio e óleo para refrigeração e selagem de rotores de turbinas é muito comum em usinas nucleares e tem sido a causa de muitos incêndios nessas instalações (SHTEINBERG, et al, 1992). Os arcos elétricos produzidos e o calor de fricção do rotor inflamaram o hidrogênio e o óleo vazado, provocando chamas que atingiram 8 metros, além de uma densa fumaça que obstruiu a visibilidade do pessoal da usina envolvido nas operações de controle de emergência (GRIMES, 1993).

Embora o incêndio não tivesse atingido diretamente sistemas de segurança ou material nuclear por estar a sala de turbinas separada da sala do reator por barreira corta-fogo, o intenso calor dificultou a ação das equipes de combate e comprometeu a estrutura da sala de turbinas e fez desabar o teto, atingindo os quadros elétricos e bombas principais e auxiliares de alimentação do sistema de refrigeração do reator, que não ficou comprometido pelo uso de sistemas redundantes. Os operadores realizaram manobras para desligar o reator em condições de segurança e uma investigação mais tarde determinou que um curto-circuito na fiação de controle do disjuntor 2 foi a causa do acidente (GRIMES, 1993).

#### 2.2.1.4 Incêndio em Vandellos I

Um dos mais importantes incêndios ocorridos em usinas nucleares aconteceu em 19 de outubro de 1989, na unidade um da central nuclear de Vandellos, Espanha. A usina nuclear de Vandellos I era uma usina operada pelo consórcio franco-espanhol HIFRENSA, cujo reator do tipo refrigerado a gás e moderado a grafite, era idêntico a um reator francês da GCR Saint-Laurent-des-Eaux. Sua construção foi iniciada em junho de 1967 e sua primeira criticalidade

aconteceu em fevereiro de 1972. A usina possuía dois turbos-geradores com capacidade de 250 MW (e) cada, tendo sido conectada a rede elétrica em maio de 1972 (PLA e PALLARS, 1996).

Às 21:39 horas vibrações violentas deslocaram a turbina de seu pedestal, o que provocou ruptura de linhas de hidrogênio e óleo, que começaram a pegar fogo. O óleo, queimando-se, atingiu as sapatas de borracha do condensador que também começaram a pegar fogo. A água com óleo em chamas espalhou-se pela instalação, atingindo o porão, destruindo cabos e equipamentos elétricos.

O incêndio afetou seriamente o turbo-gerador número dois e cabos elétricos, que causaram a parada do turbo-ventilador número quatro e a perda de funcionalidade de um dos dois trens de alimentação das bombas auxiliares de refrigeração do circuito. Durante as primeiras duas horas do incêndio, os operadores da usina tiveram dificuldade de controlar o fluxo de alimentação de água para manter aquecidos os trocadores de calor número um e dois porque a válvula ficou inoperante devido a perda de suprimento de ar comprimido.

Este incêndio foi classificado como incidente sério, de nível 3 na escala INES (International Nuclear Event Scale) da AIEA, que vai de 0 à 7, utilizada para comunicar ao público dos acidentes nucleares.

Em análise elaborada por PLA (1994), as principais causas do acidente foram o uso de tecnologias com a utilização de materiais combustíveis, tais como óleo lubrificante com ponto de ignição entre 300 e 400 °C, faixa de temperatura próxima da prevista para o vapor da turbina; uso de cabos elétricos sem características fogo-retardante; inexistência de dispositivo que detectasse o vazamento de hidrogênio e inibisse a formação de atmosfera explosiva na sala de turbinas; ineficiência do treinamento da brigada de incêndio para incêndios de maior severidade e inexistência de treinamentos regulares e simulados envolvendo o corpo de

bombeiros oficial; insuficiência de equipamentos de proteção, especialmente máscaras, para as equipes de combate.

A consequência deste acidente foi a suspensão da operação da usina por determinação do governo espanhol e o início de um complexo programa de descomissionamento, que incluiu a desmontagem, descontaminação e segregação de equipamentos ativados. (PLA e PALLARES, 1996).

### **2.2.2 Estatística de ocorrências de incêndio em instalações nucleares**

A frequência de incêndios ou eventos de segurança relacionados à proteção contra incêndio em instalações nucleares em todo mundo é significativa. De acordo com o sistema de registros de acidentes nucleares INES da AIEA, entre 1990 e 1994, foram reportados 312 eventos que afetaram a segurança em usinas nucleares, sendo 24 destes relacionados a incêndios. Outro sistema de registros, WANO - World Association of Nuclear Operators, relatou que entre o período de 1989 e 1994, ocorreram 45 eventos relacionados a incêndios em usinas nucleares associadas à organização, numa média de 8 por ano.

Incêndios em usinas nucleares com maior significância, isto é, que tenham atingido ou com potencialidade de atingir sistemas de segurança, são objeto de análise pelos organismos multilaterais internacionais, para que seja possível com a troca de experiências adquiridas nesses intercâmbios a melhoria dos dispositivos de proteção das instalações dos países membros. As informações completas de alguns desses eventos, entretanto, não são disponibilizados para a comunidade internacional, o que inviabiliza uma análise mais detalhada (IAEA-TECDOC-1421, p. 13, 2004). Ainda assim, várias dessas ocorrências foram temas de



exposição em reuniões técnicas promovidas pela Agência Internacional de Energia Atômica – AIEA, conforme apresentado na Tabela 2.

**Tabela 2:** Reuniões da AIEA para análise de incêndios em instalações nucleares

Ano	Usina Nuclear	País	Reunião Técnica da AIEA
1975	Browns Ferry	EUA	Barcelona, 1994
1975	Greifswald – Unidade 1	Alemanha	Barcelona, 1994
1979	Barsebeck	Suecia	Viena, 1997 Viena, 2001
1982	Armenia - 1	Armênia	Londres, 1997 Viena, 1997 Viena, 2001
1985	Rajasthan – Unidade 2	Índia	Barcelona, 1994 Viena, 1997
1987	Forte St. Vrain	EUA	Barcelona, 1994
1989	Vandellos	Espanha	Barcelona, 1994 Londres, 1997 Viena, 1997 Viena, 2001
1991	Chernobyl – Unidade 2	Ucrânia	Barcelona, 1994 Londres, 1997 Viena, 2001
1991	Salem – Unidade 2	EUA	Barcelona, 1994 Londres, 1997 Viena, 1997 IRS database
1993	Enrico Fermi	EUA	Barcelona, 1994 Londres, 1997 Viena, 1997
1994	Biblis A	Alemanha	Barcelona, 1994 Viena, 2001
1995	DCPP	EUA	Londres, 1997
1996	Palo Verde	EUA	Londres, 1997
1999	Bugery	França	Viena, 2001
2001	Rovno	Ucrânia	Viena, 2001

**Fonte:** IAEA -TECDOC-1421, p. 14 (2004)

A AIEA mantém ainda o Incidente Reporting System – IRS, uma base de dados onde são registrados os eventos ocorridos em usinas nucleares dos estados membros, categorizados de maneira a permitir uma análise detalhada de suas causas e conseqüências, onde já foram

lançados mais de 2.200 eventos relacionados à segurança das instalações desde a sua implantação. Desses eventos, 66 foram relacionados a incêndios e explosões, analisados segundo os seguintes aspectos: estado da usina, se em operação ou desligada; deficiência de projeto; deficiência de operação; deficiência de construção; deficiência de aplicação de sistemas de qualidade e falta de procedimento de emergência em caso de incêndio.

Como resultado dessa análise, a AIEA reportou genericamente as seguintes conclusões como conseqüências dos eventos de incêndio e explosões em usinas nucleares (IAEA-TECDOC-1421, p. 7, 2004):

- Um substancial número de incêndios e explosões relatados é resultado de uma indesejada troca de status operacional da usina;
- Falhas em itens de segurança, como fornecimento de energia externa ou através de diesel geradores, levaram a uma mudança indesejada do status operacional da usina;
- Incêndios e explosões afetaram funções importantes para a segurança como “remoção do calor residual” e “confinamento de material radioativo”, mesmo quando o incêndio iniciou-se numa sala onde estes itens não existiam;
- Em alguns casos, a segurança nuclear foi indiretamente afetada pelos agentes extintores, através de efeitos secundários; e
- Incêndios e explosões causaram falhas comuns, principalmente devido às deficiências de projeto.

Alguns destes registros não se referem, evidentemente, a incêndios ou a princípios de incêndios, mas também a falhas em sistemas de proteção contra incêndio, que poderiam potencializar a severidade do acidente caso um incêndio se iniciasse.

Ainda segundo dados levantados pela WANO (Fire Protection and Equipment Environmental Qualification on Nuclear Power Plant, 1996) os seguintes dados estatísticos de eventos ocorridos em usinas nucleares têm relevância e devem servir como pontos para reflexão por todos aqueles que militam em proteção contra incêndio em instalações nucleares:

- **Quanto as conseqüências dos eventos:**

- ⇒ 47% causaram danos com perdas econômicas

- ⇒ 27% degradaram sistemas de segurança

- ⇒ 15% degradaram sistemas transitórios

- **Quanto a origem dos eventos:**

- ⇒ 36% em sistemas elétricos

- ⇒ 28% em sistemas de detecção e supressão de incêndios

- ⇒ 19 % em turbos-geradores e sistemas auxiliares

- **Quanto ao estado operacional da usina:**

- ⇒ 71% durante a operação normal da usina,

- ⇒ 11% com a usina inoperante

- ⇒ 7% durante as operações desligamento e religamento.

Segundo estudos realizados na Alemanha ainda com base no material do curso Fire Protection and Equipment Environmental Qualification on Nuclear Power Plant (1996), um incêndio de relevante gravidade ocorre, em média, entre 6 e 10 anos em usinas nucleares. Dos 4.031 incidentes registrados em usinas nucleares alemães no período de 1971 a 1994, 24 foram relacionados a incêndios. Os materiais e sistemas envolvidos nestes incêndios e suas respectivas quantidades foram as seguintes:

- Equipamentos elétricos 13 eventos
- Óleos lubrificantes e graxas 5 eventos
- Hidrogênio 3 eventos
- Materiais diversos 2 eventos
- Filtro de carvão 1 evento

Muitos destes incidentes ocorreram devido a não adoção de procedimentos adequados de segurança contra incêndio durante os trabalhos de manutenção e reparo. Embora nenhum destes eventos tenha comprometido, significativamente, a segurança nuclear, em 7 deles foram atingidos sistemas classificados como importantes para a segurança e 2 constituíram risco potencial para a usina.

A importância de uma política de proteção contra incêndio com base nos fundamentos da segurança nuclear pode ser plenamente justificada pelas consequências que os incêndios podem acarretar em comparação com outros riscos típicos de instalações nucleares. Entre 1943 e 1970, por exemplo, o DOE - Department of Energy dos Estados Unidos, registrou 27 vítimas fatais devido a acidentes relacionados a incêndio e explosões em instalações nucleares, contra 3 devido a criticalidade (PURINNGTON, G. Robert e PATTERSON, H., 1985). A importância do evento crítico como acidente plausível numa instalação nuclear é inquestionável, porém os riscos associados a incêndios em termos de frequência e consequências, excedem aos relacionados ao acidente de criticalidade.

### 2.2.3 Evolução do conceito de proteção contra incêndio em instalações nucleares

Até a ocorrência do acidente de Browns Ferry (1975), não existia claramente estabelecida uma correlação entre a proteção contra incêndio e a segurança nuclear de uma instalação. Os princípios gerais de proteção contra incêndio eram aplicados, mas seus requisitos não eram sistematicamente relacionados quando da elaboração do projeto que tinha como preocupação a manutenção da operacionalidade dos sistemas importantes para a segurança nuclear. O evento incêndio não era considerado um evento base-de-projeto das usinas nucleares.

Um evento base-de-projeto de uma instalação nuclear, em especial numa usina nuclear, é uma referência para os parâmetros de segurança da instalação.

A CNEN (NE-1.04, 2002) assim define base-de-projeto:

conjunto de informações que identificam as funções específicas a serem desempenhadas por um item de uma instalação nuclear e os valores específicos, ou limites de variações desses valores, escolhidos para parâmetros de controle como dados fundamentais de referência para o projeto. Esses valores podem ser:

- a) limitações derivadas de práticas geralmente aceitas, de acordo com o estado atual da tecnologia,, para atingir objetivos funcionais, ou:
- b) requisitos derivados de análises (baseados em cálculos e/ou experiências) dos efeitos dos acidentes postulados, para os quais um item deve atingir seus objetivos funcionais.

Observa-se que um dado base-de-projeto é de fundamental importância para o projeto da instalação. Pode-se incluir nesse grupo as condições sismológicas, meteorológicas e hidrológicas do local. Medidas compensatórias podem ser adotadas quando as condições desfavorecer uma ou mais característica de segurança.

A proteção contra incêndio nas usinas nucleares era prevista na base dos mesmos requisitos adotados para usinas térmicas convencionais, por exemplo. Tal ocorria porque

muitos dos requisitos relativos a incêndio foram desenvolvidos por companhias seguradoras e organizações industriais e seus interesses não eram, necessariamente, os mesmos dos organismos reguladores do setor nuclear. Em resumo, os requisitos de proteção contra incêndio aplicados até então não eram adequados para proteger os sistemas destes acidentes, garantindo a parada segura do reator.

Com o aumento da consciência de que deveria existir uma correlação entre os riscos de incêndio e a segurança nuclear, a revisão dos requisitos de proteção contra incêndio teve início e em várias usinas em operação modificações foram implementadas, inclusive em Angra I, com a implantação de melhorias na rede de hidrantes, proteção das bandejas de cabos elétricos, dentre outras. As lições aprendidas com a ocorrência de incêndios em usinas nucleares, em especial o de Browns Ferry, promoveu o desenvolvimento de novos requisitos de proteção contra incêndio aplicáveis às instalações nucleares, com a adoção de regulamentos em que se passou a enxergar as questões relacionadas a proteção contra incêndio como fator diretamente vinculado a segurança nuclear, passível de desencadear o acidente máximo postulado para uma usina, qual seja a perda do controle da refrigeração do núcleo, o conhecido Loss Coolen Accident (LOCA).

Em 1976, ainda sob os efeitos de Browns Ferry, foi publicado nos EUA pela Nuclear Regulatory Commission (NRC), o órgão regulador americano das questões nucleares, o documento BTP 9.5-1 (Branch Technical Position). Este documento é um marco dessa nova abordagem, pois estabelece critérios em que claramente vincula o evento incêndio à segurança nuclear.

Posteriormente ainda nos EUA, em 1980, foi publicado o Appendix R integrante do documento 10 CFR parte 50. Em 1982, na França, foi publicado o documento RCC-I e em

1985, na Alemanha, o documento KTA 2101 (Kerntechnische Ausschuss). Todos esses documentos têm o mesmo objetivo: tornar a proteção contra incêndio algo de interesse para a segurança nuclear.

O Brasil também adotou seu padrão normativo sobre o assunto, publicando em 1988 a Norma CNEN-NE-2.03 - Proteção Contra Incêndio em Usinas Nucleoelétricas e em 1997 a Norma CNEN-NE-2.04 - Proteção Contra Incêndio em Instalações Nucleares do Ciclo do Combustível. Posteriormente a norma CNEN-NE-2.03 foi revisada, deixando de ser uma norma experimental.

Um importante programa de atualização passou a ser levado a efeito em usinas nucleares de diversos países, com o objetivo de satisfazer os novos requisitos recomendados. Entretanto, ainda existe uma carência de melhorias, em especial nas instalações nucleares dos países que seguiram a modelagem da antiga União Soviética.

No passado existia muita dificuldade de aceitação, por exemplo, da água como agente para combater incêndios em instalações onde material físsil estivesse presente, em função da supervalorização que se dava aos riscos de criticalidade, visto que a água é um moderador de nêutrons capaz de desencadear um evento crítico se outras condições forem satisfeitas. Estas restrições já não têm o mesmo significado atualmente na medida em que se verificou que a não utilização da água para combater o incêndio pode significar, em algumas situações, abster-se de um dos agentes mais eficientes pelas suas características de retirada do calor e de penetrabilidade no combustível. O que se vem praticando é a restrição seletiva, isto é, somente não se permite o uso da água onde, efetivamente, houver a possibilidade da ocorrência deste fenômeno, considerando ainda a massa de material físsil envolvida e a sua geometria.

É bastante significativo o potencial de danos que um incêndio pode provocar numa usina nuclear. Numa situação extrema, um incêndio pode atingir um sistema ou equipamento importante para a segurança do reator, comprometendo o seu desligamento seguro (*shutdown*). Nesta situação um evento do tipo LOCA não pode ser descartado. Todos os aspectos relacionados à proteção contra incêndio numa usina, desde o projeto, o gerenciamento das condições de proteção contra incêndio durante a operação e a atuação das equipes de combate a incêndio em situações de emergência, têm por finalidade principal garantir a operacionalidade destes sistemas de segurança.

#### **2.2.4 Requisitos de proteção contra incêndio em instalações nucleares**

As lições aprendidas com os incêndios ocorridos e a experiência adquirida com a operação das instalações nucleares indicam que incêndios nestas instalações poderiam comprometer a segurança nuclear e que sua importância ia além da problemática dos incêndios convencionais. Numa instalação nuclear um incêndio poderá afetar a operação de sistemas de segurança, além de criar oportunidades para que erros humanos na operação da instalação sejam cometidos durante os trabalhos de combate, tendo conseqüências sobre as condições de segurança. Evidentemente, um incêndio numa instalação nuclear poderá espalhar material radiativo, com implicações indesejáveis para o público e o meio ambiente.

Nas usinas nucleares, a proteção contra incêndio tem como premissa atender as funções de segurança nuclear. Para atender estes pressupostos, a proteção contra incêndio adota os seguintes requisitos de proteção, também chamados de função de segurança, de acordo com a Norma CNEN-NN-2.03 (1999):



1. Assegurar a parada segura do reator, bem como mantê-lo em condições de desligamento seguro durante a operação normal ou durante e após a condição de acidente.
2. Remover o calor residual do núcleo após o desligamento, inclusive na condição de acidente.
3. Reduzir o potencial de liberação de material radiativo e garantir que, caso ocorra alguma liberação, fique abaixo dos limites previstos para operação normal da usina, bem como abaixo dos limites aceitáveis para condição de acidente.

Especialmente o requisito 3 se aplica a todas instalações nucleares, pelo fato dessas instalações lidarem com material nuclear e/ou radioativo, possibilitando num eventual incêndio, o comprometimento do confinamento do material, caso que teria impacto direto sobre a chamada segurança nuclear, radiológica e ambiental da instalação, com possíveis reflexos sobre a saúde dos trabalhadores e das populações vizinhas.

Os sistemas são projetados e operados de maneira que o incêndio postulado para o local seja controlado, garantindo a condição operacional dos sistemas de segurança, mesmo na condição de incêndio. Sendo assim, durante o projeto dos sistemas de segurança nuclear da instalação, é considerada a influência dos possíveis incêndios nestes sistemas e são adotadas medidas de proteção passiva e ativa de modo a garantir sua operacionalidade. Posteriormente, durante a entrada em operação da instalação, é necessário adotar-se um programa de proteção contra incêndio com o objetivo de avaliar, introduzir possíveis melhorias e manter a eficiência dos dispositivos de proteção previstos durante o projeto.

Para alcançar um nível adequado de proteção contra incêndio, são adotados os critérios de proteção em profundidade, apresentados na Figura 7, também chamados de leis da defesa em profundidade em proteção contra incêndio, que são as seguintes:

1ª Lei - Prevenção de princípios de incêndios;

2ª Lei - Rápida detecção e pronto combate a qualquer princípio de incêndio que venha ocorrer, bem como a limitação dos seus danos;

3ª Lei - Confinamento do incêndio não extinto, minimizando seus efeitos sobre as funções essenciais da instalação.



**Figura 7:** Defesa em profundidade aplicado à proteção contra incêndio

**Fonte:** FIRE SAFETY AND ENVIRONMENTAL QUALIFICATION OF EQUIPMENT IMPORTANT TO SAFETY IN NUCLEAR POWER PLANTS (1996)

Na figura 7 pode ser observada graficamente a aplicação das leis da defesa em profundidade em proteção contra incêndio onde, para cada uma delas, níveis de proteção são recomendados, como a adoção de controles administrativos eficientes que garantam a restrição

da utilização de fontes de ignição; proteção ativa através de dispositivos de detecção e combate e proteção passiva, com a colocação de barreiras corta-fogo com capacidade de evitar o espalhamento do incêndio postulado para fora do local onde ele se inicie. A garantia da eficiência deste princípio de defesa em profundidade somente pode ocorrer se o projeto dos sistemas possuem conteúdos de proteção contra incêndio a partir da sua concepção, se durante a operação for implementado um sistema de garantia da qualidade e se a cultura de segurança da organização for elevada, abrangendo assim não apenas os aspectos tecnológicos, mas também os organizacionais da instalação.

Para atender os requisitos acima, os sistemas de segurança são projetados e operados de maneira que o incêndio postulado para o local seja controlado, garantindo a operacionalidade dos sistemas de segurança mesmo na condição de incêndio. Sendo assim, durante o projeto dos sistemas de segurança nuclear da usina e por similaridade outras instalações nucleares, é considerada a influência dos possíveis incêndios nestes sistemas e são adotadas medidas de proteção passiva e ativa. Posteriormente, durante a operação da instalação, é necessário adotar-se um programa de proteção contra incêndio com o objetivo de manter a eficiência dos dispositivos de proteção previstos durante o projeto.

A implementação das práticas associadas a cada um dos níveis mencionados, é descrita a seguir.

#### 2.2.4.1 Prevenção de incêndio

No projeto e especificação dos sistemas da instalação, a quantidade de material combustível deve ser minimizada, com priorização do uso de materiais não combustíveis ou

fogo-retardante. Cada sistema deverá ser projetado, tanto quanto praticável, garantindo-se que durante sua operação normal ou em caso de falhas, não provocará incêndios.

Quando a instalação iniciar a operação, o estoque de materiais combustíveis em áreas adjacentes ou que contenham sistemas importantes de segurança, deve ser controlado. Para isso, devem ser implantados procedimentos administrativos, para garantir este requisito logo que a usina receba o combustível nuclear. Também, a partir desse momento, qualquer trabalho a ser realizado que tenha potencial de provocar um incêndio (corte, solda, esmerilhamento) deve ser feito somente com autorização expressa ou supervisionado adequadamente.

#### 2.2.4.2 Detecção e extinção de incêndios

Devem ser previstos sistemas de detecção com capacidade para, em pouco tempo, alarmar e/ou ativar sistemas de extinção, permitindo rapidamente a extinção de princípios de incêndios, minimizando os efeitos sobre as pessoas e os sistemas importantes de segurança. No projeto destes sistemas de detecção e extinção, devem ser previstos dispositivos que garantam que não vão ocorrer operações indevidas, rupturas de cabos ou operações espúrias, que possam comprometer a operacionalidade dos sistemas importantes de segurança.

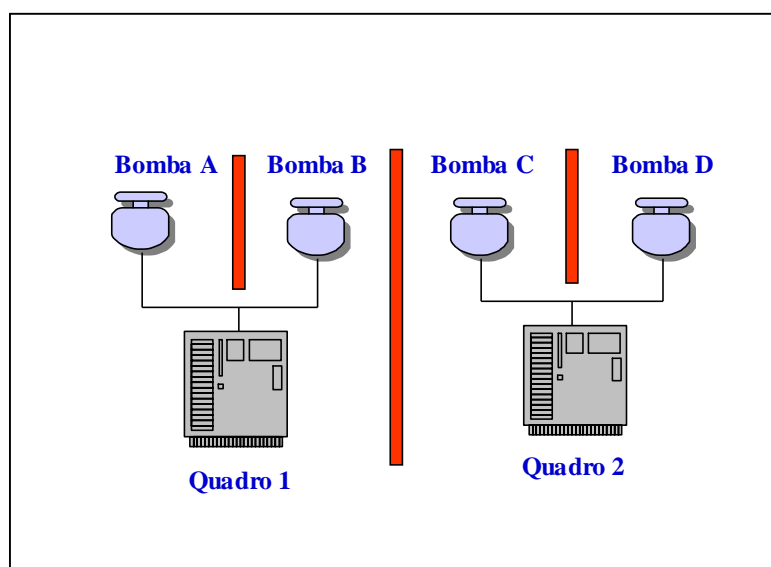
#### 2.2.4.3 Mitigação dos efeitos do incêndio

Os efeitos dos incêndios que eventualmente não sejam extintos logo no seu início, devem ser minimizados, de modo garantir que os sistemas importantes de segurança realizem as funções de desligamento seguro do reator e remoção do calor residual, no caso de usinas nucleares, e manutenção do material radioativo confinado, aplicável também a outras instalações. Para isso, são adotados os seguintes requisitos:

- Separação dos sistemas de segurança em trens redundantes, isto é, na inoperância de um, disponha-se de outro que possa substituí-lo.
- Confinamento dos sistemas de segurança, de maneira que cada um esteja em uma área de incêndio específica, separada por barreiras corta-fogo compatíveis ou adequadamente distanciadas, de modo que não seja possível que o incêndio em um atinja o outro. São adotados por alguns países os seguintes critérios de confinamento:

- 1) Barreira corta-fogo de 3 horas de duração, ou
- 2) Barreira corta-fogo de 1 hora de duração mais sistema de detecção, ou
- 3) Mínimo de 6 metros de separação entre a ocorrência de combustível e o sistema de segurança, mais sistema de supressão automática (sprinkler, CO<sub>2</sub>).

Na representação esquemática da Figura 8, pode ser visto como classicamente é feita a separação, através de barreiras corta-fogo, dos sistemas importantes de segurança desdobrados em trens redundantes.



**Figura 8:** Desdobramento em trens redundantes separados por barreiras corta-fogo

**Fonte:** Autor

Considerando-se que a alimentação promovida pelas bombas A à D é crucial para a operacionalidade em segurança do sistema, é prevista redundância tanto das bombas propriamente ditas quanto dos sistemas de alimentação elétrica representados pelos quadros elétricos 1 e 2. A separação dos trens redundantes se dá com o confinamento destes itens importantes para a segurança através da colocação de barreiras corta-fogo, conforme indicado pelas barras em vermelho na Figura 8 ou através do distanciamento entre os itens, garantido assim que no caso da exposição ao fogo de um deles, a operacionalidade do sistema não será comprometida, porquanto não será atingido pelo fogo.

As penetrações existentes entre as áreas de incêndio devem possuir os mesmos requisitos de confinamento previstos para as paredes que compõem estas áreas. Deste modo, portas corta-fogo, fire dampers, material selante de aberturas de passagens de bandejas de cabos e outros dispositivos, devem resistir ao incêndio postulado para a área, evitando que, se iniciado num compartimento, se propague para outro através destas passagens.

#### 2.2.4.4 Equipamentos de combate manual

Os equipamentos de combate manual são muito importantes na estratégia de defesa em profundidade. Enquanto em algumas partes da instalação os sistemas de supressão automática são os principais meios de combate existentes, em outras, somente os meios manuais estão presentes. Por isso, no programa de proteção contra incêndio deve ser previsto procedimentos de controle e manutenção dos equipamentos manuais, além de garantir o treinamento do pessoal na utilização destes equipamentos.

### 2.2.5 Análise de incêndio

A postulação e a análise do incêndio é a maneira geralmente adotada para se verificar a vulnerabilidade da instalação ao incêndio e a definição dos dispositivos de proteção passiva, normalmente relacionada aos aspectos construtivos, incluindo a proteção de estruturas, barreiras corta-fogo, e a proteção ativa, relacionada a mitigação do incêndio, constituindo em medidas de proteção.

De acordo com a norma CNEN-2.03 (1999), a Análise de Incêndio consiste da avaliação das conseqüências do incêndio postulado para uma determinada zona de avaliação, na qual deve-se determinar os parâmetros e características do incêndio, visando verificar a adequação do projeto de proteção contra incêndio, ou estabelecer as modificações necessárias.

O objetivo principal da análise incêndio numa instalação nuclear é demonstrar que os sistemas de segurança, como os responsáveis pela parada segura do reator e a remoção do calor residual, no caso de um reator nuclear e a contenção do material radiativo, incluindo outras instalações nucleares, estarão protegidos dos incêndios que eventualmente possam ocorrer. Seu desenvolvimento prévio constitui-se num importante instrumento para determinar qual a filosofia de projeto deverá ser adotada.

No projeto de usinas nucleares, conforme sugere a AIEA (IAEA, Safety Series No. 50-SG-D2, 1992), são encontrados dois tipos de configurações de proteção contra incêndio, a partir dos quais são concebidas as proteções dos sistemas importantes para a segurança:

- **Abordagem da Contenção do incêndio** – Esta abordagem assume que todo o material combustível presente dentro de uma área de incêndio pode ser consumido pelo fogo. Por conta disso, os sistemas redundantes devem ser localizados em diferentes áreas de incêndio, limitadas por barreiras corta-fogo capazes de suportar a completa combustão dos materiais

nela contidos, sem permitir a propagação do fogo para áreas vizinhas. Para garantir um nível de proteção adequado, é necessário se fazer a análise de incêndio, postulando-se o incêndio para o local e verificando se os dispositivos de proteção existentes são suficientes para fazer frente ao incêndio postulado.

- **Abordagem do Incêndio por Influência** – Neste tipo de abordagem os itens de sistemas redundantes podem ser localizados dentro de uma mesma área de incêndio, porém em diferentes zonas ou células de incêndio. A possibilidade de um incêndio que iniciar em uma célula ou zona, atingir sistemas de segurança que estiverem localizados em uma outra zona ou célula, deve ser controlada através de medidas tais como distanciamento dos equipamentos, proteção passiva localizada e proteção ativa.

Em outros tipos de instalações nucleares, como as do ciclo do combustível nuclear, embora a proteção contra incêndio não tenha como premissa a garantia operacional de sistemas de segurança como nos casos de usinas nucleares, são adotados, ainda assim, os mesmos conceitos, visto que, naquelas instalações também um incêndio poderia provocar a indesejável liberação para o exterior de material radioativo.

Para a elaboração da avaliação de risco de incêndio, a instalação nuclear é sistematicamente dividida em áreas separadas por barreiras corta-fogo. Quando a barreira não é qualificada, isto é, não possui a resistência ao fogo classificada, a área deverá ser ampliada até encontrar fronteiras com características de barreira corta-fogo.

A análise de incêndio é feita em seis fases bem definidas, implementadas em cada uma das áreas de incêndio ou zonas de incêndio, são elas:

- Coleta de dados;
- Análise do desenvolvimento do incêndio;



- Análise das conseqüências do incêndio;
- Avaliação das condições de proteção contra incêndio da instalação;
- Considerações sobre as necessidades de melhorias de proteção contra incêndio;
- Repetição da análise.

A análise de incêndio tem sido aplicada em instalações nucleares, em especial usinas nucleares, como um importante elemento da implementação da proteção contra incêndio da planta. Em instalações em operação, esta técnica é usada para avaliar as possíveis deficiências dos sistemas de proteção contra incêndio, permitindo a adoção das melhorias necessárias, enquanto em instalações em estágio de projeto a análise permite identificar as possíveis falhas previamente, corrigindo-as ainda antes da sua construção (IAEA, SAFETY REPORTS SERIES No. 10, p.1, 1998).

A análise de incêndio pode ser realizada por técnicas determinísticas ou probabilísticas, a depender dos recursos técnicos e humanos disponíveis. A análise determinística é a que normalmente é requerida pelas autoridades reguladoras. No Brasil, a CNEN através das normas NN-2.03 e NE-2.04, recomenda a realização da análise de incêndio sem especificar qual técnica deva ser utilizada, devendo o proponente indicar o memorial de cálculos ou a ferramenta utilizada de modo a permitir a análise por aquele órgão. Comumente, entretanto, têm sido utilizado em nosso País o uso da técnica recomendada pela versão anterior da NN.203, em que se dispunha de um anexo guia de elaboração de uma análise determinística de incêndio.

Numa análise determinística algumas etapas são bem definidas, que serão abordadas a seguir:

### 2.2.5.1 Identificação dos perigos de incêndio e dos sistemas de segurança

A primeira etapa da análise de incêndio consiste da identificação dos riscos de incêndio e dos itens importantes de segurança da área de incêndio considerada. Isto passa por um completo levantamento de dados, iniciando-se pela verificação da documentação disponível sobre a construção, que inclui a identificação e características de barreiras corta-fogo, sistemas de ventilação e outros dispositivos. Nesta etapa deve ser feito o inventário do material combustível, o cálculo da carga de incêndio e identificação das fontes de ignição presentes. Os sistemas de proteção passiva e ativa são igualmente avaliados para verificar se as suas características permanecem de acordo com as características de projeto, garantindo assim a proteção da área em questão.

### 2.2.5.2 Análise do crescimento do incêndio

Para identificar o impacto do incêndio postulado para a área sobre os sistemas e as pessoas, deve ser realizada a análise do crescimento do incêndio e para isso devem ser consideradas as características físicas e químicas do material combustível presente. São adotadas técnicas subjetivas de análise do crescimento do incêndio, utiliza-se cálculos manuais ou modelos computacionais, podendo ainda utilizar-se a combinação dessas técnicas, a depender das características da instalação. Nesta fase, com base na carga de incêndio encontrada, devem ser calculadas a temperatura máxima e a duração do incêndio postulado para a área de incêndio em análise, dados importantes para entender as possíveis conseqüências do incêndio.

### 2.2.5.3 Adequação da proteção contra incêndio

Como resultado da análise do incêndio é possível verificar que sistemas de segurança estão mais vulneráveis aos efeitos do incêndio postulado para a área e assim implementar as melhorias necessárias. Nenhuma análise de incêndio deve ser considerada conclusiva em termos de melhorias necessárias, por isso deve ser realizada a revisão periódica da análise e assim identificar-se, num processo de aperfeiçoamento contínuo, novas melhorias que devem ser implementadas.

## 2.3 GESTÃO INTEGRADA DE SEGURANÇA

A visão sistêmica e integrada da segurança numa organização que lida com processos perigosos, como a nuclear, tem sido inspirada nos modelos desenvolvidos para as áreas de segurança, saúde e higiene ocupacional de outras organizações não nucleares, elaborados por organismos independentes de certificação, baseado nas normas ISO 9001 e ISO 14001, restritas à qualidade e a gestão ambiental. Este modelo, ao qual posteriormente foram incluídas as questões relacionadas à responsabilidade social através de norma específica, é atualmente respaldado pela norma OHSAS 18.001, emitida pela Occupational Health and Safety Assessment Series com o apoio da Organização Internacional do Trabalho (OHSAS, 1999). A vocação natural da agenda de certificação foi evoluir do produto para o processo, incluindo a segurança como um dos mais importantes pilares de sustentação, em especial em organizações em que a ocorrência de um acidente, além dos prejuízos humanos, materiais e ambientais, envolvem questões relacionadas à imagem do próprio negócio, como é o caso da indústria nuclear, fortemente impactada pela opinião pública e pela aceitabilidade da sociedade.

A certificação dos sistemas de gestão de segurança e saúde tornou-se assim possível com a edição da norma OHSAS 18.001, que veio preencher a lacuna deixada pela não publicação de uma norma específica sobre o tema pela International Organization for Standardization (ISO), conforme inicialmente se propunha. Naturalmente o pano de fundo que permitiu este avanço em relação aos padrões normativos, foi o modelo da globalização vigente, que criou um grau de interdependência sem precedente entre as organizações. No dizer de KLIKSBERG (1993, apud, OBADIA, 2004), “a globalização amplia as oportunidades, destruindo barreiras políticas e abrindo os mercados; porém, no mesmo tempo, maximiza as interdependências. Mais do que nunca, na história moderna, a sorte das organizações está ligada a fatores que vão muito além do seu âmbito de controle, e elas são obrigadas a sofisticar os seus sistemas de pensamento”.

Entretanto, a integração da área de segurança ainda é novidade para muitos profissionais que atuam nesta área. Isto porque os conceitos aos quais estão estruturadas essas idéias não fizeram parte do seu arcabouço de formação acadêmica ou porque pelas organizações por onde passaram não tiveram oportunidade de exercitarem este conceitos, visto que foram difundidos mais fortemente na última década. Assim, muitos profissionais da área de segurança, ainda que com formação técnica específica consolidada, não têm preocupação com a integração de suas competências com as demais competências da organização.

No dizer de PACHECO et al (2000), “antes de tentar consertar, a empresa deve consertar-se, criando um foco conceitual em todos os níveis organizacionais e pelo qual todos assumam as responsabilidades. No caso da área de segurança, medicina e higiene do trabalho, o consertar-se em termos de foco conceitual ocorre por meio de ações objetivas, estrategicamente planejadas dentro dos objetivos e metas organizacionais, viabilizando

mudanças de paradigmas que proporcionem trocar-se o *tem que fazer isto por esta é a maneira de fazer isto porque....Existiriam outras possibilidades benéficas para nossa organização?*”.

O mesmo autor citado anteriormente recomenda duas condutas de ação que devem ser adotadas pelos profissionais de segurança de modo a tornar a área parte integrante do processo produtivo, que resumimos a seguir:

- Buscar colocar-se numa posição de parceria organizacional, isto é, tirando a área de segurança do pedestal técnico e do isolamento relacional na organização, não se restringindo apenas às normas legais;
- Transformar a área de segurança em consultoria interna e coordenadora de seus processos e sistemas integrados à vida organizacional, uma facilitadora dos processos, que valorize a organização e seus trabalhadores e coordenadora integrativa, orientando na condução de práticas que beneficiem a todos.

A inserção, pois, da segurança no planejamento estratégico começa a ser uma realidade em muitas organizações. Mais uma vez PACHECO (op. cit.) sugere que essa interação já se deslumbre no momento em que se planeja as atividades, tendo o planejamento estratégico dinâmico e sistêmico, onde podem ser identificadas características peculiares das funções e assim tornando-as sistemicamente integradas.

Sob o ponto de vista estratégico é mais comum que as organizações relacionem a área de segurança aos aspectos internos da organização, visto que sua abordagem está em geral associada com os processos e as pessoas e assim o cumprimento da legislação pertinente. Entretanto, esta abordagem reducionista pode levar a conseqüências de longo prazo que afetem a organização como um todo, pois dependendo das condições requeridas ao longo do tempo e do contexto, pode afetar a própria funcionalidade da organização, como as relações entre

pessoas, a reestruturação tecnológica e as formas de produção, o que naturalmente terão impactos no macro ambiente, através dos produtos ou serviços disponibilizados e também na sua imagem.

Como já mencionado no início deste Capítulo, segurança no escopo deste trabalho, deve ser entendida num sentido ampliado, envolvendo ações que visam a proteção das pessoas, dos bens, dos processos e dos ambientes ocupacional e externo. Aqui a visão estrito senso da segurança dá lugar a uma visão holística, onde os resultados organizacionais advêm de uma confluência de fatores, externos e conjunturais, normalmente associados ao mercado, e internos ou processuais, associados aos que participam direta ou indiretamente na produção do bem ou serviço, independentemente da posição que ocupe na organização. Por isso, o planejamento estratégico deve incluir perspectiva relacionada à segurança, não tão somente pelas obrigações legais, mas principalmente pela necessidade de sobrevivência da organização no ambiente competitivo e globalizado que ela está inserida. Sobreviver no mundo competitivo passa a ser a principal função das organizações e segurança um dos seus sustentáculos.



**Figura 9:** Inter-relação entre segurança e o objetivo das organizações

**Fonte:** VIEGAS (2004)

No mapa estratégico da Figura 9 deve ajudar a perceber a relação entre a área de segurança, na base da pirâmide, e a sobrevivência da empresa como objetivo a perseguir. Observa-se que as funções qualidade, produtividade e competitividade, em geral tidas como fatores estratégicos primários, passam a ser dependentes dos resultados relacionados à segurança. Logo, no ambiente competitivo atual, as organizações, especialmente aquelas que lidam com processos perigosos, precisam priorizar a segurança por razões econômicas e não exclusivamente por questões legais e apelos sociais.

Talvez a maneira que mais evidencie a importância da segurança para a sobrevivência das empresas é quando esta se envolve com um acidente de magnitude tal que comprometa os seus negócios. REASON (1999, apud, OBADIA, 2004) listou alguns acidentes petroquímicos e suas conseqüências econômicas, conforme a Tabela 3.

**Tabela 3:** Perdas financeiras provocadas por grandes acidentes na indústria petroquímica

<b>Acidente</b>	<b>País</b>	<b>Perdas Financeiras (Libras)</b>
Piper Alpha	Reino Unido	2,5 bilhões
Exxon Valdez	EUA	3,5 bilhões
Sleipner A	Noruega	300 milhões
La Mede	França	260 milhões
Sodegaura	Japão	171 milhões
Croatzcoalcas	México	98 milhões

**Fonte:** REASON, apud OBADIA (2004).

Mesmo sem considerar as perdas humanas que estes acidentes produziram, as empresas responsáveis raramente conseguiram recuperar-se dos prejuízos causados.

A ocorrência de acidentes industriais têm sido fonte de aprendizado para pesquisadores que os estudam para entenderem os fatores associados e suas causas. Historicamente estes acidentes têm permitido, embora pareça um contra-senso, a evolução da própria prevenção, porque fizeram desenvolver inicialmente as medidas mitigadoras relacionadas ao meio, ou seja, os dispositivos de proteção dos sistemas, os recursos técnicos inibidores e o surgimento de processos mais seguros, e mais recentemente fizeram emergir a percepção de que fatores relacionados ao homem e por extensão às organizações contribuem para a sua ocorrência.

O setor nuclear também tem tido sua experiência com acidentes de grande repercussão, onde os fatores humanos e organizacionais são apontados como as principais causas. OBADIA, (op. cit.), organizou algumas informações referentes a dois destes acidentes a partir de dados levantados por REASON (1999), LLORY (1999) e de documentos da AIEA, apresentadas na Tabela 4.

**Tabela 4:** Informações resumidas e simplificadas sobre os acidentes nucleares de TMI e Chernobil

Acidente	Impacto	Avaliação das causas		Aprendizado
		Análise oficial	Análise ampliada	
TMI	Acidente não fatal, com liberação limitada de radiação para a contenção. Milhares de pessoas evacuadas. Instalação inabilitada para uso comercial. Forte impacto negativo na opinião pública e no desenvolvimento do setor nuclear.	Erro humano	Falhas humanas induzidas por falha técnica e por problemas de concepção da sala de controle	Percepção da importância das interfaces homem/sistema.  Origem de abordagens de fatores humanos.  Enfoque sociotécnico.



C H E R N O B I L	Acidente fatal e catastrófico. Liberação de radiação para o meio ambiente, atingindo diversos países da Europa, ocasionando mortes e lesões graves, com possibilidade de danos à saúde em longo prazo. Forte impacto negativo na opinião pública e no desenvolvimento nuclear.	Erro humano incluindo violações de procedimentos operacionais de condições de segurança.	Erros humanos ocasionados por problemas em diversos fatores organizacionais associados com segurança.  Problemas de projeto.	Percepção da importância dos fatores humanos e organizacionais.  Fortalecimento do enfoque sociotécnico.  Conceito de cultura de segurança.
---	--	--	--	---

**Fonte:** OBADIA (2004).

Naturalmente é possível que outros acidentes nucleares, alguns deles descritos neste trabalho como os incêndios de Browns Ferry e Chernobil - 2, tenham tido na sua causa-raiz a participação de fatores humanos e organizacionais. Isto posto, reforçaria a tese da gestão como um dos fatores a ser valorizado nos programas de proteção contra incêndio dessas instalações.

Em estudo realizado pela AIEA através do Incident Reporting System -IRS, onde diversos eventos ocorridos em usinas nucleares foram relatados, dos 66 eventos relacionados a incêndios e explosões, 52 incluíam como causas associadas a deficiência de operação, o maior número dentre as outras causas verificadas, como deficiência de projeto, deficiência de construção, deficiências relacionadas ao atendimento de requisitos de qualidade e falta de procedimentos de emergência. Isto demonstra que os fatores humanos estão fortemente presentes em eventos relacionados a incêndio em instalações nucleares (IAEA-TECDOC-1421, 2004).

Evidencia-se pelo que já foi descrito que numa instalação nuclear a proteção contra incêndio tem um caráter especial e isso passa não apenas pelos aspectos técnicos, mas de uma maneira particular pelos organizacionais. As diversas funções da segurança numa instalação

nuclear são desempenhadas por profissionais que possuem origens e características de formação distintas. Seus perfis nem sempre permitem observar a segurança como um sistema. Tendem alguns destes profissionais a enxergarem suas atividades a partir de uma perspectiva particularizada do problema. A radioproteção, formada por físicos, engenheiros com especialização no assunto e técnicos em radioproteção, focam na problemática da radiação, no controle da dose a que estão expostos os trabalhadores, no controle das fontes de radiação, no rejeito gerado e na emissão de radionuclídeos para o ambiente. Embora essas funções sejam típicas da área de segurança do trabalho e da saúde ocupacional, de modo geral os profissionais dessas áreas não interagem suficientemente com os da radioproteção, privilegiando aspectos de prevenção dos acidentes convencionais, da higiene do trabalho, com a implementação dos programas específicos e em alguns casos da proteção contra incêndio, quando esta não está vinculada a área de proteção física, que, por sua vez, tem como perfil característico de seus profissionais a formação militar ou da área de informações. A gestão integrada das diversas áreas encontra, portanto, a natural resistência pelo fato das visões que estes profissionais têm do que seja segurança nem sempre é coincidente. Assim, torna-se imprescindível um modelo que congregue de forma sistêmica todas funções da segurança, preservando, evidentemente as especificidades que cada área possui.

O evento incêndio, passível de ocorrer em qualquer parte da instalação, requer a atuação de profissionais das mais diversas áreas, integrados à brigada de incêndio ou às demais equipes de controle das emergências. Se o incêndio ocorrer num local onde exista a possibilidade envolver fontes radioativas é necessária a participação da radioproteção; se a presença de material salvaguardado (urânio e plutônio) ou equipamentos sensíveis, é possível que seja necessária a participação da proteção física para garantir o controle desse material

evitando que caia em mãos de pessoas desautorizadas; na hipótese de haver contaminação com material radioativo carregados pela fumaça ou agente de combate ao incêndio, a equipe de proteção ambiental poderá ser necessária para fazer a avaliação e adotar medidas mitigadoras do impacto. E assim outros processos, como saúde ocupacional e segurança do trabalho, têm sua participação garantida. A proteção contra incêndio torna-se assim um fator integrador dos processos de segurança numa instalação nuclear.

## CAPÍTULO 3

### 3 CAMPO DO ESTUDO DE CASO

#### 3.1 INTRODUÇÃO

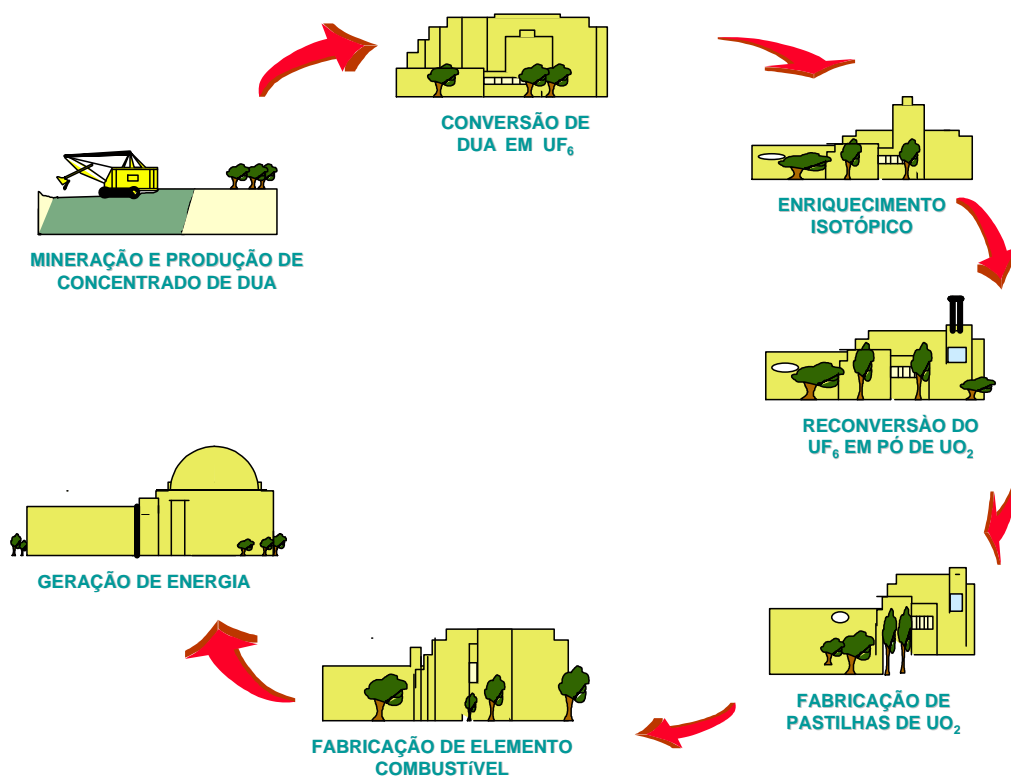
As instalações para beneficiamento de urânio (fabricação de pó e pastilhas de dióxido de urânio) pertencente às Indústrias Nucleares do Brasil (INB), localizada em Resende no Rio de Janeiro, integra um complexo de instalações daquela empresa de economia mista que inclui ainda o enriquecimento isotópico do urânio e a montagem do elemento combustível nuclear utilizado para abastecer as usinas nucleares brasileiras.

A escolha dessas unidades para referendar esta pesquisa se deveu às características peculiares das Fábricas de Pó e Pastilhas da INB, onde pelas peculiaridades das atividades ali desenvolvidas, o risco nuclear, radiológico e de incêndio estão presentes, além dos problemas ambientais e de proteção física que igualmente devem ser considerados.

Naturalmente os riscos relacionados à proteção contra incêndio serão objetos de considerações especiais, pela natureza deste trabalho.

#### 3.2 CICLO DO COMBUSTÍVEL NUCLEAR

O Ciclo do Combustível Nuclear é o conjunto de etapas do processo industrial que transforma o mineral urânio, desde quando encontrado em estado natural até a geração de energia, conforme ilustrado na Figura 10.



**Figura 10:** Esquema do Ciclo do Combustível Nuclear

Fonte: CASTRO (2005)

A fabricação do combustível nuclear é uma das etapas do ciclo do combustível nuclear que começa com a prospecção e beneficiamento do minério contendo urânio, etapa esta que vem sendo desenvolvida pela INB em Caetité, estado da Bahia. Após esta fase, o concentrado de urânio é transformado em hexafluoreto de urânio (UF<sub>6</sub>), fase esta ainda não feita comercialmente no Brasil. A etapa seguinte, o enriquecimento, consiste do aumento da concentração do isótopo de urânio 235, normalmente na natureza encontrado numa taxa de 0,7%, para uma concentração de, aproximadamente 3,5%, necessária para a utilização em reatores de potências de usinas nucleoeletricas, como é o caso das Usinas Angra I e Angra II.

A etapa de enriquecimento isotópico é a tecnicamente mais complexa, está em vias de ser implementada comercialmente no Brasil pela INB em Resende, com tecnologia desenvolvida pelo Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN), da Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN), e a Marinha do Brasil, através do Centro Tecnológico da Marinha em São Paulo (CTMSP).

Na seqüência, para a fabricação do elemento combustível, etapa final do processo, é necessário que o urânio enriquecido, sob a forma de  $UF_6$ , seja reconvertido em dióxido de urânio ( $UO_2$ ), pó do qual, depois de compactado, são fabricadas as pastilhas, que encapsuladas em tubos de liga de zircaloy, constituem o arranjo final do elemento combustível nuclear.

O complexo industrial da INB em Resende possui quatro unidades de produção integrantes do ciclo do combustível nuclear, sendo três já em operação e uma em fase de testes. As unidades integram dois conjuntos de construções denominados Fábrica do Combustível Nuclear (FCN) – Unidade I e Fábrica do Combustível Nuclear (FCN) – Unidade II. Na FCN – Unidade I ocorre a montagem do elemento combustível, já em pleno funcionamento desde 1982 e na FCN-Unidade II ocorre a reconversão do  $UF_6$  em pó de  $UO_2$  e a fabricação de pastilhas de  $UO_2$ , de igual modo em pleno funcionamento. Ainda no mesmo prédio, em fase final de conclusão, abriga a primeira fase da unidade da INB para enriquecer o urânio, a Fábrica do Combustível Nuclear (FCN) - Enriquecimento, pelo processo de ultracentrifugação.

As instalações objeto de análise para o presente estudo foram as unidades da Fábrica do Combustível Nuclear (FCN)-Reconversão e a Fábrica do Combustível Nuclear (FCN)-Pastilhas, ambas integradas num mesmo prédio, adaptadas no edifício originalmente construído para abrigar a Usina de Enriquecimento de Urânio pelo processo jato centrífugo, processo este descontinuado.

As instalações da FCN-Reconversão e FCN-Pastilhas integram assim o complexo de instalações no site da INB em Resende, que conta, além das instalações da FCN-Unidade I, com instalações onde abrigam as atividades administrativas, tais como gerência de segurança, qualidade e meio ambiente, onde estão suportados os processos de segurança do trabalho, proteção radiológica e proteção ao meio ambiente; gerência administrativa, onde estão ligados os processos de proteção física e proteção contra incêndio, com o objetivo de atender todas as instalações do complexo.

### 3.3 DESCRIÇÃO DO PROCESSO DE RECONVERSÃO E DE FABRICAÇÃO DE PASTILHAS DE $UO_2$

As instalações-alvo de nosso estudo são as fábricas de reconversão e de produção de pastilhas, que denominamos de FCN-Reconversão ou Fábrica de Pó e FCN-Pastilhas, instaladas num único prédio que inicialmente fora construído para abrigar a unidade de enriquecimento isotópico pelo processo jato-centrífugo então desenvolvido pelo programa nuclear do Brasil com a Alemanha, posteriormente descontinuado.

A escolha das Fábricas de Pó e Pastilhas como referência para nosso trabalho se deveu a peculiaridade de seu processo, pois se trata da fase do ciclo do combustível nuclear onde ocorre o processamento químico do urânio já enriquecido, o que, do ponto de vista de risco de incêndio envolvendo material nuclear, torna-se o mais crítico na fabricação do combustível nuclear, pois além do processo em si envolver os riscos comuns de uma planta química, o fato de lidar com material físsil em quantidades criticamente plausíveis, constitui uma condição

peculiar, onde riscos radiológicos, ambientais, incêndio, e os riscos relacionados a proteção física estão presentes, constituindo-se em uma situação ideal para o objeto deste trabalho.

A descrição do processo de fabricação de pó e de pastilhas de  $\text{UO}_2$  a seguir foi baseada no trabalho elaborado por CASTRO (2005). As Fábricas de Pó e Pastilhas de  $\text{UO}_2$  operam em sistema de batelada de produção e o processo está dividido nas seguintes etapas:

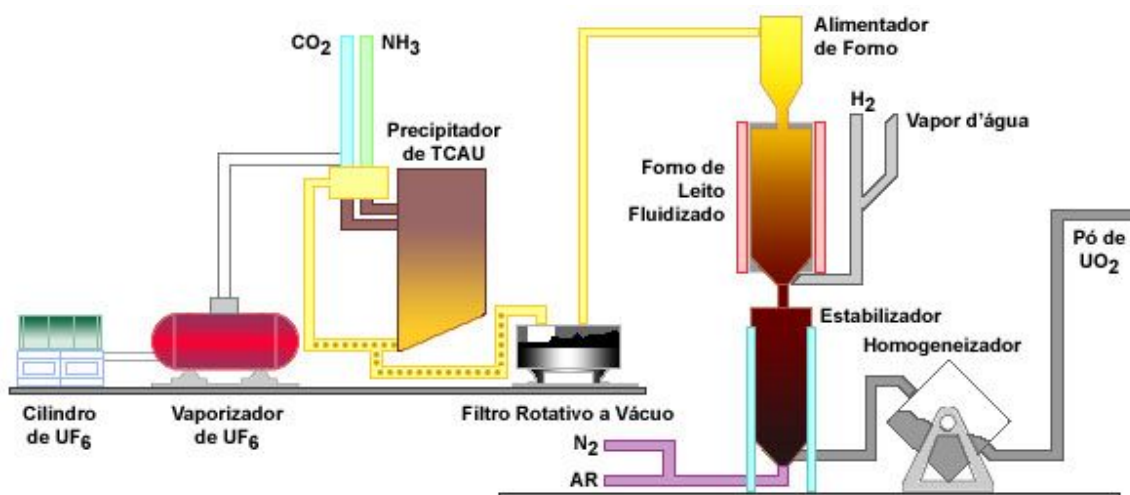
- Recebimento e qualificação dos cilindros de  $\text{UF}_6$ ;
- Vaporização de  $\text{UF}_6$ ;
- Precipitação de  $\text{NH}_4(\text{UO}_2\text{CO}_3)_3$  - tricabornato de amônia e uranila - TCAU;
- Filtro Rotativo;
- Forno de Leito Fluidizado;
- Estabilizador;
- Homogeneizador;
- Peneiramento
- Prensa Rotativa;
- Forno de Sinterização;
- Retífica; e
- Tancagem.

### **3.3.1 Reconversão**

A FCN- reconversão ou Fábrica de Pó é uma unidade destinada à produção de Pó de Dióxido de Urânio [ $\text{UO}_2$ ], utilizando o processo de via úmida, operando com capacidade variável entre 120 e 160 ton/ano, conforme a flutuação das demandas.



O esquema de produção de pó de  $UO_2$  está apresentado na Figura 11 e detalhadamente descrito a seguir:



**Figura 11:** Esquema da fabricação do pó de  $UO_2$

Fonte: CASTRO (2005)

### 3.3.1.1 Recebimento e Qualificação dos Cilindros de $UF_6$

A matéria-prima para a produção de  $UO_2$  é o hexafluoreto de urânio ( $UF_6$ ). Este material, com um enriquecimento em  $^{235}U$  de no máximo 5,0%, chega à Fábrica do Combustível Nuclear - Unidade II, em cilindros contendo no máximo 2.277 kg de  $UF_6$ .

Os cilindros de  $UF_6$  são estocados em um pátio a céu aberto, localizado ao sul do prédio de produção. Este pátio tem o piso construído de uma laje retangular, com caimento em quatro “águas” divididas pelas suas diagonais. A drenagem de cada “água” é encaminhada para um poço de coleta para posterior monitoração.

O objetivo da divisão do pátio de estocagem é que se porventura ocorrer vazamento do conteúdo de algum cilindro, este será detectado através da monitoração das águas retiradas nos poços de coleta, e dessa forma o quadrante cujo respectivo poço esteja contaminado será

coberto com tecido impermeável, garantindo assim a não ocorrência de contaminação nas águas pluviais efluentes deste pátio.

Os cilindros contendo  $UF_6$  (à temperatura ambiente de  $25^\circ C$ , na forma sólida), são inspecionados quanto à contaminação externa. Depois de terminados os procedimentos de qualificação, os cilindros são armazenados na sala de estocagem provisória (capacidade máxima de 03 cilindros), aguardando seu envio para o circuito de vaporização.

O conjunto berço de transporte/cilindro é introduzido no interior da autoclave, por içamento e posterior movimentação em sistema de trilhos. O cilindro é acoplado à autoclave através de mangueira flexível. A estanqueidade desta conexão é verificada através de teste de queda de pressão por cerca de 05 (cinco) minutos.

### 3.3.1.2 Vaporização de $UF_6$

Nessa etapa, o cilindro é introduzido no interior da autoclave e acoplado por mangueira flexível. A estanqueidade dessa conexão é verificada através de teste de queda de pressão (pressurização com  $CO_2$  a 6,0 bar). O cilindro é aquecido com vapor saturado até cerca de  $100^\circ C$ , onde o  $UF_6$  é liquefeito. O vapor de  $UF_6$ , acima da camada líquida, é então misturado a uma corrente pré-aquecida ( $100^\circ C$ ) de gás carbônico [ $CO_2$ ] e amônia [ $NH_3$ ]. Isto permite que não seja necessário o uso de trechos aquecidos de tubulações, até o vaso precipitador, para evitar a dessublimação indevida do  $UF_6$ . Outra finalidade da pré-mistura  $UF_6/CO_2$ , é o favorecimento do escoamento do  $UF_6$  (vapor pesado) através das tubulações. O controle de qualidade de  $UF_6$  a ser alimentado no vaso precipitador é feito por diferença de peso no autoclave.

### 3.3.1.3 Precipitação de TCAU

A hidrólise do hexafluoreto de urânio ( $UF_6$ ) e a precipitação do tricarbonato de amônia e uranila,  $[NH_4(UO_3(CO_3)_3)]$  também denominado de TCAU, ocorre em vaso precipitador despressurizado, aberto na parte superior e com seção horizontal retangular, onde a espessura é um fator geométrico de anti-criticalidade. O precipitador é alimentado inicialmente com água carbonatada (pré-carga), sendo o restante completado com água desmineralizada, de tal forma, que após ter sido concluída a transferência de toda a carga de  $UF_6$ , a suspensão de TCAU fique com uma concentração de urânio em torno de 250 g/L. (no máximo 400 g/L).

Completada a pré-carga, inicia-se a recirculação desta através de injetores, com a finalidade de eliminar qualquer obstrução dos mesmos, para somente então iniciar a alimentação do  $UF_6$ ,  $CO_2$  e  $NH_3$  no precipitador sendo, também, iniciado o borbulhamento de ar pelo fundo do precipitador para evitar a sedimentação de precipitado. A precipitação é iniciada com hidrólise do hexafluoreto de urânio ( $UF_6$ ), proveniente da mistura  $UF_6 / CO_2$ , seguida de reação com o gás carbônico [ $CO_2$ ] e amônia [ $NH_3$ ], através de absorção no meio líquido circulante, para formação do  $NH_4(UO_2CO_3)_3$  - tricarbonato de amônia e uranila – TCAU (CASTRO, 2005).

### 3.3.1.4 Filtro Rotativo

A filtração do TCAU, em suspensão na solução aquosa de fluoreto de amônio ocorre em filtro de prato giratório à vácuo, com auxílio de metanol anidro.

A suspensão é bombeada do precipitador para os filtros. Este equipamento consta de um disco perfurado horizontalmente, com um rebordo elevado. Sobre o disco perfurado está o elemento filtrante de material plástico (polipropileno), onde a suspensão é distribuída

homogeneamente. O filtrado escoar sob a placa perfurada e é aspirado por um sistema de câmara e vaso separador de vácuo.

#### 3.3.1.5 Forno de Leito Fluidizado

A decomposição térmica do TCAU e subsequente redução para  $UO_2$  se processa em Forno de Leito Fluidizado. Este forno consiste em um reator vertical cilíndrico possuindo, na parte inferior, um leito poroso e uma válvula de descarga, e na parte superior, dois bancos de filtros e um dispositivo dosador de TCAU.

A redução é iniciada com a dosagem do TCAU e injeção de vapor d'água e hidrogênio. Para isso, o forno é aquecido até  $300^\circ\text{C}$ , com purga contínua de  $N_2$ . Logo após, eleva-se a temperatura e quando esta atinge  $400^\circ\text{C}$ , inicia-se a alimentação de vapor. No alcance de  $500^\circ\text{C}$  adiciona-se, também, o  $H_2$ .

#### 3.3.1.6 Estabilizador

Do forno, o pó quente de  $UO_2$  é descarregado para dentro do vaso de passivação (para oxidar o  $UO_2$ ), situado abaixo do forno. Este vaso tem seção cilíndrica e possui uma barra absorvedora de carboneto de boro, para controle de criticalidade.

No estabilizador, o pó de  $UO_2$  recebe a adição de  $N_2$  gasoso e as paredes são refrigeradas por mantas de água. Atingida a temperatura de  $80^\circ\text{C}$  interrompe-se a adição de  $N_2$  e água de refrigeração, e inicia-se a injeção de ar limpo.

Após o início de injeção de ar, a temperatura interna do vaso aumenta devido a característica exotérmica da reação. Quando a temperatura atinge  $85^\circ\text{C}$ , a injeção de ar é interrompida, sendo o  $N_2$  novamente injetado no vaso e a água de resfriamento é circulada pela

manta externa. Após a redução de temperatura para 80°C, retoma-se o processo de passivação com nova injeção de ar. Após alguns destes ciclos, a temperatura não mais se eleva, e o processo é terminado.

#### 3.3.1.7 Homogeneizador

Para prover a peletização com matéria-prima de propriedades mais constantes, torna-se necessária a homogeneização. Nesta etapa também é adicionado o  $U_3O_8$ .

O pó de  $UO_2$  é transferido do vaso de passivação (estabilizador) para tambores de armazenamento, e daí, pneumaticamente, para os homogeneizadores, os quais, mediante rotação, homogeneizam o pó de  $UO_2$  com o  $U_3O_8$ . Os homogeneizadores são projetados para receber, no máximo 2200 kg de  $UO_2$ .

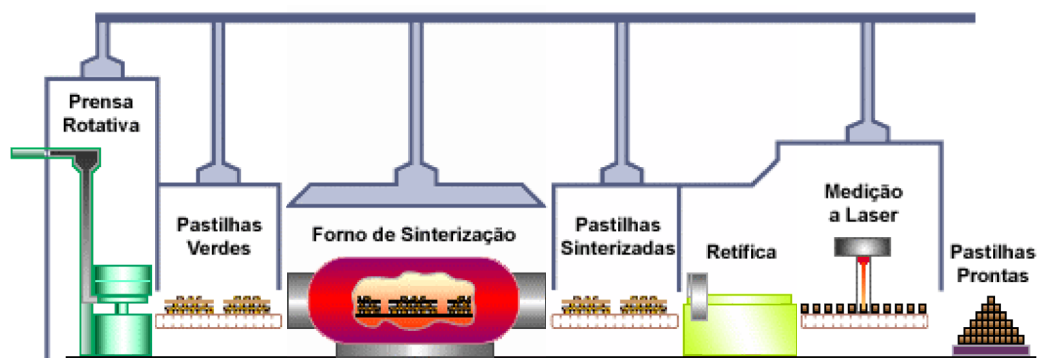
Os homogeneizadores são recipientes quadrados, com geometria anti-crítica, e dimensões de 3,5 x 3,5 metros e espessura de 0,15 metros. Nas suas faces maiores são colocadas placas de Cádmiu, com 0,7 mm de espessura, para absorver nêutrons.

### 3.3.2 Fábrica de Pastilhas

A FCN-Pastilhas destina-se à produção de pastilhas de  $UO_2$ , com o objetivo de atender à demanda de elementos combustíveis para as centrais nucleares do tipo PWR de Angra I e Angra II, ou similares, destinadas à produção de energia elétrica e/ou outras finalidades no campo do uso pacífico da energia nuclear.

O material produzido na Fábrica será o  $UO_2$ , em pastilhas. Estas pastilhas, após aprovação nos testes dimensionais, metalográficos e químicos pertinentes estarão aptas a atender, como elementos combustíveis, às centrais nucleares do tipo PWR.

O esquema de produção de Pastilhas de  $\text{UO}_2$  está apresentado na Figura 12 e descrito a seguir:



**Figura 12:** Esquema das etapas da fabricação de pastilhas de  $\text{UO}_2$

**Fonte:** CASTRO (2005)

### 3.3.2.1 Prensa Rotativa

O pó de  $\text{UO}_2$  ou a mistura de  $\text{UO}_2 / \text{U}_3\text{O}_8$  é transportada pneumáticamente, via Caixa de Acoplamento do homogeneizador para a peneira. Lá, o pó é separado do ar de transporte por um ciclone e alimenta a peneira vibratória. O pó classificado com  $\phi < 100 \mu\text{m}$  é recolhido nas câmaras do depósito elevado da Prensa e, através de uma válvula rotativa, via sapata de enchimento, é levado às matrizes da prensa. Nesta fase do processo, as pastilhas são chamadas de "pastilhas verdes". O pó com  $\phi > 100 \mu\text{m}$  é levado para a estação de peneiramento, onde são quebrados, novamente classificados e, posteriormente, reintroduzidos no homogeneizador.

### 3.3.2.2 Forno de Sinterização

As "pastilhas verdes", ainda relativamente frágeis, são encaminhadas ao forno de sinterização, cuja temperatura é de  $1750 \text{ }^\circ\text{C}$ , em processo semelhante ao da fabricação de

cerâmicas, onde adquirem resistência (ou endurecimento) necessária às condições de operação a que serão submetidas dentro do reator de uma usina nuclear.

### 3.3.2.3 Retífica

O sistema de retificação de pastilhas de  $UO_2$  é constituído por um dispositivo de alimentação contínua de pastilhas, um equipamento de retificação, uma seção de controle dimensional e inspeção visual e um dispositivo de retirada e arrumação de pastilhas.

Após a etapa de sinterização, as navetas contendo as pastilhas são transportadas em carro próprio para este fim, para a mesa de carga da retifica. Nesta etapa as navetas são desmontadas e o conteúdo de cada bandeja é transportado para um prato giratório que direciona as pastilhas para um trilho transportador. Após estar neste trilho, as pastilhas, formando uma coluna contínua, passam pela retificadora. Para que sejam atendidas as exigências da especificação de diâmetro de  $8,05 \pm 0,01$  mm x 10 mm, todas as pastilhas sinterizadas sofrem uma retificação do diâmetro. Em geral, é retirado de 0,15 a 0,25 mm em um só passe na retificadora.

## 3.4 PROTEÇÃO CONTRA INCÊNDIO DAS FABRICAS DE PÓ E PASTILHAS

Os dispositivos de proteção contra incêndio existentes nas Fábricas de Pó e Pastilhas são formados por sistemas passivos, representados pela divisão dessas instalações em Áreas de Incêndio cujos limites são constituídos por barreiras corta-fogo, tais como paredes corta-fogo, portas corta-fogo e demais dispositivos com características de resistência ao fogo, e por sistemas de proteção ativa, representados pelos sistema de proteção por extintores, sistema de

água para combate a incêndio, aí incluindo a rede de hidrantes e os caminhões de bombeiros, sistemas de detecção e alarme de incêndio, as brigadas de incêndio representadas pela Brigada Central de Incêndio (BCI) e a Brigada Interna de Apoio da Unidade II (BIA-II), além dos dispositivos de comunicação, como ramais telefônicos, rádios transeptores e sistema de viva-voz.

### **3.4.1 Sistemas Passivos de Proteção**

O sistema de proteção passiva da Unidade II consiste da divisão da instalação em 56 Áreas de Incêndio, sendo algumas delas subdivididas em Zonas de Incêndio, unidades essas utilizadas para a realização da Análise de Incêndio (INB, PPI-II, 2000). As barreiras corta-fogo consistem de paredes, lajes, pisos, executados em concreto armado e alvenaria, e fire dampers e portas corta-fogo nas fronteiras dessas áreas. Não foram calculados os tempos de retardo previstos para as barreiras corta-fogo, de acordo com a Análise de Incêndio, mas pelas características construtivas verificadas, espera-se tempos superiores há 120 minutos, o que de acordo com a norma NBR 14.432 (ABNT, 2000) equivale a classe P5, aplicada à indústrias, com altura da edificação superior a 30 m, o que não é o caso.

A Análise de Incêndio demonstrou que a maior carga de incêndio na parte interna da Unidade II é o local destinado às atividades administrativas, onde foi encontrado o valor de 245 MJ/m<sup>2</sup>. Nos locais onde existem materiais nucleares, as cargas de incêndio calculadas estão a níveis inferiores a 50 MJ/m<sup>2</sup>, com duração do incêndio inferiores há 20 minutos, o que demonstra a baixa concentração de material combustível nestes locais, reduzindo significativamente a severidade do incêndio. As barreiras existentes são, portanto,



suficientemente resistentes para suportar o incêndio postulado nestas áreas, por tempo suficiente até que os meios de proteção ativa entre em operação.

### 3.4.2 Sistemas Ativos de Proteção

O sistema de proteção ativa através de extintores de incêndio portáteis e sobre-rodas da Unidade II obedece a quantificação e distribuição prevista na Norma CNEN-NE-2.04 (CNEN, 1997). Tal critério, próprio para instalações do ciclo do combustível nuclear, é mais restritivo do que as outras referências utilizadas para quantificação de extintores no Brasil, como a Norma NBR 12.693 da ABNT (ABNT, 1993) e a Norma Regulamentadora n° 23 do Ministério

**Tabela 5:** Quantidade de extintores de incêndio nas Fábricas de Pó e Pastilhas

<b>Tipo de Extintor</b>	<b>Quantidade</b>
Extintor de CO <sub>2</sub>	156
Extintor de Água	12
Extintor de Pó Químico Seco	15
Extintor de CO <sub>2</sub> de 10 kg sobre rodas	10
Extintor de CO <sub>2</sub> de 45 kg sobre rodas	6
Extintor de PQS de 50 kg sobre rodas	2

**Fonte:** INB - PPI-II (2000)

As quantidades de extintores de incêndio instalados nos dois pavimentos das unidades são indicados na Tabela 5, onde pode se constatar que os critérios quanto a quantificação indicados na Norma da CNEN citada foram seguidos.

A INB em Resende, através dos integrantes da Brigada Central de Incêndio (BCI) mantém um programa de manutenção dos extintores, que inclui inspeções rotineiras, recargas e testes hidrostáticos destes equipamentos.

O sistema de água para combate a incêndio é composto por rede de hidrantes cuja reserva técnica, com capacidade de 170 m<sup>3</sup>, é capaz de atender ao sistema por 60 minutos. A pressurização é feita através da bomba elétrica principal, bomba auxiliar a diesel e bombas jockey, utilizadas para manter a pressão residual na rede. O hidrante em posição mais desfavorável, isto é, cuja rede possui a maior perda de carga, é capaz de suprir uma pressão de 4,6 bar, com vazão de 1.900 l/mim. A rede de hidrantes formada por hidrantes externos com duas saídas de 2 ½” de diâmetro, tendo ao lado armário de aço destinado a abrigar os materiais de combate (mangueiras, esguichos e chaves de mangueiras); hidrantes internos com duas saídas de 1 ½”, contendo ainda duas mangueiras de incêndio de 1 ½” e esguichos de vazão regulável, perfaz um total de 29 hidrantes, capazes de garantir o combate com água a qualquer ponto da instalação. Entretanto, no interior das fábricas de Pó e Pastilha, nos locais onde ocorrem o processamento ou armazena o material nuclear, não é previsto o uso de água para combate a incêndio por restrições técnicas, pois o uso deste agente em locais onde existe material nuclear implica na possibilidade de ocorrência de evento crítico, além das implicações relacionadas à contaminação por material radioativo. Sendo assim, os hidrantes internos cobrem as áreas do prédio onde não existem restrições do uso de água, como setores da administração, oficinas, laboratórios, corredores etc.

O sistema de água para combate a incêndios é complementado por dois caminhões auto-bomba tanque, contendo cada 7.000 litros, operado pela Brigada Central de Incêndio (BCI), ficando um permanentemente estacionado nas proximidades da Unidade II e o outro na sede da BCI, há cerca de 2 minutos do local.

O sistema de detecção e alarme é composto por laços de detectores iônicos e termovelocimétricos, ligados a um painel central de alarme instalado na Central de Comunicações, que é monitorada 24 horas por dia, operada por integrantes da proteção física.

A Unidade II mantém uma brigada de incêndio denominada Brigada de Incêndio de Apoio (BIA-II), constituída por operadores e outros empregados daquela instalação, com um total de 14 integrantes, divididos em quatro turnos. A BIA é treinada pela Brigada Central de Incêndio (BCI) e tem como principal função prestar o primeiro combate aos princípios de incêndios que venham ocorrer no local. Por sua vez, para atender todo o complexo industrial da INB em Resende, é mantida a Brigada Central de Incêndio, constituída por bombeiros profissionais orgânicos e contratados, que se revezam em turnos, num total de 5 integrantes por plantão.

A sede da Brigada Central de Incêndio (BCI) fica há cerca de 2 minutos da Unidade II e possui, além do caminhão auto-bomba tanque, um veículo de apoio auto-meios, uma ambulância, bombas rebocáveis, carreta de pó químico rebocável, equipamentos diversos para salvamento e resgate e de proteção, incluindo vestimentas especiais e equipamentos autônomo de respiração.

O Plano de Proteção Contra Incêndio da Unidade II possui ainda em anexo procedimento específico de combate a incêndio elaborado de acordo com o sistema de qualidade da INB, que consiste da descrição da forma de atuação dos integrantes das brigadas, descrevendo ainda como deve ser o acesso às áreas de incêndio e o meios que devem ser utilizados para o combate ao incêndio no local.

### 3.4.3 Incêndios postulados para a Unidade II

De acordo com os dados constantes no Plano de Proteção Contra Incêndio da Unidade II (INB, PPI-II, 2000) da instalação, foram postulados diversos tipos de incêndios para o local. Dentro da unidade, se destaca o incêndio postulado para a sala onde se encontra o forno de sinterização, em função da presença de hidrogênio e de material nuclear. A quantidade de hidrogênio, entretanto, previsto para circular no processo de sinterização, na hipótese de escapar para o ambiente, não é suficiente para tornar a sala explosiva, visto que a concentração máxima calculada foi de 2,8%, abaixo, portanto, do limite inferior de inflamabilidade do hidrogênio. Como medida adicional de proteção, foram instalados sensores de explosividade, que em caso de vazamento acionam o fechamento das válvulas de alimentação de hidrogênio e o dispositivo de inundação por nitrogênio, para coibir qualquer possibilidade de explosão no local.

Foram postulados ainda incêndios em locais como a área onde estão localizados os filtros rotativos, em função da utilização de metanol para a secagem do TCAU, o forno de leito fluidizado e no lavador de gases, devido a presença de hidrogênio. Para estes possíveis acidentes, foram previstas proteções por sistemas de inundação por CO<sub>2</sub>, acionados automaticamente, além do bloqueio do sistema e a utilização de extintores portáteis.

Na parte externa da Unidade II, foram postulados incêndios no pátio de tancagem, envolvendo as 10 toneladas de GLP armazenadas, hidrogênio, inventariado em 17 m<sup>3</sup>, e metanol. Como medidas de proteção, foram instalados sistemas de bloqueio de vazamentos de GLP e H<sub>2</sub>, contenção em diques, no caso do metanol, e canhão de jato de água e sistema de água do tipo *water spray* para proteger os tanques de metanol e GLP.

### 3.5 GESTÃO DE SEGURANÇA NA INB

As Indústrias Nucleares do Brasil -INB é uma empresa vinculada à CNEN e subordinada ao Ministério de Ciência e Tecnologia, criada em agosto de 1988 como substituta das Empresas Nucleares Brasileiras S. A. (Nuclebrás). A sua constituição fez parte de um conjunto de medidas que teve por objetivo aproximar as atividades dos dois programas nucleares então existentes, um oriundo do acordo mantido com a Alemanha e o outro implementado a partir de competência adquirida no próprio País, o chamado Programa Autônomo (INB Ano 15, 2003).

Embora sendo uma empresa relativamente nova, seu patrimônio e pessoal foi herdado da sua antecessora Nuclebrás, o que permitiu a continuidade dos programas em andamento e o avanço em outros programas pela clara definição dos papéis a ser desempenhado pelas organizações integrantes do setor nuclear no Brasil. Caba à INB, portanto, o desenvolvimento e a produção do combustível nuclear.

No complexo industrial da INB em Resende estão as principais instalações industriais da empresa, onde são desenvolvidas as atividades como maior valor agregado. De uma maneira especial, na Unidade II, desenvolve-se duas importantes fases do ciclo do combustível nuclear, a reconversão e a fabricação de pastilhas de  $UO_2$ , como já descritos em 3.3. Do ponto de vista econômico e tecnológico, essas atividades começa a render dividendos, inclusive no mercado internacional, conforme indicado no último relatório anual da empresa:

O ano foi marcado também pela produção de um total de 41.010,554 quilos de pó de  $UO_2$  e 36.006,790 quilos de pastilha de  $UO_2$ . Desse total, 1.474,790 quilos de urânio em forma de pó de  $UO_2$ , enriquecido a 2,5% e 3,2%, foram exportados para a empresa Combustíveis Nucleares da Argentina (Conuar). Vale ressaltar, também, entre outras atividades, a fabricação e comercialização de peças de alta tecnologia exportadas para a Westinghouse e o marco histórico da entrega do milésimo elemento combustível fabricado em Resende”. (INB, Relatório Anual de 2004, 2005).

O compromisso da INB com as questões de segurança em suas em suas ações, já presentes nos primórdios de sua formação, na década de setenta do século passado, ainda sob a denominação de Nuclebrás. Já naquela época, a empresa buscou inspirar-se nas melhores práticas de então para constituir seus processos relacionados à segurança, saúde e meio ambiente, tendo feito *benchmarking* com Furnas Centrais Elétricas e a Petrobrás quando da estruturação do modelo de gestão a ser implantado na empresa em formação. Naquela oportunidade, quando as idéias de sistemas integrados de gestão ainda eram incipientes e pouco praticadas, a empresa dispunha de uma assessoria de segurança empresarial, vinculada a direção em sua sede no Rio de Janeiro, de onde se originavam todas as diretrizes para a holding e suas coligadas.

Por ser uma empresa com características peculiares, tanto em termos de objetivos quanto em termos da singularidade dos seus processos de produção, a INB sempre esteve atenta às recomendações dos órgãos reguladores nacionais e internacionais, fato evidenciado quando da verificação da documentação de licenciamento junto à CNEN, onde se observou que foram atendidas desde os primórdios de sua fundação, ainda sob a designação de Nuclebrás, as diversas etapas prevista no referido processo e ainda constatou-se a preocupação em termos de manutenção desta mesma documentação atualizada.

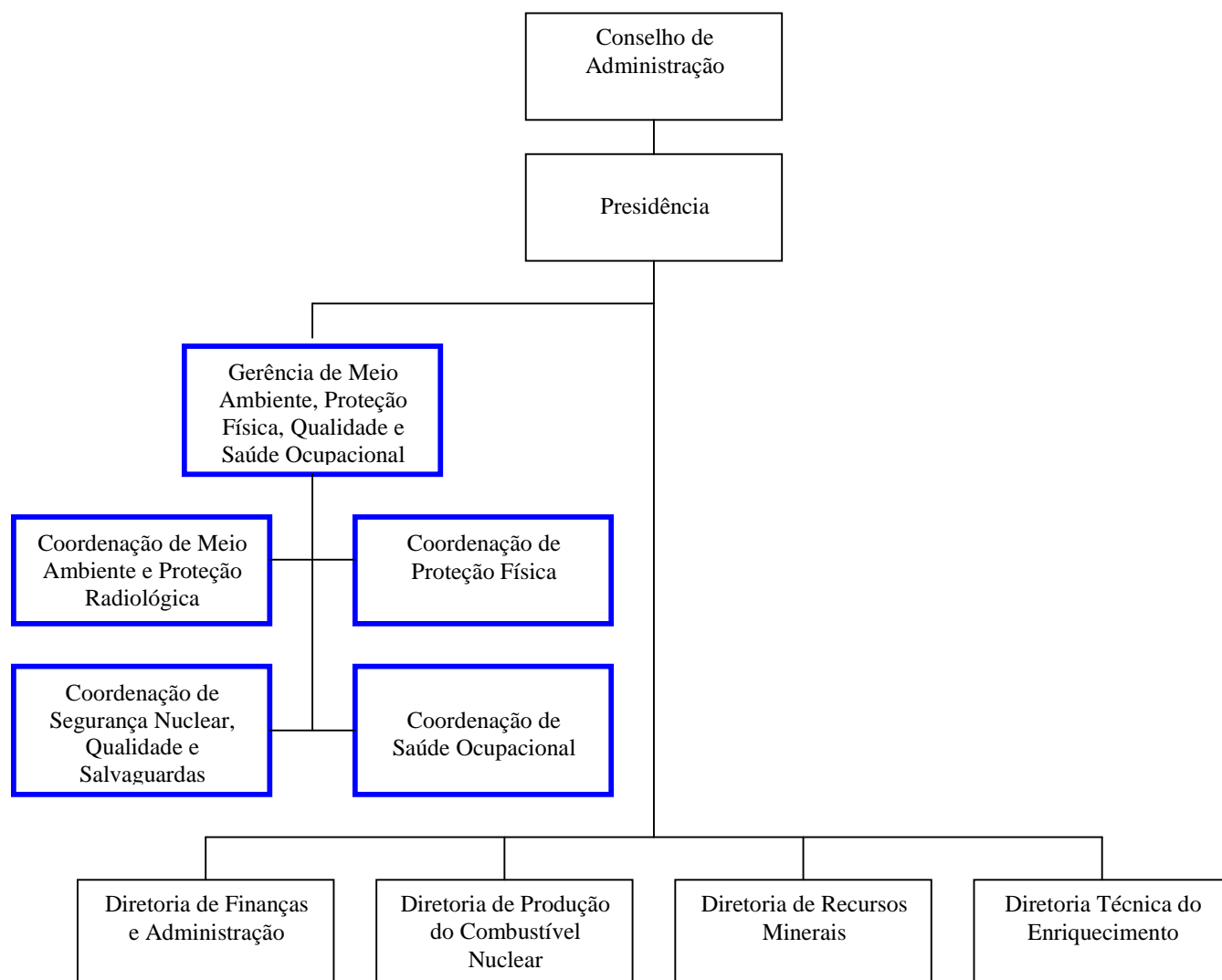
No que se refere ao compromisso institucional com as questões relacionadas à segurança, independentemente do cumprimento dos aspectos legais, algumas evidências foram igualmente identificadas. Como exemplo, a Diretoria Executiva da INB em seu relatório anual de 2003, destaca o compromisso que a direção tem assumido com as questões de segurança na empresa. Assim resume os membros da diretoria na mensagem que abre o referido relatório:

Consideramos fundamental, também, ressaltar os projetos relacionados à área de meio ambiente e saúde ocupacional, que temos procurado desenvolver tendo em vista a responsabilidade social e o compromisso com o desenvolvimento sustentável. Neste sentido, a empresa mostra-se atenta ao contínuo aprimoramento do desenvolvimento ambiental das suas unidades industriais, aplicando os necessários procedimentos de controle e salvaguardas e respeitando rigorosamente as normas nacionais e internacionais de segurança (INB, Relatório Anual de 2003, 2004).

A direção da INB evidencia às partes interessadas, empregados, clientes e fornecedores, o seu compromisso com os aspectos de segurança quando declara este princípio no seu relatório de atividades. Este comprometimento explícito torna-se na atualidade uma das principais ferramentas da gestão de riscos pois exime os dirigentes do chamado silêncio dos executivos, que segundo LLORY ao refletir sobre o papel dos dirigentes diante da ocorrência de acidentes: “se o trabalho dos operadores é questionado na ocasião dos acidentes, depois, fora dos acidentes, no campo da prevenção, o que dizer do trabalho dos executivos nos sistemas de riscos?. Vemo-nos diante do que chamamos, em termos metafóricos, de silêncio dos executivos” (LLORY, p. 305, 1999).

Outra importante demonstração de como a INB valoriza a área de segurança pode ser entendida com a inclusão da empresa na Rede Internacional de Segurança das Indústrias do Ciclo do Combustível (INSAF), em 2004, durante congresso internacional da entidade realizado em dezembro daquele ano, na Coreia do Sul (INB - Relatório Anual de 2004, 2005). A experiência que advirá com esta troca de valores com empresas similares permitirá, ao que tudo indica, o aperfeiçoamento das práticas relacionadas à segurança na empresa.

A INB demonstra ainda este compromisso quando na sua estrutura apresenta, em todos os níveis, instâncias gerenciais para atendimento aos processos relacionados a segurança, conforme pode ser evidenciado nas figuras 13, 14 e 15.



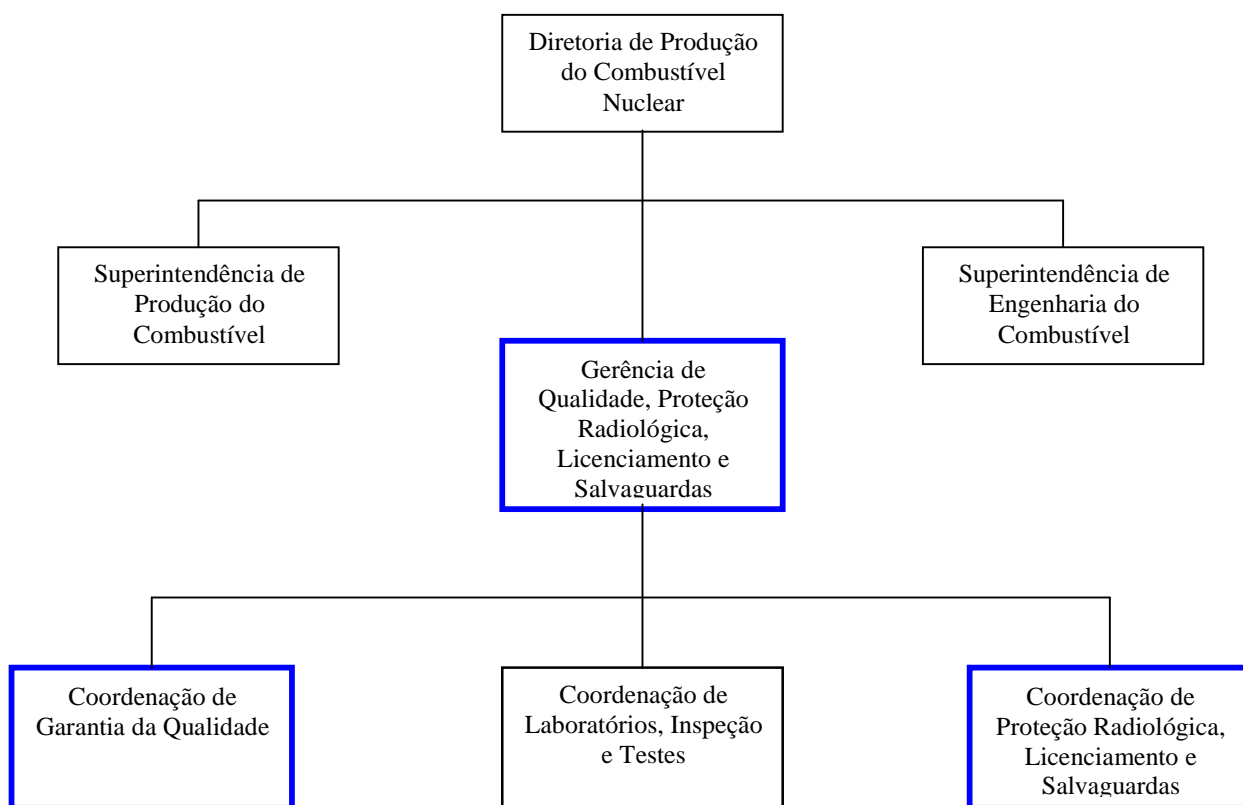
**Figura 13:** Organograma funcional nível estratégico

**Fonte:** INB - ORGANOGRAMA, adaptado (2005)

No nível estratégico, diretamente ligado a presidência da empresa, a INB em sua sede no Rio de Janeiro, conta com uma gerência de meio ambiente, proteção física, qualidade e saúde ocupacional, subordinada a qual estão as coordenações correspondentes. Essa configuração estrutural, onde junto ao mais alto nível da organização a representação dos



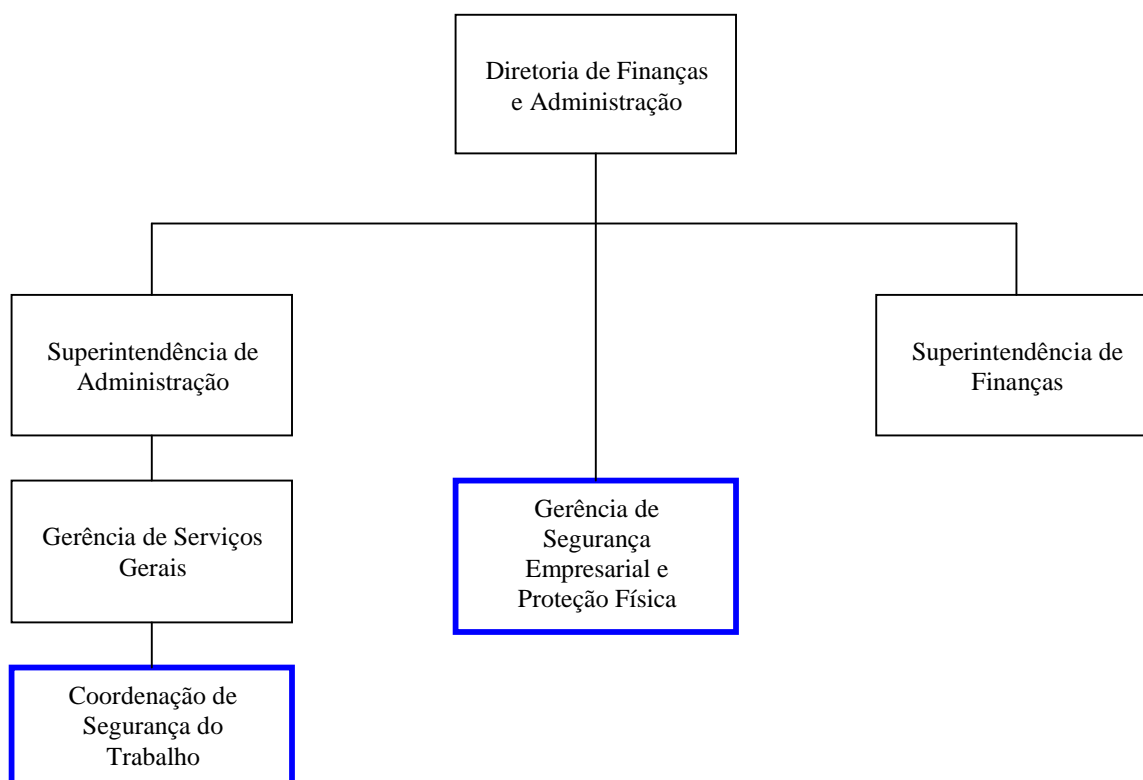
processos de segurança se faz presente, permite agilidade nas decisões e tratamento adequado às questões relacionadas, aos conflitos comuns existentes entre segurança e produção.



**Figura 14:** Organograma funcional nível tático-operacional – produção

**Fonte:** INB - ORGANOGAMA, adaptado (2005)

No nível tático, subordinada diretamente à diretoria de produção do combustível nuclear, a INB em Resende mantém uma gerência de qualidade, proteção radiológica, licenciamento e salvaguardas, à qual estão ligadas três coordenações, duas delas diretamente relacionada à função segurança. Esta estrutura atende ao complexo industrial da INB em Resende, porem não abrange todos os processos de segurança indicados para instalações nucleares. Os processos segurança do trabalho, incluindo proteção contra incêndio, e proteção física, estão ligados a uma outra diretoria, conforme poderá ser visto a seguir.



**Figura 15.** Organograma funcional nível tático-operacional – administração

**Fonte:** INB - ORGANOGAMA, adaptado (2005)

As funções proteção física e segurança do trabalho estão ligadas à diretoria de finanças e administração, diretamente ou através da gerência de serviços gerais. Percebe-se que há um desnível estrutural entre estas duas funções. Por sua vez estas importantes atividades de segurança, especialmente a de segurança do trabalho, que tem em seus quadros profissionais em geral mais qualificados em termos do entendimento conceitual da importância do sistema integrado de segurança, não se relacionam, ao menos estruturalmente, com as demais funções de segurança, o que constitui um obstáculo à integração. As atividades de serviços gerais, por mais nobres que sejam, não compartilha dos mesmos interesses que a segurança do trabalho, tanto em termos de objetivos, bem como competências e mesmo linguagem. Isto nos permite imaginar que a atual estrutura da área de segurança da INB em Resende se torna vulnerável.

A INB, ainda, nas suas unidades em Resende no Rio de Janeiro, mantém uma estrutura de atendimento às emergências onde participam operadores e pessoal de manutenção, como voluntários e os integrantes das equipes de segurança. Nas fábricas de Reconversão e de Pastilhas de UO<sub>2</sub>, por exemplo, a Brigada de Incêndio de Apoio da Unidade II (BIA-II) presta o atendimento inicial e é posteriormente apoiada pela Brigada de Incêndio da Instalação, responsável pelo atendimento de todo o complexo, além de outras equipes, como radioproteção, proteção física e atendimento médico, que igualmente se deslocam durante um incêndio para integrarem o esforço de combate ao sinistro, sempre sob a orientação de um coordenador de emergência, cujo perfil contempla as competências das áreas sob sua supervisão. Esta integração, ainda que ocasional, permite-se constatar o quanto é importante numa organização com a complexidade da nuclear, uma estrutura que permita

utilizar canais de informações livres e desobstruídos, tanto de cima para baixo (*top-down*) quanto de baixo para cima (*bottom-up*).

## **CAPÍTULO 4**

### **4 CONTEXTUALIZAÇÃO DO TEMA**

#### **4.1 INTRODUÇÃO**

Este capítulo aborda o ambiente pesquisado para a confirmação da hipótese testada, com a descrição da metodologia utilizada e o levantamento dos dados a serem posteriormente analisados.

Através da revisão bibliográfica foi percebido que o campo do ambiente pesquisado possui as características necessárias para a compreensão das inter-relações das questões de segurança e que a proteção contra incêndio numa instalação nuclear tem a importância necessária e por isso a sua gestão eficiente pode ser um fator integrador da segurança como um todo.

De acordo com o descrito no Capítulo 3, as instalações da INB onde foram realizadas a pesquisa, possuem as características ideais para a análise pretendida, pois os vários aspectos de segurança envolvidos numa instalação nuclear estão presentes.

#### **4.2 MÉTODO DE TRABALHO**

Para a realização do trabalho de campo foram escolhidos dois métodos de levantamento de dados. Um, através da aplicação de formulário de pesquisa onde o universo objeto do estudo foram os trabalhadores das unidades da INB em Resende que atuam nas

atividades relacionadas à segurança, como os empregados da Coordenação de Engenharia de Segurança, incluindo os da Brigada Central de Incêndio, da Gerência de Segurança Empresarial e Proteção Física, da Coordenação de Radioproteção e da Coordenação de Qualidade; e outro, através de entrevistas semi-estruturadas dos gestores dos processos relacionados à segurança.

Com esta metodologia, o que se pretendeu foi identificar na percepção dos atores envolvidos com a segurança, como é percebido o tema gestão integrada de segurança e a sua importância para a melhoria do desempenho da segurança como um todo em instalações deste tipo.

Optou-se por uma metodologia de pesquisa envolvendo análises qualitativas por se tratar de uma amostra reduzida e com características peculiares quanto a sua distribuição. Desse modo, a interpretação dos fenômenos ocorreu de forma indutiva, onde a fonte de coleta de dados foi o ambiente onde os fenômenos se desenvolveram.

A pesquisa de campo buscou responder três questões-chave, na visão dos empregados da empresa diretamente ligados ao processo segurança que atuam no nível operacional:

Questão-chave 1: como a INB está comprometida com os aspectos de segurança?

Questão-chave 2: como interagem os setores que atuam com segurança na INB?

Questão-chave 3: como a INB se relaciona com os órgãos reguladores dos aspectos de segurança?

As Questões-chave, propositadamente, têm três palavras centrais com grande significado para esta investigação: COMPROMETIMENTO, INTERAÇÃO e REGULACÃO. Comprometimento aqui envolve os três níveis: estratégico, tático e operacional. Interação, especialmente entre as equipes dos diversos setores que trabalham

diretamente com a segurança. E a regulação, considerando o arcabouço legal em que a atividade nuclear está inserida, implica no atendimento aos diversos órgãos reguladores, além dos já previstos para as demais organizações, mais especificamente a Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN), o Instituto Brasileiro de Recursos Naturais Renováveis (IBAMA) e o Corpo de Bombeiros.

A entrevista semi-estruturada buscou responder a quatro Questões-chave, igualmente de interesse para presente pesquisa por permitir perceber na perspectiva dos gerentes dos processos relacionados à segurança a importância da gestão integrada. Neste sentido o principal aspecto a ser investigado através das entrevistas foi o RELACIONAMENTO.

As Questões-chave pesquisadas foram:

Questão-chave A – como é o relacionamento dos gerentes com a suas equipes?

Questão-chave B – como os gerentes se relacionam entre si?

Questão-chave C – como os gerentes percebem a integração dos processos de segurança?

Questão-chave D – como os gerentes se relacionam com os órgãos reguladores (CNEN, IBAMA, Ministério do Trabalho e Emprego, Corpo de Bombeiros)?.

#### **4.2.1 Pesquisa**

Para a pesquisa de campo entre os colaboradores foi aplicado o Questionário para Pessoal Operacional, no Apêndice A, elaborado a partir do método de uso da escala Likert, que apresenta maior confiabilidade em relação a outros métodos quando se trabalha com números de questões reduzidos (GONÇALVES, 2003, apud HAYES, 1992).

O questionário foi elaborado com quinze afirmativas, cada uma com 5 opções de resposta, formatadas com a seguinte estrutura:

**Quadro 1** – Opções de Respostas do Questionário para Pessoal Operacional

<b>1</b>		Concordo
<b>2</b>		Concordo parcialmente
<b>3</b>		Concordo com restrições
<b>4</b>		Discordo
<b>5</b>		Desconheço

A distribuição aleatória das afirmativas por blocos temáticos alinhados às Questões-chave foi feita de maneira tal que o respondente não tomasse conhecimento prévio sobre o que se pretendia pesquisar, de maneira a obter respostas isentas de quaisquer influências que pudesse comprometer os resultados. Dessa maneira, as afirmativas 1, 7, 10, 12, 13, e 15 se associaram ao problema COMPROMETIMENTO, analisada na Questão-chave 1. As afirmativas 3, 4, 6, 8, 9 e 14 se relacionam à Questão-chave 2, que tem como centro de investigação a INTERAÇÃO e as afirmativas 2, 5 e 11 se relacionaram à Questão-chave 3 e objetivou avaliar a REGULAÇÃO, isto é a relação da INB com os órgão reguladores, na percepção dos empregados da INB que atuam em nível operacional nos processos de segurança.

No total foram aplicados 29 formulários, todos respondidos completamente pelos 29 empregados representantes das áreas de segurança, que conta com um total de 142 colaboradores orgânicos, isto é pertencentes aos quadros da INB, ou terceirizados, que constituiu a população pesquisada. A amostra representou, portanto, cerca de 20% da população pesquisada.

#### **4.2.2 Entrevista dos gestores**

Para a realização das entrevistas foi utilizado o Roteiro de Entrevistas Semi-Estruturada, no Apêndice B, e teve por objetivo avaliar a percepção dos gestores dos



processos relacionados à segurança, em especial no nível tático, sobre a importância da integração da segurança na INB, tendo como principal aspecto a ser observado o RELACIONAMENTO. Relacionamento do gestor com a sua equipe, com os seus pares gestores e da INB com os órgãos reguladores.

As entrevistas foram realizadas nos locais de trabalho dos entrevistados e além do roteiro, com o qual o entrevistador balizava a entrevista, foi utilizado o Formulário de Resposta de Entrevista Semi-Estruturada para a anotação das respostas, no Apêndice C.

No total foram entrevistados 7 gestores, cobrindo todas as áreas de segurança previstas neste trabalho. As respostas foram lançadas no formulário de resposta pelo próprio entrevistador, evitando assim que os entrevistados, preocupados ao elaborarem suas respostas, perdessem a espontaneidade e conseqüentemente induzissem a conclusões que não representassem a realidade dos fatos.

No formulário de respostas, a única identificação do entrevistado foi a indicação do setor onde trabalhava, com a marcação com um X em uma das 7 opções existentes, para caracterizar os processos a que estavam vinculados os entrevistados, tais como segurança do trabalho (ST), brigada de incêndio (BI), proteção radiológica (PR), proteção física (PF), meio ambiente (MA), saúde ocupacional (SO), e qualidade (QL).

## **CAPÍTULO 5**

### **5 ANÁLISE DOS RESULTADOS**

#### **5.1 INTRODUÇÃO**

Neste capítulo serão abordados os resultados obtidos com a pesquisa realizada entre os integrantes das equipes operacionais diretamente relacionados aos processos de segurança, aí incluído os técnicos da área segurança do trabalho, técnicos da área de radioproteção, meio ambiente, qualidade, integrantes da proteção física e os membros da Brigada Central de Incêndio. De igual modo, serão apresentadas as conclusões relacionadas às entrevistas realizados com os gestores dos processos de segurança.

#### **5.2 RESULTADOS OBSERVADOS**

Com base nos dados levantados, descritos no Capítulo 4, foram consideradas duas visões do problema da integração dos processos de segurança, que a seguir se descreve.

##### **5.2.1 Pesquisa com o pessoal operacional da segurança**

O questionário auto-aplicável foi organizado em blocos de interesse, de maneira a responder as Questões-chave indicadas no Capítulo 4. As afirmativas foram distribuídas de modo aleatório no formulário, visando evitar que o respondente fizesse qualquer associação ao objeto pesquisado na Questão-chave. Algumas afirmativas foram propositadamente

invertidas em relação à expectativa positiva de resposta, de maneira a, igualmente, evitar que fosse feita associação pelo respondente com o assunto pesquisado.

A partir das afirmativas agrupadas, relacionadas a cada Questão-chave pesquisada, foram elaborados três gráficos gerados com os resultados obtidos. Um dos eixos dos gráficos foi escalonado (muito positivo, positivo, pouco positivo, negativo e desconhece) para permitir verificar a aderência de cada afirmativa com a expectativa em relação ao assunto pesquisado.

A primeira Questão-chave investigada, representada pelas afirmativas 1, 7, 10, 12, 13 e 15 do questionário, buscou determinar o comprometimento da INB com a segurança em seus diversos níveis, na visão dos profissionais de segurança. Comprometimento assumido por todos os níveis da organização: as chefias imediatas, a direção e os próprios empregados.

As afirmativas relacionadas à Questão-chave são:

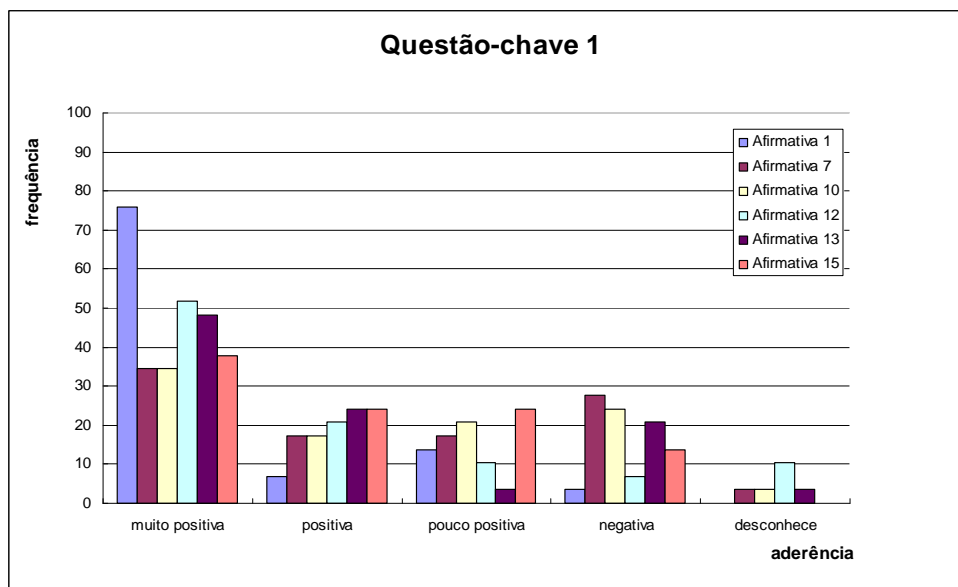
- Afirmativa 1 - Os chefes são os únicos responsáveis pela segurança.
- Afirmativa 7 - As atitudes da direção (Diretores, Gerência, Coordenação) demonstram comprometimento da INB com a segurança.
- Afirmativa 10 - Em meu local de trabalho eu sou estimulado a fazer sugestões em como melhor desempenhar as tarefas.
- Afirmativa 12 - Minha chefia considera a realização de auditorias e inspeções em meu setor como uma oportunidade de melhoria das condições de segurança na INB.
- Afirmativa 13 - A política de segurança da INB demonstra que segurança tem prioridade máxima.
- Afirmativa 15 - Em meu setor de trabalho as falhas ocorridas são discutidas livremente.

A afirmativa 1 foi posicionada de modo invertido em relação ao eixo de aderência. Com os resultados, observou-se que 75,9% dos respondentes da afirmativa 1 discordaram, demonstrando que o comprometimento com a segurança deve ser de todos e não apenas das

chefias. Esta conclusão é reforçada com o resultado da afirmativa 12, igualmente integrante deste grupo, onde ocorreram 51,7% de concordância.

As afirmativas 7 e 13 estão relacionadas ao comprometimento da direção. 34,5% dos respondentes da afirmativa 7 e 48,3% da 13 concordam com estas afirmações, acompanhados com percentuais expressivos de concordância parcial, evidenciando que a direção da INB expressa em suas ações para a maioria dos empregados de que é de fato responsável pela segurança na empresa. Por outro lado, o percentual dos que discordam dessas afirmativas, 27,6% e 20,7%, respectivamente, permite constatar que um grupo expressivo de empregados não percebe as evidências dessa responsabilidade.

As afirmativas 10 e 15 se relacionam ao comprometimento dos próprios empregados com o processo. Verificou-se que 34,5% e 37,9% dos respondentes, respectivamente, concordam e 17,2% e 24,1%, concordam parcialmente com a idéia de que os próprios empregados são também responsáveis pela segurança e por isso se comprometem com ela.



**Gráfico 1** – Aderência ao comprometimento com a segurança

O Gráfico 1 resume os resultados relacionados à Questão-chave 1 (COMPROMETIMENTO). Pela tendência a um resultado “muito positivo” na escala elaborada, pode-se inferir que na percepção dos empregados dos processos relacionados à segurança, a INB está comprometida com a segurança.

A segunda Questão-chave, representada pelas afirmativas 3, 4, 6, 8, 9 e 14 do questionário, teve o objetivo de verificar como interagem os setores que atuam com segurança na INB e portanto perceber qual a importância de uma maior integração como forma de melhorar o desempenho.

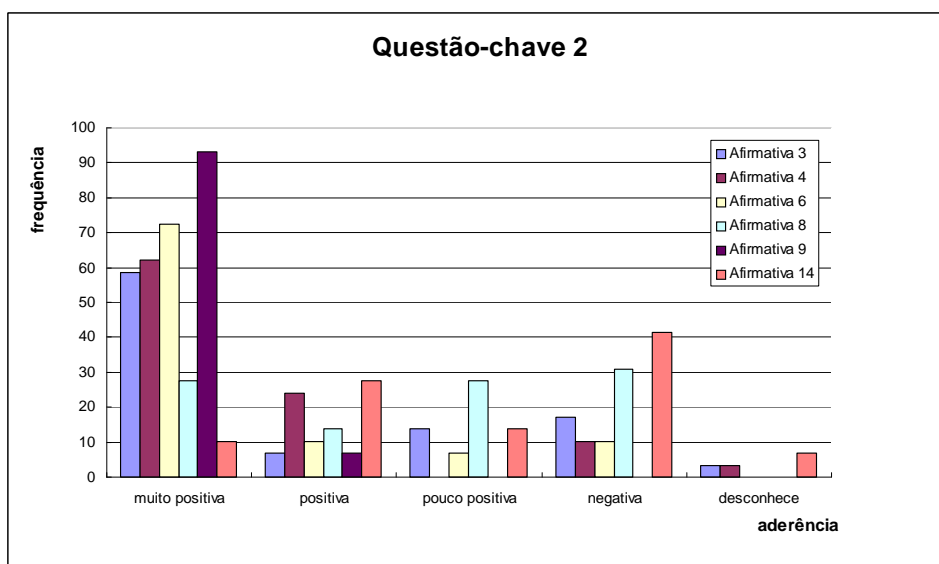
As afirmativas relacionadas a esta Questão-chave são:

- Afirmativa 3 - Incêndio é basicamente um problema da Brigada de Incêndio.
- Afirmativa 4 - Quando eu participo de um exercício de emergência, frequentemente me preocupo com o desempenho das demais equipes de segurança envolvidas na ação e não apenas com a equipe em que integro.
- Afirmativa 6 - As ações desenvolvidas pelo meu setor contribuem para o desempenho da segurança da INB independente da participação dos demais setores de segurança.
- Afirmativa 8 - O atendimento a uma emergência radiológica é uma preocupação exclusiva da equipe de radioproteção.
- Afirmativa 9 - Os treinamentos relacionados ao atendimento às emergências envolvem todas as equipes (Brigadas de Incêndio, Proteção Radiológica, Atendimento Médico, Proteção Física etc).
- Afirmativa 14 - Existem interações espontâneas entre os diferentes setores de segurança na INB.

As afirmativas 3, 4, 8 e 9 dizem respeito a necessidade de interação das equipes relacionadas ao atendimento de emergência na INB. As afirmativas 3 e 8 foram posicionadas invertidas em relação ao eixo de aderência. Observou-se que 58,6% discordaram da afirmativa 3, 62,1% concordaram com a afirmativa 4 e 93,1% com a afirmativa 9, indicando que na percepção da expressiva maioria dos respondentes, interação entre as equipes é muito

importante durante o atendimento de uma emergência. A afirmativa 8 diz respeito a necessidade de interação no atendimento de uma emergência radiológica, o que revelou a pesquisa uma distribuição normal dos respondentes, com 31,0% de concordância e 27,6% de discordância, o que pode significar um afastamento entre a área de radioproteção das demais áreas envolvidas com o atendimento às emergências na INB.

As afirmativas 6 e 14 referem-se às interações que devem ocorrer entre os diversos processos de segurança, em atividades diversas, independente das vinculadas ao atendimento às emergências. Uma expressiva maioria, representada por 72,4% dos respondentes, reconhecem ao concordarem que suas atividades são importantes para o desempenho dos demais processos de segurança, estarem dispostos a manterem estas colaborações. Por outro lado, 41,4% discordam que haja interações espontâneas entre estes processos, de acordo com a afirmativa 14, o que denota a necessidade de um esforço gerencial para incentivar estas colaborações.



**Gráfico 2** – Aderência à interação dos processos de segurança

No Gráfico 2 os resultados apresentados no gráfico refere-se à Questão-chave 2 (INTERAÇÃO). Os resultados indicam uma aderência “muito positiva” nas afirmativas relacionadas a este quesito, o que pode significar na visão dos respondentes que os diversos processos de segurança devam interagir mais fortemente.

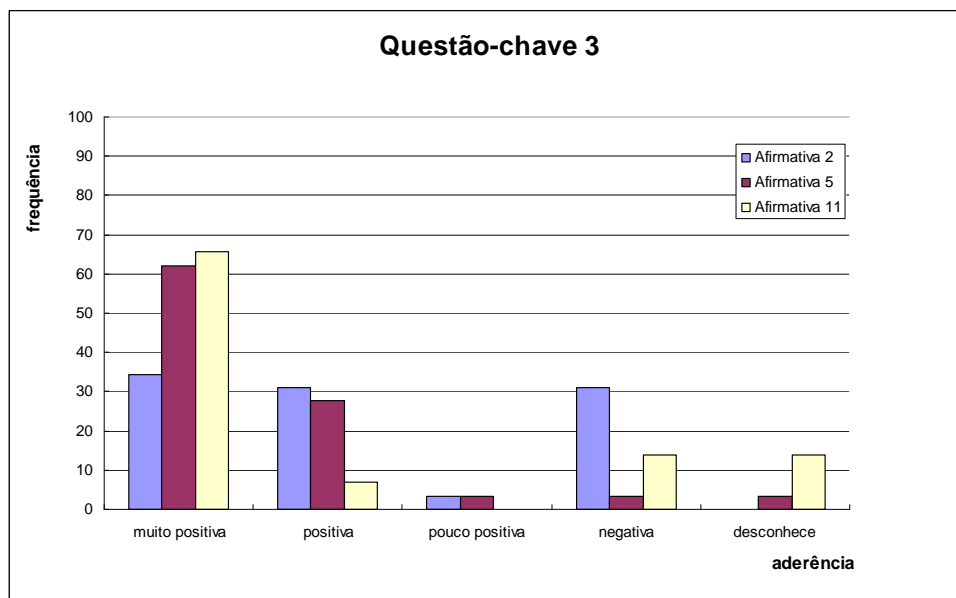
A terceira questão-chave, representada pelas afirmativas 2, 5 e 11 do questionário, teve o objetivo de verificar como a INB se relaciona com os órgãos reguladores, incluindo a CNEN, IBAMA, Ministério do Trabalho e Emprego e Corpo de Bombeiros, na visão dos profissionais que atuam nos setores que tratam dos processos de segurança.

As afirmativas relacionadas a esta questão-chave são:

- Afirmativa 2 - A ação dos órgãos reguladores e controladores (CNEN, IBAMA, Ministério do Trabalho, Corpo de Bombeiros) motiva a INB a uma tomada de atitude em relação aos problemas de segurança.
- Afirmativa 5 - O pessoal do meu setor se preocupa e valoriza o atendimento às recomendações das auditorias e fiscalizações dos órgãos reguladores e de controle (CNEN, IBAMA, Min. Trabalho, Corpo de Bombeiros).
- Afirmativa 11 - A INB mantém um relacionamento franco e aberto com os órgãos reguladores e de controle (CNEN, IBAMA, Min. Trabalho, Corpo de Bombeiros).

O resultados apresentados na afirmativa 2 demonstram um equilíbrio nas respostas dos trabalhadores quanto a postura da INB ao ser confrontada com os relatórios das auditorias, notificações e outras recomendações dos órgãos reguladores. 34,5% concordam e 31,0% concordam parcialmente que a empresa se mobiliza para atendimento às recomendações, enquanto 31,0% igualmente discordam. Por outro lado, ao responderem a afirmativa 5, 62,1% concordaram e 27,6% concordaram parcialmente que os setores onde trabalham valorizam as auditorias dos órgãos reguladores e consideram essa ação como importante para a melhoria de seus processos. Igualmente reconhecem os respondentes,

representados pelos 65,5% de concordância com a afirmativa 11 de que a INB mantém um relacionamento franco com estes mesmos órgãos.



**Gráfico 3** – Aderência com os compromissos com a regulação

A Figura 3 mostra os resultados relativos à Questão-chave 3 (REGULAÇÃO). Os resultados apontam para uma aderência “muito positiva” na maioria das afirmativas relacionadas a este quesito, à exceção da afirmativa 2, talvez por se tratar de uma aspecto relacionado a uma postura da organização de responsabilidade dos dirigentes. Este resultado indica que a INB, de um modo geral, tira proveito das ações dos órgãos reguladores dos assuntos de segurança para melhorar seu desempenho.

### 5.2.2 Entrevista semi-estruturada dos gestores

Foram escolhidos para participar da entrevista, os gestores dos processos de segurança, no nível tático. Participaram gestores das áreas de Brigada de Incêndio, Segurança



do Trabalho, Proteção Radiológica, Proteção Física, Meio Ambiente, Saúde Ocupacional e Qualidade.

As entrevistas foram organizadas em blocos de interesse, de maneira a responder as Questões-chave A, B, C e D previstas para este segmento da pesquisa, conforme indicadas no Capítulo 4.

O primeiro bloco de perguntas, representado pelas questões de 1 a 3, teve o objetivo de qualificar o entrevistado. Pode-se observar que a expressiva maioria possui nível superior, está na INB há mais de 10 anos e teve ascensão funcional durante o tempo em que trabalhou na empresa.

O segundo bloco de perguntas integra a Questão-chave A e diz respeito ao relacionamento dos gestores com a sua equipe. Todos os gestores entrevistados reconhecem que têm autonomia na gestão de seus processos e que exercem uma gestão participativa, ouvindo seus subordinados nas questões de interesse para as atividades que desempenham, aceitando as sugestões pertinentes.

Os terceiro e quarto blocos de perguntas integram as Questões-chave B e C, e estão associadas ao relacionamento percebido pelos entrevistados existentes entre os gestores dos processos de segurança e os seus pares. Os entrevistados foram unânimes em afirmar que não são realizadas reuniões que permitam a interação entre os gestores dos processos de segurança, a exceção das reuniões relacionadas à implementação do Plano de Emergência. Tal fato pode ser entendido por não existir na estrutura da organização uma coordenação capaz de realizar essa interação de modo sistematizado, justificando a menção do Plano de Emergência por todos os entrevistados como a única atividade em que se intensificam esta interface justamente por existir uma coordenação. Percebeu-se ainda que os eventuais

conflitos envolvendo processos de segurança são resolvidos com o diálogo direto entre os gestores dos processos envolvidos, visto que muitas vezes pertencem a ramos distintos do organograma funcional. As poucas interações existentes se referem ao apoio em termos de infra-estrutura e de pessoal, especialmente entre os membros da Brigada Central de Incêndio e as áreas de Meio Ambiente e Segurança do Trabalho.

O quinto bloco de perguntas do roteiro vincula-se a Questão-chave D, que pretendeu identificar o relacionamento entre a INB com os órgãos reguladores na percepção dos gestores dos processos de segurança. Percebeu-se uma forte tendência dos entrevistados a reduzirem os órgãos reguladores à CNEN e ao IBAMA, naturalmente pela presença mais efetiva desses órgãos nas instalações da empresa. De um modo geral os entrevistados relataram terem uma expectativa de maior cobrança por parte dos órgãos reguladores, o que na visão destes, possibilitaria uma resposta mais efetiva às demandas identificadas nas auditorias. No Apêndice C, consta um exemplo do formulário utilizado para as entrevistas semi-estruturadas com as respostas de um dos gestores de processos relacionados à segurança.

## **CAPÍTULO 6**

### **6 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

#### **6.1 INTRODUÇÃO**

Este capítulo apresenta a discussão final sobre as conclusões em torno dos objetivos propostos, em especial em relação à hipótese testada, qual seja de que a proteção contra incêndio numa instalação nuclear pode ser um fator integrador das demais áreas de segurança e, portanto, através dessa percepção é possível estabelecer um sistema de gestão integrada de segurança em organizações desse tipo.

#### **6.2 CONSTATAÇÃO DA HIPÓTESE PROPOSTA**

A percepção de que numa instalação nuclear as áreas de proteção radiológica, proteção do meio ambiente, segurança do trabalho, saúde do trabalhador, proteção contra incêndio, proteção física e qualidade possuem interfaces importantes, motivou a realização da pesquisa. A proteção contra incêndio, como um dos processos que permeia todas as atividades numa instalação nuclear, lhe confere importância especial e por isso foi escolhida como objeto de estudo.

Melhorar a relação entre as diversas áreas de segurança de uma instalação nuclear através da gestão eficiente do sistema integrado de segurança, é o resultado esperado. Para isso, foram identificados mecanismos que pudessem correlacionar a possível melhoria da

eficiência dos processos de segurança com a gestão eficiente do processo de proteção contra incêndio em instalações nucleares.

O recorte proposto por este trabalho buscou confirmar ou refutar as afirmativas abaixo, verificadas através de avaliação realizada na INB em Resende no Rio de Janeiro, utilizada para estudo de caso:

- A proteção contra incêndio numa instalação nuclear perpassa todas as demais áreas de segurança e daí a sua importância na elaboração do presente estudo.
- Numa instalação nuclear, mais ainda do que em outras organizações, a integração da gestão dos sistemas de segurança é um fator crítico de sucesso.
- A gestão adequada da proteção contra incêndio em instalações nucleares permite a melhoria das condições de segurança da instalação como um todo.
- A especificidade de cada uma das áreas de segurança, especialmente numa instalação nuclear, não permite uma maior integração entre elas.

### 6.3 CONCLUSÕES

Foi constatado que a proteção contra incêndio realmente permeia todos os demais processos de segurança numa instalação nuclear visto que, de acordo com os dados indicados no Capítulo 2, quando da revisão bibliográfica, o evento incêndio pode ocorrer em qualquer lugar da instalação e potencializar a ocorrência de acidentes nucleares, incluindo a emissão para o meio ambiente de material radioativo, agravando significativamente suas consequências. Por isso mesmo os órgãos reguladores do setor nuclear passaram então a valorizar o aspecto gerencial do sistema de proteção contra incêndio, ao constatarem, a partir

da ocorrência de incêndios em instalações nucleares, mais especificamente usinas nucleares, que as causas destes eventos tiveram relação com a gestão dos processos de segurança. Os fatores organizacionais passaram então a ganhar força e considerados como causas a serem investigadas.

Nas unidades para Reconversão (Fábrica de Pó) e Fábrica de Pastilhas da INB em Resende, usadas para verificação da hipótese, também se constatou que as atividades de proteção contra incêndio envolvem não apenas os integrantes do processo Brigada Central de Incêndio, mas vários outros atores, como o pessoal da operação e manutenção, integrantes da Brigada de Incêndio de Apoio da Unidade II (BIA-II), Proteção Física, Proteção Radiológica, Saúde Ocupacional, dentre outros, confirmando assim a dependência entre estes. Como exemplo, um incêndio na área estudada onde material nuclear estivesse presente, necessariamente envolveria, além do pessoal das brigadas, o pessoal da radioproteção, necessário para monitorar o acesso das equipes no local e controlar as doses a que as equipes estariam expostas, bem como possível contaminação de pessoal e ambiental. Envolveria ainda as equipes da Proteção Física, necessárias para controlar o acesso e garantir a segurança do material nuclear, da Proteção Ambiental, que em conjunto com a Proteção Radiológica, faria a avaliação do impacto do acidente no ambiente, por exemplo, e a Saúde Ocupacional, com a possível consequência para a saúde das pessoas. Sendo o incêndio um acidente, naturalmente que seria necessária a participação da Segurança do Trabalho ao menos para analisar o acidente. Um incêndio na instalação, sem dúvida, envolveria todos os processos de segurança.

Pelos resultados apresentados na pesquisa e nas entrevistas com os gestores, existe o reconhecimento por parte dos integrantes dos processos de segurança, incluindo as suas

lideranças, de que a integração da gestão da segurança na INB é uma necessidade e levaria a uma melhor eficiência.

A inexistência de uma liderança que congregue todos os segmentos da segurança, caracterizado pela estrutura organizacional onde os processos estão divididos em diferentes níveis e inclusive em diretorias diferentes, reflete a consistência dos resultados. Observou-se que este distanciamento é compensado pelo uso da estrutura informal, função do tempo em que as lideranças e empregados trabalham juntos nas unidades. Outro ponto de interação entre as equipes que motiva a realização de reuniões das lideranças é a preparação e os treinamentos das equipes de emergência, única oportunidade formal identificada de integração de todas as equipes.

A integração dos diversos processos de segurança, por certo, não é impedida pela especificidade que cada área possui, refutando, assim uma das afirmativas previstas neste trabalho. Embora cada processo de segurança numa instalação nuclear tenha competências específicas, se evidenciam, pelos resultados das pesquisas, a existências de muito mais razões para compartilhamento dos interesses do que o contrário.

#### 6.4 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

A pesquisa demonstrou que é necessário estabelecer condições dentro da INB para a integração dos processos de segurança. Uma possível medida é a reestruturação funcional, permitindo que todas as competências sejam geridas por uma única gerência nas suas unidades. É igualmente recomendável que, como já acontece atualmente na INB, no âmbito da alta direção da empresa, a existência de uma assessoria para aconselhar a direção sobre os

assuntos relacionados à segurança, mantendo um estreito relacionamento com as gerências das unidades descentralizadas.

O “olhar” dessa integração pela perspectiva da proteção contra incêndio não elimina outras possibilidades de investigação, o que possibilita a análise do problema sob o ponto de vista de outras áreas de segurança, como a proteção radiológica, meio ambiente, qualidade, dentre outras.

O trabalho identificou ainda como possibilidade para investigação futura, a padronização das ferramentas de atendimento aos requisitos dos diversos órgãos reguladores de instalações nucleares, considerando que, como o sistema integrado de gestão de segurança permite a otimização dos esforços dentro da organização operadora, não acontecendo o mesmo, entretanto, nos organismos reguladores por adotarem padrões normativos diferenciados.

A expectativa é que os resultados deste trabalho possam servir como reflexão sobre a gestão dos processos de segurança nas organizações que lidam com a tecnologia nuclear, como geradoras nucleoeletricas, que atuam no segmento do ciclo do combustível nuclear e centro de pesquisas nucleares.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14.432: Exigências de Resistência ao Fogo de Elementos Construtivos de Edificações – Procedimento**: Rio de Janeiro, 2000.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12.693: Sistemas de Proteção por Extintores de Incêndio**:. Rio de Janeiro, 1993.

ALBRIGHT, David; O'NEILL, Kevin. **The Lessons of Nuclear Secrecy at Rocky Flats**. Institute for Science and International Security, 1999. 3 p.

ARNOLD, Lorna. **Windscale 1957: Anatomy of a Nuclear Accident**. London: Macmillan, 1992.

BERTINI, H. W. **Descriptions of Selected Accidents that have Occurred at Nuclear Reactor Facilities**. Nuclear Safety Information Center, 1980.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. **Proteção Contra Incêndio**: norma Regulamentadora nº 23. Brasília, 1978.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. **Segurança e Medicina do Trabalho em Instalações Nucleares**: portaria nº 001. Brasília, 1982.

CASTRO, Marcelo Xavier. **Interpretação de Resultados de Monitoração Individual Interna de Trabalhadores da Fábrica de Combustível Nuclear – FCN**. Dissertação de Mestrado. Instituto de Radioproteção e Dosimetria – IRD, Rio de Janeiro, 2005.

CARRASCO, Andres Aznar. **Proteccion Contra Incêndio**. 2 ed. Madri: Alción, 1999. 512 p.

COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR (Brasil). **Licenciamento de Instalações Nucleares**: norma CNEN-NE-1.04. Rio de Janeiro, 1980. 20 p.

COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR (Brasil). **Proteção Física de Unidades Operacionais da Área Nuclear**: norma CNEN-NE-2.01. Rio de Janeiro, 1996. 21 p.



COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR (Brasil). **Proteção Contra Incêndio em Instalações Nucleares do Ciclo do Combustível**: norma CNEN-NE-2.04. Rio de Janeiro, 1997. 21 p.

COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR (Brasil). **Proteção Contra Incêndio em Usinas Nucleoelétricas**: norma CNEN-NN-2.03. Rio de Janeiro, 1999. 11p.

COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR (Brasil). **Diretrizes Básicas de Radioproteção**: norma CNEN-NN-3.01. Rio de Janeiro, 2004. 25 p.

CORPO DE BOMBEIROS DO ESTADO DE SÃO PAULO (CBESP). **Procedimentos para a Análise de Proposta de Proteção Contra Incêndio**: Instrução Técnica CB-005/33/97. São Paulo, 1997.

EISENBUD, M. **Environmental Radioactivity**, 1987.

ANSEWERS. **Windscale Reactor**. Endereço ftp: [www.ansewers.com/topic/windscale-fire](http://www.ansewers.com/topic/windscale-fire), acesso em outubro de 2005.

FERREIRA, Aurélio Buarque de Holanda. **Minidicionário Aurélio da Língua Portuguesa**. 4 ed. Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 1993.

GRIMES, Brian K. **Fire at Chernobyl Unit 2**: NRC Information Notice 93-7. U S Regulatory Commission. Washington, DC, 1993.

GONÇALVES, Telma Silva. **Aspectos do Erro Humano no Contexto da Manutenibilidade - Estudo de Caso: Ponte Rio/Niterói**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal Fluminense – UFF, Niterói, 2003.

IAEA INTERREGIONAL COURSE: **Fire Protection and Equipment Environmental Qualification on Nuclear Power Plant**. Chicago (USA); Toronto (Canadá), 1996.

INDÚSTRIAS NUCLEARES DO BRASIL (INB). **INB Ano 15, Uma História e Verde e Amarelo**. Rio de Janeiro, 2003.

INDÚSTRIAS NUCLEARES DO BRASIL (INB). **Relatório Anual 2003**. Rio de Janeiro, 2004.

INDÚSTRIAS NUCLEARES DO BRASIL (INB). **Relatório Anual 2004**. Rio de Janeiro, 2005.

INDÚSTRIAS NUCLEARES DO BRASIL (INB). **Plano de Proteção Contra Incêndio – Unidade II**. Resende, 2000. 8 p.

INDÚSTRIAS NUCLEARES DO BRASIL (INB). **Anexo ao Plano de Proteção Contra Incêndio – Unidade II – Análise de Incêndio**. Resende, 2000. 8 p.

INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY (IAEA). **Fire Protection in Nuclear Power Plants**: Safety Guides. Safety Series No. 50-SG-D2 (Rev. 1). Viena, 1992. 93 p.

INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY (IAEA). **Evaluation of Fire Hazard Analyses for Nuclear Power Plants**: Safety Practices. Safety Series No. 50-P-9. Viena, 1995. 38 p.

INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY (IAEA). **Treatment of Internal Fires in Probabilistic Assessment for Nuclear Power Plants**. Safety Reports Series No. 10. Viena, 1998. 77 p.

INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY (IAEA). **Preparation of Fire Hazard Analyses for Nuclear Power Plants**: Safety Reports Series No. 8. Viena. 1998. 64 p.

IAEA PROCEEDINGS OF SYMPOSIUM. **Fire Protection and Fire Fighting in Nuclear Installations**. Viena: IAEA, 1989.

LLORY, Michel. **Acidentes Industriais: O Custo do Silêncio**. 1 ed. Rio de Janeiro: Multimais Editorial, 1999. 316 p.

OBADIA, Isaac José. **Sistema de Gestão Adaptativo para Organizações com Tecnologia Perigosa: Cultura de Segurança como Pressuposto de Excelência Nuclear**. Tese de Doutorado. Coordenação dos Programas de Pós-Graduação de Engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2004.

OCCUPATIONAL HEALTH AND SAFETY ASSESSMENT SERIES. **Especificação para Sistemas de Gestão da Segurança e Saúde no Trabalho**. OHSAS 18.001, 1 ed. 1rev. Risk Tecnologia, São Paulo. 39 p.

PLA, E; PALLARES, J. P. **Vandellos 1 NPP. Dismantling at the Level 1**. HIFRENSA, Tarragona, 1996.

PLA, E. **Fire at Vandellos 1: Causes, Consequences and Problem Identified**. IAEA, Nuclear Fire Safety Seminar, Barcelona, 1994.

PACHECO, Waldemar; FILHO, Hypólito do Valle Pereira; PEREIRA, Vera Lúcia Duarte do Valle. **Gestão da Segurança e Higiene do Trabalho**. 1 ed. São Paulo: Atlas, 2000. 136 p.

PURINNGTON, G. Robert; PATTERSON, H. Wade. **Handling Radiation Emergencias**. NFPA, 1985.

SCOTT, R. L. **Browns Ferry Nuclear Power Plant Fire on Mar. 22, 1975**. Nuclear Safety, Vol. 17, No. 5, p. 592 - 601, 1979.

SHTEINBERG, Nicolai; JOOSTEN, James; ROUTHKINE, Seguei. **Fire at Chernobyl 2**. Nuclear Engineering Internacional, p. 118 - 122, 1992.

VIEGAS, L. A. **Sistema de Gestão Integrado de Segurança**:Nota de Aulas. Rio de Janeiro, 2004.

## APÊNDICES

## APÊNDICE A

**Universidade Federal Fluminense**  
**Mestrado Profissional em Sistemas de Gestão**

### QUESTIONÁRIO PARA PESSOAL OPERACIONAL DE SEGURANÇA

Este questionário refere-se a trabalho de pesquisa de Curso de Mestrado.

Sua participação nos será muito importante.

Não é necessária a sua identificação.

Responda as questões a seguir marcando com um x ao lado da resposta que melhor corresponde a sua opinião sobre o assunto indicado.

A expressão “segurança” aqui deve ser entendida no seu sentido amplo. Deve englobar segurança do trabalho, proteção contra incêndio, saúde ocupacional, proteção física, proteção radiológica e controle ambiental.

INB aqui deve ser entendida como as instalações da INB em Resende, englobando as unidades fabris e as unidades administrativas da empresa.

Contamos com a sua colaboração.

1. Os chefes são os únicos responsáveis pela segurança.

<b>1</b>	<input type="checkbox"/>	Concordo
<b>2</b>	<input type="checkbox"/>	Concordo parcialmente
<b>3</b>	<input type="checkbox"/>	Concordo com restrições
<b>4</b>	<input type="checkbox"/>	Discordo
<b>5</b>	<input type="checkbox"/>	Desconheço

2. A ação dos órgãos reguladores e controladores (CNEN, IBAMA, Min. Trabalho, Corpo de Bombeiros) motiva a INB a uma tomada de atitude em relação aos problemas de segurança.

<b>1</b>	<input type="checkbox"/>	Concordo
<b>2</b>	<input type="checkbox"/>	Concordo parcialmente
<b>3</b>	<input type="checkbox"/>	Concordo com restrições
<b>4</b>	<input type="checkbox"/>	Discordo
<b>5</b>	<input type="checkbox"/>	Desconheço

3. Incêndio é basicamente um problema da Brigada de Incêndio.

1	<input type="checkbox"/>	Concordo
2	<input type="checkbox"/>	Concordo parcialmente
3	<input type="checkbox"/>	Concordo com restrições
4	<input type="checkbox"/>	Discordo
5	<input type="checkbox"/>	Desconheço

4. Quando eu participo de um exercício de emergência, freqüentemente me preocupo com o desempenho das demais equipes de segurança envolvidas na ação e não apenas com a equipe em que integro.

1	<input type="checkbox"/>	Concordo
2	<input type="checkbox"/>	Concordo parcialmente
3	<input type="checkbox"/>	Concordo com restrições
4	<input type="checkbox"/>	Discordo
5	<input type="checkbox"/>	Desconheço

5. O pessoal do meu setor se preocupa e valoriza o atendimento às recomendações das auditorias e fiscalizações dos órgãos reguladores e de controle (CNEN, IBAMA, Min. Trabalho, Corpo de Bombeiros).

1	<input type="checkbox"/>	Concordo
2	<input type="checkbox"/>	Concordo parcialmente
3	<input type="checkbox"/>	Concordo com restrições
4	<input type="checkbox"/>	Discordo
5	<input type="checkbox"/>	Desconheço

6. As ações desenvolvidas pelo meu setor contribuem para o desempenho da segurança da INB independente da participação dos demais setores de segurança.

1	<input type="checkbox"/>	Concordo
2	<input type="checkbox"/>	Concordo parcialmente
3	<input type="checkbox"/>	Concordo com restrições
4	<input type="checkbox"/>	Discordo
5	<input type="checkbox"/>	Desconheço

7. As atitudes da direção (Diretores, Gerência, Coordenação) demonstram comprometimento da INB com a segurança.

1		Concordo
2		Concordo parcialmente
3		Concordo com restrições
4		Discordo
5		Desconheço

8. O atendimento a uma emergência radiológica é uma preocupação exclusiva da equipe de radioproteção.

1		Concordo
2		Concordo parcialmente
3		Concordo com restrições
4		Discordo
5		Desconheço

9. Os treinamentos relacionados ao atendimento às emergências envolvem todas as equipes (Brigadas de Incêndio, Proteção Radiológica, Atendimento Médico, Proteção Física etc).

1		Concordo
2		Concordo parcialmente
3		Concordo com restrições
4		Discordo
5		Desconheço

10. Em meu local de trabalho eu sou estimulado a fazer sugestões em como melhor desempenhar as tarefas.

1		Concordo
2		Concordo parcialmente
3		Concordo com restrições
4		Discordo
5		Desconheço

11. A INB mantém um relacionamento franco e aberto com os órgãos reguladores e de controle (CNEN, IBAMA, Min. Trabalho, Corpo de Bombeiros).

1		Concordo
2		Concordo parcialmente
3		Concordo com restrições
4		Discordo
5		Desconheço

12. Minha chefia considera a realização de auditorias e inspeções em meu setor como uma oportunidade de melhoria das condições de segurança na INB.

<b>1</b>	<input type="checkbox"/>	Concordo
<b>2</b>	<input type="checkbox"/>	Concordo parcialmente
<b>3</b>	<input type="checkbox"/>	Concordo com restrições
<b>4</b>	<input type="checkbox"/>	Discordo
<b>5</b>	<input type="checkbox"/>	Desconheço

13. A política de segurança da INB demonstra que segurança tem prioridade máxima.

<b>1</b>	<input type="checkbox"/>	Concordo
<b>2</b>	<input type="checkbox"/>	Concordo parcialmente
<b>3</b>	<input type="checkbox"/>	Concordo com restrições
<b>4</b>	<input type="checkbox"/>	Discordo
<b>5</b>	<input type="checkbox"/>	Desconheço

14. Existem interações espontâneas entre os diferentes setores de segurança na INB.

<b>1</b>	<input type="checkbox"/>	Concordo
<b>2</b>	<input type="checkbox"/>	Concordo parcialmente
<b>3</b>	<input type="checkbox"/>	Concordo com restrições
<b>4</b>	<input type="checkbox"/>	Discordo
<b>5</b>	<input type="checkbox"/>	Desconheço

15. Em meu setor de trabalho as falhas ocorridas são discutidas livremente.

<b>1</b>	<input type="checkbox"/>	Concordo
<b>2</b>	<input type="checkbox"/>	Concordo parcialmente
<b>3</b>	<input type="checkbox"/>	Concordo com restrições
<b>4</b>	<input type="checkbox"/>	Discordo
<b>5</b>	<input type="checkbox"/>	Desconheço



## APÊNDICE B

**Universidade Federal Fluminense**  
**Mestrado Profissional em Sistemas de Gestão**

### ROTEIRO DE ENTREVISTA SEMI-ESTRUTURADA

Esta entrevista tem por objetivo subsidiar pesquisa de curso de mestrado, tendo como foco a gestão integrada da segurança na INB em Resende.

É uma entrevista direcionada aos gestores dos diversos setores que possuem processos diretamente relacionados à segurança.

A expressão “segurança” deve ser entendida no seu sentido amplo. Deve englobar segurança do trabalho, proteção contra incêndio, saúde ocupacional, proteção física, proteção radiológica e controle ambiental.

Não será identificado o respondente. Os dados levantados serão usados na análise que faremos do processo de gestão da segurança na INB em Resende, preservando sempre a origem da informação bem como possíveis dados sensíveis ao processo industrial da empresa.

Por isso, responda de forma livre, sem qualquer tipo de constrangimento.

#### **Qualificação – Como os gerentes ascenderam a posição que ocupam?**

- 1) Quanto tempo está na empresa?
- 2) Houve ascensão, após a entrada na organização?
- 3) Qual a sua escolaridade?

#### **Questão-chave A – Como é o relacionamento dos gerentes com as suas equipes?**

- 4) Quem define as tarefas da sua equipe?
- 5) Como você recebe sugestões oriundas de membros de sua equipe?
- 6) Como as falhas de membros de sua equipe são administradas?

#### **Questão-chave B – Como os gerentes se relacionam entre si?**

- 7) São realizadas reuniões rotineiras entre os gerentes dos processos de segurança?
- 8) Há alguma coordenação envolvendo as ações dos gestores dos processos relacionados à segurança?
- 9) Diante de um conflito entre o seu processo e outro processo de segurança, qual encaminhamento que geralmente é dado para resolvê-lo?

**Questão-chave C – Como os gerentes percebem a integração dos processos de segurança?**

- 10) Quem planeja os treinamentos de emergência de sua equipe?
- 11) Como o desempenho de sua equipe pode ser melhorado pela atuação de outras equipes de segurança?
- 12) Os recursos de sua equipe são disponibilizados para atender demandas de outros setores de segurança?

**Questão-chave D – Como os gerentes se relacionam com os órgãos reguladores (CNEN, IBAMA, Min. Trabalho, Corpo de Bombeiros)?**

- 13) Seu setor é estimulado a ser proativo quanto às demandas dos órgãos reguladores?
- 14) Que recomendação você daria aos órgãos reguladores para obterem maior desempenho em suas auditorias?
- 15) Quem define as ações para atendimento aos órgãos reguladores?

**APÊNDICE C**

**Universidade Federal Fluminense**  
**Mestrado Profissional em Sistemas de Gestão**

**FORMULÁRIO DE RESPOSTA DE ENTREVISTA SEMI-ESTRUTURADA**

**Tipo:** ST  BI  PR  MA  PF  SO  QL

**Qualificação:**

- 1) 23 anos
- 2) Sim
- 3) Superior

**Questão-chave A:**

- 4) O próprio, assessorado pelos empregados que trabalham diretamente com o respondente
- 5) Recebe com naturalidade pois se considera o mais participativo possível, pois inclusive discute seus próprios erros com a equipe.
- 6) Dependendo da gravidade da falha, desde advertência até substituição. Os empregados integrantes da empresa (orgânicos), buscam sempre um entendimento através de uma conversa.

**Questão-chave B:**

- 7) Não. As únicas reuniões com os gerentes desta área ocorrem quando vai se tratar do Plano de Emergência
- 8) Não
- 9) Geralmente, nessas situações, haverá uma conversar entre os dois, por iniciativa de um deles.

**Questão-chave C:**

10) A coordenação do Plano

11) As atividades do setor são isoladas. Apenas nas operações de transporte de material nuclear pode ser oportuno algum aprendizado.

12) Sim. O setor apóia os demais no transporte (pessoal e material) interno e externo.

**Questão-chave D:**

13) Não. Há um auto-estímulo pois possui relativa autonomia.

14) Faria um *check list* junto aos gerentes de processos, antecipando as possíveis necessidades.

15) No caso do processo do respondente, o próprio. Recebe a documentação com as não conformidades, porém não existe nenhuma cobrança por parte de seus superiores.