



CNEN/SP

ipen Instituto de Pesquisas
Energéticas e Nucleares

AUTARQUIA ASSOCIADA À UNIVERSIDADE
DE SÃO PAULO

**ESTUDO SOBRE TRATAMENTO INTEGRADO DE
EFLUENTES QUÍMICOS E RADIOATIVOS,
INTRODUZINDO-SE O CONCEITO DE
DESCARGA ZERO**

JOSÉ CARLOS MIERZWA

**Dissertação apresentada como parte dos
requisitos para obtenção do Grau de Mestre
em Ciências na Área de Reatores Nucleares
de Potência e Tecnologia do Combustível
Nuclear.**

Orientador:

Dr. Humberto Gracher Riella

São Paulo

1996

INSTITUTO DE PESQUISAS ENERGÉTICAS E NUCLEARES
AUTARQUIA ASSOCIADA À UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

**ESTUDO SOBRE TRATAMENTO INTEGRADO DE EFLUENTES QUÍMICOS E
RADIOATIVOS, INTRODUZINDO-SE O CONCEITO DE DESCARGA ZERO**

JOSÉ CARLOS MIERZWA

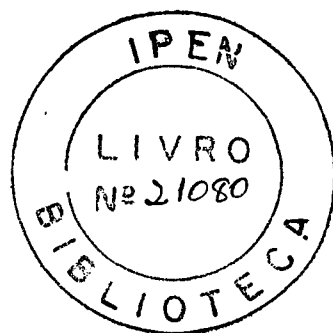
Dissertação apresentada como parte dos requisitos para a obtenção do Grau de Mestre em Ciências na Área de Reatores Nucleares de Potência e Tecnologia do Combustível Nuclear.

Orientador:

Dr. Humberto Gracher Riella

SÃO PAULO

1996



Dedico este trabalho

***aos meus pais, minha
espôsa Marli e meu filho
Guilherme.***

AGRADECIMENTOS

Ao Dr. Humberto Gracher Riella pela orientação, pelas sugestões e apoio no desenvolvimento deste trabalho.

Ao Centro Tecnológico da Marinha em São Paulo, na presença de seu Diretor C. Alte (EN) Ivan de Aquino Viana e ao Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, na presença de seu Superintendente Dr. Cláudio Rodrigues.

A Eng^a. Sandra Mara Garcia Bello, pelas sugestões, apoio no desenvolvimento deste trabalho e amizade.

A MSc. Elita Urano de Carvalho Frajndlich, Marta A. Solferini Terazan, Márcio A. Zorzeto e João B. da Silva Neto, pelo apoio para o desenvolvimento dos ensaios de laboratório.

A Dra. Patrícia Radino, a Eng^a. Márcia A. A. G. Frogeri e a Química Roseli F. Gennari do LACAM (CTMSP-II), pelo empenho na realização das análises químicas.

Ao Químico Djair Robles Arine, do Laboratório Radioecológico (ARAMAR), pelo empenho na realização das análises químicas.

A Empresa Membrane Filtration System, na presença de seu Diretor Marco Minerbo, pelo empréstimo da unidade de osmose reversa.

A todos os amigos e colegas que contribuíram para a realização deste trabalho.

ESTUDO SOBRE TRATAMENTO INTEGRADO DE EFLUENTES QUÍMICOS E RADIOATIVOS, INTRODUZINDO-SE O CONCEITO DE DESCARGA ZERO

José Carlos Mierzwa

RESUMO

É proposto e avaliado neste trabalho um Sistema Integrado de Tratamento de Efluentes Químicos e Radioativos para o Centro Experimental ARAMAR (CEA), introduzindo-se o conceito de Descarga Zero de Efluentes, onde são considerados os fatores relativos à legislação ambiental vigente no País, bem como a disponibilidade de recursos hídricos, no local onde o CEA está sendo implantado. Através de uma análise em literatura, das principais técnicas de tratamento de efluentes atualmente disponíveis. Após a seleção de um caso de estudo, considerando-se duas instalações industriais a serem implantadas no CEA, definiu-se um arranjo para compor o Sistema Integrado de Tratamento de Efluentes Químicos e Radioativos, visando a consolidação do conceito de Descarga Zero. O arranjo definido, utiliza uma combinação entre três processos de tratamento, ou seja, precipitação química, osmose reversa e evaporação, sendo o mesmo avaliado experimentalmente. O arranjo proposto foi avaliado utilizando-se efluentes sintéticos, preparados a partir de dados disponíveis em literatura e documentos de concepção das Instalações consideradas neste trabalho. Foram simulados três tipos de efluentes, um proveniente da Lavanderia de um reator nuclear, um proveniente do Sistema de Água de Refrigeração e Produção de Água Desmineralizada para o reator nuclear e um terceiro proveniente do Laboratório para Produção de Materiais Nucleares. Cada um dos efluentes foi submetido individualmente aos processos de tratamento selecionados, obtendo-se desta forma as condições ótimas de operação para cada um dos mesmos. Os resultados obtidos durante os ensaios de laboratório mostraram que o Sistema Integrado de Tratamento de Efluentes Químicos e Radioativos é viável, consolidando desta forma, o conceito de Descarga Zero de Efluentes, proposto neste trabalho.

STUDY ABOUT THE INTEGRATED TREATMENT OF CHEMICAL AND RADIOACTIVE EFFLUENTS, INTRODUCING THE ZERO RELEASE CONCEPT

José Carlos Mierzwa

ABSTRACT

An Integrated System to the treatment of Chemical and Radioactive Effluents to the Centro Experimental ARAMAR is proposed and evaluated, introducing the Effluent Zero Release concept, where factors related to the environmental regulation in vigor in the country, as well as the availability of hydrological resources in the place where CEA have been implanted, are considered. Through a literature analysis of the mains effluents treatment techniques available nowadays and after a case of study selection, take into account two industrial installations that will be implanted at CEA, it was defined an arrangement to compose the Integrated System to the Treatment of Chemicals and Radioactive Effluents, focusing the Zero Release concept consolidation. A defined arrangement uses a combination among three treatment processes, it means chemical precipitation, reverse osmosis and evaporation, that were experimentally evaluated. The proposed arrangement was evaluated using synthetic effluents, that were prepared based on datas from literature and conception documents of the installation considered in this work. Three kinds of effluents were simulated, one arising from a nuclear reactor laundry, one arising from the water refrigeration system and demineralized water production to the nuclear reactor and the other one arising from a nuclear material production laboratory. Each effluent were individually submitted to the selected treatment processes, to get the best operational conditions for each treatment process. The results got during the laboratory assays show that the proposed Integrated System to the Treatment of Chemicals and Radioactive Effluents is feasible, consolidating the Effluent Zero Release concept, which is the proposition of this work.

SUMÁRIO

	Página
LISTA DE DEFINIÇÕES E ABREVIACÕES	11
INTRODUÇÃO	14
1.1 - Aspectos Gerais	14
1.2 - Objetivo	16
FATORES DETERMINANTES PARA A UTILIZAÇÃO DO CONCEITO DE DESCARGA ZERO	18
2.1 - Recursos Hídricos Disponíveis	18
2.1.1 - Capacidade Hídrica.....	19
2.2 - Consumo de Água no CEA	20
2.3 - Balanço Hídrico	21
2.4 - Normas Ambientais Vigentes no Brasil.....	22
2.4.1 - Normas Federais.....	22
2.4.1.1 - Normas Gerais	22
2.4.1.2 - Normas Referentes à Efluentes e Rejeitos Radioativos.....	29
2.4.2 - Normas Estaduais.....	31
2.4.3 - Pontos Comuns entre as Normas Estadual e Federal	37
2.5 - Justificativas para Aplicação do Conceito de Descarga Zero	37
TÉCNICAS PARA O TRATAMENTO DE EFLUENTES E REJEITOS	39

3.1 - Filtração.....	40
3.2 - Processo de Precipitação Química, Coagulação Flocculação e Sedimentação.....	42
3.3 - Processos Biológicos	45
3.4 - Troca Iônica	47
3.5 - Ultrafiltração.....	49
3.6 - Osmose Reversa.....	51
3.7 - Eletrodiálise.....	53
3.8 - Evaporação.....	55
3.9 - Solidificação	57
CASO DE ESTUDO	59
4.1 - Unidades Consideradas no Sistema de Tratamento de Efluentes	60
4.1.1 - Laboratório de Materiais Nucleares	60
4.1.2 - Instalação Nuclear de Água Pressurizada	61
4.1.2.1 - Edifício Administrativo	63
4.1.2.2 - Edifício Auxiliar Não Controlado	63
4.1.2.3 - Edifício Auxiliar Controlado.....	63
4.1.2.4 - Edifício do Protótipo.....	65
4.1.2.5 - Edifício do Combustível.....	66
4.2 - Características dos Efluentes.....	67
4.2.1 - Efluentes do LABMAT	67
4.2.2 - Efluentes da Instalação Nuclear de Água Pressurizada	70
4.2.2.1 - Efluentes sem Contaminantes Químicos.....	72

4.2.2.2 - Efluentes Químicos	73
4.2.2.3 - Efluentes Radioativos.....	76
4.3 - Proposta de Arranjos para o Sistema Integrado de Tratamento de Efluentes Químicos e Radioativos.....	78
4.3.1 - Arranjo No 01 - Tratamento Biológico	79
4.3.2 - Arranjo No 02 - Evaporação Direta	81
4.3.3 - Arranjo No 03 - Tratamento por Precipitação Química e Osmose Reversa	82
4.3.4 - Arranjo No 04 - Tratamento por Precipitação Química e Eletrodíálise.....	82
4.3.5 - Arranjo No 05 - Tratamento por Precipitação Química, Osmose Reversa e Evaporação	83
4.3.6 - Arranjo No 06 - Tratamento por Precipitação Química, Eletrodíálise e Evaporação.....	85
4.3.7 - Arranjo No 07 - Tratamento por Precipitação Química, Osmose Reversa, Evaporação e Troca Iônica.....	85
4.3.8 - Arranjo No 08 - Tratamento por Precipitação Química, Eletrodíálise, Evaporação e Troca Iônica	85
4.4 - Análise e Seleção do Arranjo para o Sistema de Tratamento de Efluente a Ser Avaliado Experimentalmente	86
4.4.1 - Avaliação do Arranjo No 01	87
4.4.2 - Avaliação do Arranjo No 02	88
4.4.3 - Avaliação dos Arranjos No 03 e No 04.....	89
4.4.4 - Avaliação dos Arranjos No 05 e No 06.....	89
4.4.5 - Avaliação dos Arranjos No 07 e No 08.....	91
4.5 - Arranjo Selecionado.....	91
PARTE EXPERIMENTAL	93

5.1 - Descrição dos Processos de Tratamento.....	93
5.1.1 - Preparação das Soluções de Efluentes.....	94
5.1.2 - Ensaios de Precipitação	95
5.1.3 - Ensaios com o Processo de Osmose Reversa	98
5.1.4 - Ensaios com o Processo de Evaporação.....	100
5.2 - Reagentes Utilizados.....	100
5.3 - Equipamentos	102
5.4 - Técnicas de Caracterização Utilizadas	103
RESULTADOS E DISCUSSÕES	107
6.1 - Preparação dos Efluentes Sintéticos	108
6.2 - Ensaios de Precipitação Química.....	110
6.2.1 - Ensaios com o Efluente Radioativo da INAP	112
6.2.2 - Ensaios com o Efluente Químico da INAP.....	120
6.2.3 - Ensaios com o Efluente Radioativo do LABMAT.....	130
6.3 - Ensaios com a Unidade de Osmose Reversa	140
6.3.1 - Tratamento do Efluente Químico da INAP	142
6.3.1.1 - Tratamento do Efluente Químico da INAP, Após o Processo de Coagulação/Floculação.....	142
6.3.1.2 - Tratamento do Efluente Químico da INAP, Após o Processo de Precipitação Química e Coagulação/Floculação	145
6.3.2 - Tratamento do Efluente Radioativo da INAP.....	147
6.3.3 - Tratamento do Efluente Radioativo do LABMAT	149
6.3.4 - Considerações Sobre o Tratamento pelo Processo de Osmose Reversa	151

6.4 - Unidade de Evaporação	154
6.5 - Comparação dos Custos do Processo de Evaporação e do Processo Combinado para o Sistema Integrado de Tratamento de Efluentes.....	158
6.5.1 - Sistema de Tratamento por Evaporação.....	159
6.5.2 - Sistema Combinado de Tratamento.....	160
CONCLUSÕES.....	164
BIBLIOGRAFIA.....	168

LISTA DE DEFINIÇÕES E ABREVIACÕES

Para efeito deste trabalho são utilizadas as seguintes definições e abreviaturas:

Atividade Específica - Relação entre a atividade de um determinado elemento radioativo ou a atividade total de todos os elementos radioativos presentes em uma solução e o volume total ou massa total desta solução, sendo esta relação expressa em Bequerel por metro cúbico ou Bequerel por quilograma.

ALARA - "As Low As Reasonably Achievable" - "Tão baixo quanto razoavelmente exequível", filosofia de otimização utilizada em todas as atividades ligadas à energia nuclear.

APOFU - Peroxidofluoruranato de Amônio ($\text{UO}_4 \cdot 2\text{NH}_3 \cdot 2\text{HF}$).

APONU - Peroxidonitrouranato de Amônio ($\text{UO}_4 \cdot 2\text{NH}_3 \cdot 2\text{HNO}_3$).

CEA - Centro Experimental Aramar.

CENEA - Centro Nacional de Engenharia Agrícola do Ministério da Agricultura.

CETESB - Companhia Estadual de Tecnologia de Saneamento Básico e de Defesa do Meio Ambiente.

CNEN - Comissão Nacional de Energia Nuclear.

CONAMA - Conselho Nacional de Meio Ambiente.

CTMSP - Centro Tecnológico da Marinha em São Paulo.

Descarga Zero - Conjunto de medidas adotadas a fim de permitir que uma ou mais correntes de efluente químico ou radioativo, após o seu tratamento, possa ser reutilizada, ou então, se liberada ao meio ambiente, não deverá provocar nenhuma alteração nas características do corpo receptor, ou qualquer impacto negativo ao meio ambiente. Devem também estar compreendidos nesta definição, os resíduos sólidos gerados nos processos de tratamento.

EAC - Edifício Auxiliar Controlado.

EANC - Edifício Auxiliar não Controlado.

EC - Edifício do Combustível.

Efluente Químico - Qualquer corrente líquida gerada em processos industriais, que não pode ser reaproveitada, ou cuja a reutilização não seja prevista e que apresente substâncias químicas não radioativas em sua composição.

Efluente Radioativo - Qualquer corrente líquida gerada em processos industriais, que não pode ser reaproveitada, ou cuja reutilização não seja prevista e que contenha substâncias radioativas em sua composição.

EP - Edifício do Protótipo.

IEN - Instituto de Energia Nuclear.

INAP - Instalação Nuclear de Água Pressurizada.

IPEN - Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares.

LABMAT - Laboratório de Materiais Nucleares - 1º Módulo - B100.

N/A - Não analisado.

N/D - Não detectado.

PEC - Piscina de Estocagem de Combustível Nuclear.

PROTER - Protótipo em Terra.

Rejeito Radioativo - Todo material resultante de alguma atividade, que contenha radionuclídeos acima dos limites de isenção, e para o qual a reutilização é imprópria, não prevista ou indesejável e que deve ser isolado em locais previstos.

SDT - Medida da concentração dos Sólidos Dissolvidos, presentes no efluente.

SPRL - Sistema de Processamento de Rejeitos Líquidos.

Substância Radioativa - Qualquer substância que emite radiação ionizante e está presente em um material sólido líquido ou gasoso.

TCAU - Tricarbonato de amônio uranilo.

UO₂ - Dióxido de urânio.

CAPÍTULO - 1

INTRODUÇÃO

1.1 - Aspectos Gerais

Com o objetivo principal de dominar a tecnologia para construção de reatores nucleares, tornou-se necessário o desenvolvimento de projetos que conduzissem o Brasil ao domínio da tecnologia de todas as etapas pertencentes ao Ciclo do Combustível Nuclear.

Por iniciativa da Marinha do Brasil, através de um convênio entre o Centro Tecnológico da Marinha São Paulo e o Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN), localizado no Estado de São Paulo, foram desenvolvidos estudos referentes às diversas etapas do Ciclo do Combustível Nuclear, estudos estes que já vinham sendo desenvolvidos pelo IPEN. Após alguns anos, verificou-se a necessidade de aplicação dos conhecimentos e técnicas desenvolvidas em escala demonstrativa.

Em função desta necessidade foi criado na região de Iperó-SP, o CEA, onde estão sendo instaladas as unidades que fazem parte do ciclo do combustível nuclear e ainda, outras unidades industriais de apoio, que terão a finalidade de dar suporte às primeiras.

Pela grande variedade de unidades industriais que irão operar no CEA, será gerada uma gama variada de efluentes, que dependendo do local de geração poderão ainda, estar contaminados com material radioativo, em função dos processos desenvolvidos na unidade.

Levando-se em consideração o local onde o CEA está sendo implantado, e ainda, as atividades que ali serão desenvolvidas, no que se refere à questão ambiental e opinião pública, haverá uma grande restrição com relação à captação de água e liberação dos efluentes ali gerados, para o meio ambiente.

Assim sendo, torna-se necessária a adoção de estratégias com relação ao tratamento destes efluentes ou rejeitos, que possibilitem a perfeita integração do CEA com o meio ambiente, visando principalmente a saúde e bem estar da população em geral e trabalhadores.

Para a obtenção dos objetivos estabelecidos acima, ou seja, desenvolvimento tecnológico, integrado à conservação do meio ambiente, está sendo proposto neste trabalho, um Sistema de Tratamento de Efluentes Químicos e Radioativos, que utiliza o conceito de Descarga Zero, ou seja, um sistema de tratamento onde a água, principal constituinte do efluente ou rejeito, será reutilizada nas unidades industriais do CEA, minimizando desta forma, os danos que poderiam ser causados ao meio ambiente, relacionados a captação de água do recurso hídrico, bem como liberação dos efluentes líquidos para o meio ambiente.

A adoção de um sistema de tratamento deste tipo, levou em consideração as Normas Ambientais relativas ao Controle Ambiental, vigentes no País, recursos hídricos disponíveis para a captação de água e tecnologias disponíveis para o tratamento de efluentes.

Para efeito deste trabalho, define-se o conceito de Descarga Zero, como o conjunto de medidas adotadas a fim de permitir que uma corrente de efluente químico ou radioativo, após o seu tratamento, possa ser reutilizada como água industrial, ou então, ser liberada ao meio ambiente e não provocar nenhuma alteração nas características do corpo receptor, ou qualquer impacto negativo ao meio ambiente, uma vez que esta corrente deverá apresentar

Levando-se em consideração o local onde o CEA está sendo implantado, e ainda, as atividades que ali serão desenvolvidas, no que se refere à questão ambiental e opinião pública, haverá uma grande restrição com relação à captação de água e liberação dos efluentes ali gerados, para o meio ambiente.

Assim sendo, torna-se necessária a adoção de estratégias com relação ao tratamento destes efluentes ou rejeitos, que possibilitem a perfeita integração do CEA com o meio ambiente, visando principalmente a saúde e bem estar da população em geral e trabalhadores.

Para a obtenção dos objetivos estabelecidos acima, ou seja, desenvolvimento tecnológico, integrado à conservação do meio ambiente, está sendo proposto neste trabalho, um Sistema de Tratamento de Efluentes Químicos e Radioativos, que utiliza o conceito de Descarga Zero, ou seja, um sistema de tratamento onde a água, principal constituinte do efluente ou rejeito, será reutilizada nas unidades industriais do CEA, minimizando desta forma, os danos que poderiam ser causados ao meio ambiente, relacionados a captação de água do recurso hídrico, bem como liberação dos efluentes líquidos para o meio ambiente.

A adoção de um sistema de tratamento deste tipo, levou em consideração as Normas Ambientais relativas ao Controle Ambiental, vigentes no País, recursos hídricos disponíveis para a captação de água e tecnologias disponíveis para o tratamento de efluentes.

Para efeito deste trabalho, define-se o conceito de Descarga Zero, como o conjunto de medidas adotadas a fim de permitir que uma corrente de efluente químico ou radioativo, após o seu tratamento, possa ser reutilizada como água industrial, ou então, ser liberada ao meio ambiente e não provocar nenhuma alteração nas características do corpo receptor, ou qualquer impacto negativo ao meio ambiente, uma vez que esta corrente deverá apresentar

no mínimo as características físico-químicas do corpo receptor, conforme estabelecido em Normas Ambientais.

É importante ressaltar ainda, que qualquer resíduo sólido gerado nos processos de tratamento dos efluentes químicos ou radioativos, deverá ser processado, a fim de permitir a sua disposição de forma segura, minimizando-se desta forma, possíveis riscos ao meio ambiente e à população em geral, estando também os resíduos sólidos gerados durante o tratamento dos efluentes, vinculados ao conceito de Descarga Zero.

1.2 - Objetivo

Este trabalho tem por objetivo, o estudo de um sistema integrado para o tratamento de efluentes químicos e radioativos das instalações industriais do CEA, localizado na cidade de Iperó, Estado de São Paulo, tomando-se como diretrizes principais, as características hidrológicas da região e Legislação Ambiental vigente, buscando-se em última análise uma perfeita integração entre desenvolvimento tecnológico e conservação ambiental, introduzindo-se desta forma, o conceito de Descarga Zero.

Com base nos dados referentes aos recursos hídricos disponíveis na região onde está sendo implantado o CEA, Legislação Ambiental referente à liberação de efluentes ao meio ambiente tanto a nível Federal, quanto a nível Estadual, e ainda, o atual estágio de desenvolvimento tecnológico dos processos disponíveis para o tratamento de efluentes, é apresentado neste trabalho um sistema integrado para o tratamento de efluentes químicos e radioativos, a serem gerados no Laboratório de Caracterização de Materiais e na Instalação Nuclear de Água Pressurizada, que fazem parte do complexo Aramar, onde a principal meta é a de viabilizar a utilização do conceito de Descarga Zero que poderá ser utilizado para o tratamento dos efluentes das demais instalações que compõem o CEA.

Para a seleção do arranjo a ser utilizado para o sistema integrado de tratamento de efluentes químicos e radioativos, não são avaliados neste trabalho os princípios básicos de funcionamento de qualquer um dos processos de tratamento selecionados, sendo apenas verificada a eficiência dos processos selecionados, com relação à redução da carga dos contaminantes presentes nos efluentes. Isto é feito objetivando-se a praticidade e operacionalidade do sistema de tratamento, buscando-se sempre que possível, utilizar sistemas de tratamento de efluentes bem desenvolvidos tecnologicamente e equipamentos facilmente obtidos comercialmente, de forma a viabilizar técnica e economicamente o sistema de tratamento a ser proposto, e que poderá ser utilizado como referência, por qualquer outra instalação industrial do País, comprometidas com o desenvolvimento tecnológico e conservação ambiental.

CAPÍTULO - 2

FATORES DETERMINANTES PARA A UTILIZAÇÃO DO CONCEITO DE DESCARGA ZERO

Neste Capítulo são apresentados os fatores que conduzem à utilização do conceito de Descarga Zero, que é a proposta deste trabalho, onde são apresentadas as questões relativas aos recursos hídricos disponíveis na região onde o CEA está sendo implantado, bem como as Normas Ambientais vigentes no País.

2.1 - Recursos Hídricos Disponíveis

O CEA tem como principais fontes hídricas, o rio Ipanema^{1/} e os recursos subterrâneos da região onde o CEA está sendo implantado, considerando-se neste trabalho, como principal fonte de captação de água, bem como corpo receptor de efluentes, o Rio Ipanema que de acordo com a legislação estadual, é classificado como um rio pertencente à **Classe 2^{2/}**.

2.1.1 - Capacidade Hídrica**- Rio Ipanema**

O levantamento hidrológico disponível até o presente momento, refere-se a uma barragem existente à montante do CEA na Fazenda Ipanema^{1/}.

Um estudo hidrológico realizado pela SETEPLA Engenharia S/A, para o CENEA, com o objetivo de determinar os valores relativos às vazões firmes em 75% e 95% do tempo para a barragem da Fazenda Ipanema, apresentou os resultados seguintes:

$$Q_{95\%} = 790 \text{ L/s}$$

$$Q_{75\%} = 1.180 \text{ L/s}$$

Outro estudo elaborado pela TECNOSAN Engenharia S/A, coincidente com a área de drenagem da seção onde se prevê a captação de água para o CEA, apresentou como resultado para a vazão mínima do rio, o valor seguinte:

$$Q_{\text{mínima}} = 347 \text{ L/s}$$

Um novo estudo elaborado pela empresa SETEPLA Engenharia S/A, para determinação da capacidade do Rio Ipanema, apresentou os valores seguintes:

$$Q_{95\%} = 756 \text{ L/s}$$

$$Q_{75\%} = 1.132 \text{ L/s}$$

- Recursos Subterrâneos:

Até o presente momento não foram realizados estudos hidrológicos para a caracterização e avaliação dos recursos subterrâneos no CEA, de forma que esta fonte não será considerada na análise a ser realizada.

Deve ser ressaltado que um estudo para a caracterização do lençol freático da área pertencente ao CEA será imprescindível, tanto como reserva estratégica para captação de água, quanto para monitoração ambiental do empreendimento, no que se refere a necessidade de implantação de um depósito para resíduos industriais.

2.2 - Consumo de Água no CEA

Com base nos dados apresentados em documentos de concepção do Sistema de Abastecimento de Água do CEA, que foram desenvolvidos pelo Centro Tecnológico da Marinha em São Paulo^{/3/}, verifica-se que a água será utilizada para as finalidades seguintes:

- Utilização em Processos Industriais e Combate a Incêndio;
- Utilização como Água Potável.

De acordo com a utilização de água, o Sistema de Abastecimento foi dividido nos subsistemas seguintes:

Unidade I - Subsistema de Abastecimento de Água Industrial e Água para Combate a Incêndio;

Unidade II - Subsistema de Abastecimento de Água Potável para as Unidades Industriais;

Unidade III - Subsistema de Abastecimento de Água Potável para o Setor Residencial, Área de Lazer, Hotel e Escola.

Cada um dos subsistemas acima foi projetado para atender as demandas de água para consumo industrial e potável, apresentadas na tabela abaixo.

TABELA 2.2.1 - Demanda de Água a ser Suprida pelo Sistema de Abastecimento de Água do CEA^{/3/}

Subsistema	Consumo (m ³ /h)
Unidade I	620,00
Unidade II	10,83
Unidade III	4,67
TOTAL	635,50

2.3 - Balanço Hídrico

Com base nos dados apresentados acima, considerando-se a disponibilidade do rio Ipanema e as demandas de água previstas para o CEA, verifica-se que a quantidade de água a ser captada deverá representar um percentual que varia de 51% a 22% da capacidade do rio, considerando-se as condições mais críticas dos estudos elaborados pela TECNOSAN e SETEPLA respectivamente.

Estes valores representam um percentual significativo em termos de captação de água, o que poderá ser inviável, em função da demanda de água exigida por outras indústrias e fazendas da região onde encontra-se implantado o CEA, e que também se utilizam deste recurso hídrico.

Deve-se observar ainda que pela Resolução CONAMA Nº 5, de 15 de Junho de 1988, as obras de captação de água, cuja vazão seja superior a 20% da vazão mínima da fonte de abastecimento, estão sujeitas ao licenciamento no órgão ambiental competente^{/4/}.

2.4 - Normas Ambientais Vigentes no Brasil

2.4.1 - Normas Federais

2.4.1.1 - Normas Gerais

No âmbito Federal, a principal norma a ser adotada é a Constituição Federal de 1.988, onde são apresentadas todas as diretrizes relativas ao Meio Ambiente, dedicando a este tema, um Capítulo exclusivo^{/5/}.

O Capítulo VI da Constituição da República estabelece:

Art. 225 - "Todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, impondo-se ao Poder Público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações".

Com este único artigo, poder-se-ia justificar a implantação de um sistema de tratamento de efluentes a fim de assegurar e garantir a qualidade do meio ambiente, não necessitando-se de Normas complementares.

Contudo, em função dos interesses diversos da sociedade, tornou-se necessária a criação de Normas complementares visando restringir e disciplinar a utilização dos recursos naturais.

Na esfera Federal, dentre as principais Normas que tratam da questão do meio ambiente, destaca-se a **Lei Nº 6938**, de 31 de Agosto de 1981, que estabelece a Política Nacional do Meio Ambiente^{4/}, com base nos incisos VI e VII do artigo 23 e artigo 235 da Constituição Federal.

Nesta norma são estabelecidos os critérios básicos relativos à questão ambiental e são criados órgãos de assessoria, com o objetivo de implantar a Política Nacional do Meio Ambiente.

No que se refere ao estabelecimento de normas e padrões de qualidade compatíveis com o meio ambiente ecologicamente equilibrado e essencial à sadia qualidade de vida, foi criado o Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA).

O CONAMA, dentro de suas atribuições legais, editou em 18 de Julho de 1986, a Resolução CONAMA Nº 20, onde são classificadas as águas doces, salobras e salinas do Território Nacional, de acordo com a utilização que deve ser dada as mesmas, com os respectivos padrões de qualidade para cada classe^{4/}.

De acordo com a Resolução CONAMA Nº 20, as águas deverão ser enquadradas na classificação seguinte:

Águas Doces:

I - Classe Especial - Águas destinadas:

- a) ao abastecimento doméstico sem prévia ou com simples desinfecção;
- b) à preservação do equilíbrio natural das comunidades aquáticas.

II - Classe 1 - Águas destinadas:

- a) ao abastecimento doméstico após tratamento simplificado;
- b) à proteção das comunidades aquáticas;
- c) à recreação de contato primário (natação, esqui aquático e mergulho);
- d) à irrigação de hortaliças que são consumidas cruas e de frutas que se desenvolvem rentes ao solo e que sejam ingeridas cruas sem remoção de película;
- e) à criação natural e/ou intensiva (aquicultura), de espécies destinadas à alimentação humana.

III - Classe 2 - Águas destinadas:

- a) ao abastecimento doméstico, após tratamento convencional;

- b) à proteção das comunidades aquáticas;
- c) à recreação de contato primário;
- d) à irrigação de hortaliças e plantas frutíferas;
- e) à criação natural e/ou intensiva de espécies destinadas à alimentação humana.

IV - Classe 3 - Águas destinadas:

- a) ao abastecimento doméstico após tratamento convencional;
- b) à irrigação de culturas arbóreas, cerealíferas e forrageiras;
- c) à dessedentação de animais.

V - Classe 4 - Águas destinadas:

- a) à navegação;
- b) à harmonia paisagística;
- c) aos usos menos exigentes.

Águas Salinas:

VI - Classe 5 - Águas destinadas:

- a) à recreação de contato primário;
- b) à proteção das comunidades aquáticas;
- c) à criação natural e/ou intensiva de espécies destinadas à alimentação humana.

VII - Classe 6 - Águas destinadas:

- a) à navegação comercial;

- b) à harmonia paisagística;
- c) à recreação de contato secundário.

Águas Salobras:

VIII - Classe 7 - Águas destinadas:

- a) à recreação de contato primário;
- b) à proteção das comunidades aquáticas;
- c) à criação natural e/ou intensiva de espécies destinadas à alimentação humana.

IX - Classe 8 - Águas destinadas:

- a) à navegação comercial;
- b) à harmonia paisagística;
- c) à recreação de contato secundário.

Fazem parte da Resolução CONAMA Nº 20 os artigos 15, 17,18, 19, 21 e 22, que abordam a questão do lançamento de efluentes em águas, a saber:

Artigo 15: "Os órgãos de controle ambiental poderão acrescentar outros parâmetros ou tornar mais restritivos os estabelecidos nesta Resolução, tendo em vista as condições locais".

Artigo 17: "Não será permitido o lançamento de poluentes nos mananciais sub-superficiais".

Artigo 18: "Nas águas de Classe Especial não serão tolerados lançamentos de águas residuárias, domésticas e industriais, lixo e/ou outros resíduos sólidos, substâncias potencialmente tóxicas, defensivos agrícolas, fertilizantes químicos e outros poluentes, mesmo tratados. Caso sejam utilizadas para o abastecimento doméstico, deverão ser submetidas a uma inspeção sanitária preliminar".

Artigo 19: "Nas águas das Classes 1 a 8 serão tolerados lançamento de despejos, desde que, além de atenderem ao disposto no artigo 21 desta Resolução, não venham a fazer com que os limites estabelecidos para as respectivas classes sejam ultrapassados".

Artigo 21: "Os efluentes de qualquer fonte poluidora somente poderão ser lançados, direta ou indiretamente nos corpos de água desde que obedeçam as seguintes condições:"

- a) pH entre 5 a 9;
- b) temperatura inferior a 40 °C, sendo que a elevação de temperatura do corpo receptor não deverá exceder a 3°C;
- c) materiais sedimentáveis: até 1 mL/L em teste de 1 hora em cone de Imhoff;
- d) regime de lançamento com vazão máxima de até 1,5 vezes a vazão média do período de atividade diária do agente poluidor;
- e) óleos e graxas:
 - óleos minerais até 20 mg/L

- óleos vegetais e gorduras animais até 50 mg/L;

f) ausência de materiais flutuantes;

g) valores máximos admissíveis das seguintes substâncias:

Contaminante	Concentração (mg/L)
Amônia	5,0
Arsênio total	0,5
Bário	5,0
Boro	5,0
Cádmio	0,2
Cianetos	0,2
Chumbo	0,5
Cobre	1,0
Cromo hexavalente	0,5
Cromo trivalente	2,0
Estanho	4,0
Índice de Fenóis	0,5 (C ₆ H ₅ OH)
Ferro solúvel	15,0
Fluoretos	10,0
Manganês solúvel	1,0
Mercúrio	0,01
Níquel	2,0
Prata	0,1
Selênio	0,05
Sulfetos	1,0
Sulfitos	1,0
Zinco	5,0
Compostos organofosforados e carbamatos totais	1,0
Sulfeto de Carbono	1,0
Tricloroetano	1,0
Clorofórmio	1,0
Tetracloroeto de Carbono	1,0
Dicloroetano	1,0
Compostos Organoclorados não listados acima	0,05

- outras substâncias em concentrações que poderiam ser prejudiciais, de acordo com limites a serem fixados pelo CONAMA.

h) tratamento especial, se provierem de hospitais e outros estabelecimentos nos quais haja despejos infectados com microorganismos patogênicos.

Artigo 22: "Não será permitida a diluição de efluentes industriais com águas não poluídas, tais como água de abastecimento, água de mar e água de refrigeração.

Parágrafo único - Na hipótese de fonte de poluição geradora de diferentes despejos ou emissões individualizadas, os limites constantes desta regulamentação aplicar-se-ão a cada um deles ou ao conjunto após a mistura, a critério do órgão competente."

2.4.1.2 - Normas Referentes à Efluentes e Rejeitos Radioativos

Com base na Constituição Federal, em 27 de Agosto de 1962, pela Lei Nº 4118, foi criada a Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN), sendo reformulada pela Lei Nº 6189 de 16 de Dezembro de 1974, atribuindo-se a este órgão, a responsabilidade de promover a utilização da energia nuclear e fiscalizar esta utilização em todo Território Nacional^{6 e 7/}.

Deve-se destacar que de acordo com a Lei Nº 6189, em seu artigo 2 inciso III, compete à CNEN, baixar normas, regulamentos e especificações relacionadas aos rejeitos radioativos.

O inciso IV, alíneas a, b e c estabelecem que é competência da CNEN expedir regulamentos e normas de segurança e proteção relativas ao uso de instalações de materiais nucleares, transporte e manuseio.

Com base nesta competência, em 01 de Agosto de 1988 foi aprovada, em caráter experimental, a **Norma CNEN-NE-3.01 "Diretrizes Básicas de Radioproteção"**, que revogou a **Resolução CNEN-06/73**, de 17 de Dezembro de 1973 "Normas Básicas de Proteção Radiológica", e cujo objetivo principal é estabelecer as Diretrizes Básicas de Radioproteção, abrangendo os princípios, limites, obrigações e controles básicos para a proteção do Homem e de seu meio ambiente contra possíveis efeitos indevidos causados pela radiação ionizante^{/8/}.

A Norma CNEN-NE-3.01 se aplica à pessoas físicas e jurídicas envolvidas na produção, uso, posse, armazenamento, processamento, transporte ou deposição de fontes de radiação, define o que é uma Instalação Radiativa e uma Instalação Nuclear e cita que as doses especificadas na Norma não se aplicam à doses resultantes de exposições médicas, naturais ou de emergência.

Com o intuito de estabelecer critérios gerais e requisitos básicos relativos à Gerência de Rejeitos Radioativos de Instalações Radiativas, em 17 de Dezembro de 1985 é aprovada pela Resolução CNEN-19/85, a **Norma Experimental CNEN-NE-6.05**, "Gerência de Rejeitos Radioativos em Instalações Radiativas"^{/9/}.

Na Norma CNEN-NE-6.05 os rejeitos radioativos são classificados de acordo com a sua atividade específica, e ainda, estabelecidos limites explícitos com relação a liberação de efluentes contendo elementos radioativos, para o meio ambiente.

Contudo, deve ser observado que os limites estabelecidos na Norma CNEN-NE-6.05, só **se aplicam à Instalações Radiativas**, sujeitas ao processo de licenciamento pela CNEN, de acordo com a Norma **CNEN-NE-6.02**, aprovada pela Resolução CNEN-09/84, aprovada em 04/12/84, "Licenciamento de Instalações Radiativas".

Outra Norma muito importante em termos de liberação de efluentes radioativos para o meio ambiente é a Norma **CNEN-NE-1.04**, aprovada pela Resolução CNEN-11/84, em 04/12/84, "Licenciamento de Instalações Nucleares"^{/10/}.

Embora o objetivo principal desta Norma não seja a questão relacionada à liberação de efluentes radioativos para o meio ambiente, é abordado no item "6.4.12", a questão relativa aos sistemas de controle e liberação de efluentes radioativos, destacando-se o sub-item "b", que exige das instalações nucleares durante o seu processo de licenciamento, que seja apresentada uma caracterização dos objetivos do projeto e os meios a serem empregados para manter **"tão baixo quanto razoavelmente exeqüível, os níveis de materiais radioativos em efluentes liberados em áreas não controladas"**.

Desta forma, conclui-se que, baseado nas Diretrizes Básicas de Radioproteção, na Norma CNEN-NE-1.04 e ainda, devido as características do CEA, os limites a serem utilizados para a liberação de efluentes radioativos para o meio ambiente devem obedecer o princípio "ALARA".

2.4.2 - Normas Estaduais

Conforme estabelecido no artigo 23, inciso VI da Constituição Federal vigente, também compete aos Estados, **"proteger o meio ambiente e combater a poluição em qualquer de suas formas"**^{/5/}.

Além deste item relativo ao meio ambiente, o artigo 25 da Constituição Federal estabelece que os Estados podem ser organizados e regidos pelas Constituições e leis que adotarem, observados os princípios desta.

Obedecendo a Constituição Federal, o Estado de São Paulo, onde se localiza o CEA, promulgou sua Constituição Estadual em 5 de Outubro de 1989, que em seu Capítulo IV, Seção I, artigo 191 estabelece que **"O Estado e os Municípios providenciarão, com a participação da coletividade, a preservação, conservação, defesa, recuperação e melhoria do meio ambiente natural, artificial e do trabalho, atendidas as peculiaridades regionais e locais e em harmonia com o desenvolvimento social e econômico"**^{11/}.

No que se refere aos recursos hídricos é estabelecido na Constituição Estadual que:

Artigo 205: "O Estado instituirá, por lei, sistema integrado de gerenciamento dos recursos hídricos".

Artigo 206: "As águas subterrâneas, reservas estratégicas para o desenvolvimento econômico-social e valiosas para o suprimento de água às populações, deverão ter programa permanente de conservação e proteção contra poluição e super exploração, com diretrizes em lei".

Artigo 208: "Fica vetado o lançamento de efluentes e esgotos urbanos e industriais, sem devido tratamento, em qualquer corpo de água".

Artigo 211: "Para garantir as ações previstas no artigo 205, a utilização dos recursos hídricos será cobrada segundo a peculiaridade de cada bacia hidrográfica, na forma

da lei, e o produto aplicado nos serviços e obras referidos no inciso I, do parágrafo único, deste artigo".

Anterior a Constituição Estadual, através da **Lei Nº 118**, de 29 de Junho de 1973, foi criada a Companhia Estadual de Tecnologia de Saneamento Básico e de Controle de Poluição das Águas (CETESB), que pelo **Decreto Nº 5993**, de 16 de Abril de 1975, passou a ser denominada Companhia Estadual de Tecnologia de Saneamento Básico e de Defesa do Meio Ambiente (CETESB)^{2/}, com as seguintes atribuições:

Artigo 2: "À CETESB ficam atribuídos o exercício do controle da qualidade do meio ambiente - água, ar e solo - em todo o território do Estado de São Paulo, assim como as funções de pesquisa e serviços científicos e tecnológicos direta e indiretamente relacionados com seu campo de atuação".

Outra lei que trata do controle da poluição é a **Lei Nº 997**, de 31 de Maio de 1976, regulamentada pelo **Decreto Nº 8468**, de 8 de Setembro de 1976, onde é atribuído à CETESB, a elaboração de normas, especificações e instruções técnicas relativas ao controle da poluição, fiscalização das emissões de poluentes feitas por entidades públicas e particulares, entre outras^{2/}. Além das atribuições feitas à CETESB, o **Decreto Nº 8468** trata da classificação das águas do Estado de São Paulo, Padrões de Qualidade das mesmas e Padrões de Emissão de Efluentes, destacando-se os artigos 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 17 e 18, sendo transcritos abaixo, os artigos 7, 10, 17 e 18, por estarem diretamente relacionadas com a classificação dos corpos d'água, bem como com os padrões de emissão de efluentes para estes corpos d'água.

Artigo 7: "As águas interiores situadas no território do Estado de São Paulo, para efeito deste regulamento serão classificadas segundo os seguintes usos preponderantes":

I - Classe 1: águas destinadas ao abastecimento doméstico, sem tratamento prévio ou com simples desinfecção;

II - Classe 2: águas destinadas ao abastecimento doméstico, após tratamento convencional, à irrigação de hortaliças ou plantas frutíferas e à recreação de contato primário (natação, esqui-aquático e mergulho);

III - Classe 3: águas destinadas ao abastecimento doméstico, após tratamento convencional, à preservação de peixes em geral e de outros elementos da fauna e da flora e à dessedentação de animais;

IV - Classe 4: águas destinadas ao abastecimento doméstico, após tratamento avançado, ou à navegação, à harmonia paisagística, ao abastecimento industrial, à irrigação e a usos menos exigentes.

Artigo 10: "Nas águas de Classe 1 não serão tolerados lançamentos de efluentes, mesmo tratados".

Artigo 17: "Os efluentes de qualquer natureza somente poderão ser lançados nas águas interiores ou costeiras superficiais ou subterrâneas, situadas no território do Estado de São Paulo, desde que não sejam considerados poluentes, na forma estabelecida no artigo 3 deste Regulamento".

Artigo 18: "Os efluentes de qualquer fonte poluidora somente poderão ser lançados, direta ou indiretamente, nas coleções de água, desde que obedeçam às seguintes condições:

I - pH entre 5,0 e 9,0;

II - Temperatura inferior a 40 °C;

III - Materiais sedimentáveis até 1,0 mL/L em teste de uma hora em cone de Imhoff;

IV - Substâncias solúveis em hexana até 100 mg/L;

V - DBO 5 dias, 20 °C no máximo 60 mg/L, podendo ser ultrapassado somente quando a carga poluidora seja reduzida em no mínimo 80%;

VI - Concentrações máximas dos seguintes parâmetros:

Contaminante	Concentração (mg/L)
Arsênio	0,2
Bário	5,0
Boro	5,0
Cádmio	0,2
Cianetos	0,2
Chumbo	0,5
Cobre	1,0
Cromo hexavalente	0,5
Cromo total	5,0
Estanho	4,0
Fenol	0,5
Ferro solúvel	15,0
Fluoretos	10,0
Manganês solúvel	1,0
Mercúrio	0,01
Níquel	2,0
Prata	0,02
Selênio	0,02
Zinco	5,0

Com base no artigo 205 da Constituição Estadual, foi criada a **Lei Nº 7663**, em 30 de Dezembro de 1991, que estabelece normas de orientação à Política Estadual de Recursos Hídricos, bem como ao Sistema Integrado de Gerenciamento de Recursos Hídricos^{12/}, destacando-se principalmente a Seção III intitulada "Da Cobrança pelo Uso dos Recursos Hídricos", sendo a mesma transcrita abaixo.

Artigo 14: "A utilização dos recursos hídricos será cobrada na forma estabelecida nesta lei e em seu regulamento, obedecidos os seguintes critérios:

I - Cobrança pelo uso ou derivação, considerará a classe de uso preponderante em que for enquadrado o corpo de água onde se localiza o uso ou derivação, a disponibilidade hídrica local, o grau de regularização assegurado por obras hidráulicas, a vazão captada em seu regime de variação, o consumo efetivo e a finalidade a que se destina; e

II - cobrança pela diluição, transporte e assimilação de efluentes de sistemas de esgotos e outros líquidos de qualquer natureza, considerará a classe de uso em que for enquadrado o corpo d'água receptor, o grau de regularização assegurado por obras hidráulicas, a carga lançada e seu regime de variação, ponderando-se, dentre outros, os parâmetros orgânicos físico-químicos dos efluentes e a natureza da atividade responsável pelos mesmos.

Parágrafo 1º - No caso do inciso II, os responsáveis pelo lançamento não ficam desobrigados do cumprimento das normas e padrões legalmente estabelecidos, relativos ao controle de poluição das águas.

Parágrafo 2º - Vetado.

Parágrafo 3º - No caso do uso de recursos hídricos para fim de geração de energia elétrica aplicar-se-á a legislação federal específica".

2.4.3 - Pontos Comuns entre as Normas Estadual e Federal

Com relação aos efluentes não radioativos, observa-se nas Normas Federal e Estadual, que as restrições relativas ao lançamento de efluentes em corpos d'água, bem como a classificação destes corpos apresentam vários pontos em comum, e que não poderia ser diferente, em função da obrigatoriedade dos Estados seguirem as Leis e Decretos estabelecidos pela União, podendo, se necessário, estabelecerem Leis ou Decretos que sejam mais restritivos, obedecendo sempre a Constituição Federal.

Já com relação às Normas relativas aos efluentes radioativos, de acordo com a Constituição Federal, apenas a União tem competência para elaboração das mesmas, o que justifica o fato de não existirem Normas Estaduais que tratem desta questão.

2.5 - Justificativas para Aplicação do Conceito de Descarga Zero

Conforme pode ser verificado nos itens anteriores, a utilização do Conceito de Descarga Zero para o Sistema de Tratamento de Efluentes Químicos e Radioativos do CEA, é quase que obrigatório em função das restrições impostas pelas Normas Ambientais^{/4, 5, 8, 11 e 12/} e da disponibilidade de recursos hídricos^{/1/}.

Com relação as normas ambientais, devido as restrições com relação à liberação de efluentes químicos e radioativos para o meio ambiente, há uma imposição no sentido de se utilizar técnicas avançadas para o tratamento destes efluentes.

Algumas destas técnicas, como poderá ser verificado posteriormente, possibilitarão que o efluente, após o seu tratamento, apresente características orgânicas e físico-químicas equivalentes, ou em certos casos, melhores que aquelas encontradas na água utilizada em processos industriais.

Aliando-se a este fato, há ainda, restrições com relação a disponibilidade de recursos hídricos para o CEA, de forma que seria incoerente, a não reutilização destas correntes tratadas.

Além dos benefícios relativos à minimização dos danos que poderiam ser causados ao meio ambiente, deve-se considerar também, os benefícios econômicos que poderão advir da implantação deste Sistema de Tratamento de Efluentes, decorrentes da utilização de uma água com melhores características, dentro das unidades industriais que compõem o CEA.

CAPÍTULO - 3

TÉCNICAS PARA O TRATAMENTO DE EFLUENTES E REJEITOS

A fim de tornar viável a aplicação do conceito de Descarga Zero, há a necessidade de se adotarem técnicas adequadas ao tratamento de efluentes químicos e radioativos, sendo de fundamental importância, ter-se uma visão geral com relação ao atual estágio de desenvolvimento tecnológico e sua aplicabilidade em um sistema de tratamento que busca em última análise, recuperar a água presente no efluente.

Desta forma, serão apresentadas a seguir, algumas das técnicas já desenvolvidas e consolidadas, utilizadas amplamente para o tratamento de efluentes industriais, rejeitos radioativos e água para o consumo humano, passando desde as tecnologias mais simples, até aquelas enquadradas como tecnologias avançadas, destacando-se para cada uma das mesmas, vantagens e desvantagens, atual estágio de desenvolvimento e principais aplicações.

Como principais tecnologias disponíveis para serem utilizadas em uma unidade de tratamento de efluentes, destacam-se atualmente as seguintes:

- Filtração;
- Precipitação química, Coagulação/Floculação e Sedimentação;
- Tratamento Biológico;
- Troca Iônica;

- Ultrafiltração;
- Osmose Reversa;
- Eletrodialise;
- Evaporação;
- Imobilização.

Podendo haver uma combinação entre estas técnicas, para a obtenção de melhores resultados no tratamento de efluentes químicos e/ou radioativos.

3.1 - Filtração

A filtração é um processo de separação física já consagrado tecnologicamente e amplamente utilizado no tratamento de efluentes industriais, tratamento de água para abastecimento e outros processos industriais, onde o principal objetivo é separar sólidos em suspensão e/ou substâncias não dissolvidas de uma mistura fluida.^{/13, 14, 15, 16 e 17/}

O processo de separação é obtido fazendo-se o fluido atravessar uma barreira ou meio permeável, onde as partículas sólidas são interceptadas^{/13, 15, e 16/}. Normalmente o processo de filtração é utilizado após um processo de precipitação química, coagulação/floculação e/ou sedimentação.

Atualmente existem vários tipos de sistemas de filtração disponíveis no mercado, passando pelos mais simples, por exemplo os filtros com meio granular, até aqueles mais elaborados, por exemplo o filtro prensa, filtro rotativo à vácuo e a prensa desidratadora, entre outros.

Os equipamentos de filtração são especificados com base nas características da solução a ser filtrada, na quantidade de material sólido a ser removido e no diâmetro da menor partícula a ser removida.

a - Vantagens

O processo de filtração apresenta como principais vantagens os fatores seguintes:

- Tecnologia bem desenvolvida;
- Processo econômico;
- Grande variedade de sistemas de filtração disponíveis comercialmente;
- Baixo consumo de energia;
- Sistema de fácil operação.

b - Desvantagens

O processo de filtração apresenta como principal desvantagem, o fato de não ser um processo primário de tratamento e sim utilizado como processo complementar ao processo de precipitação química e sedimentação.

3.2 - Processo de Precipitação Química, Coagulação Floculação e Sedimentação

Estes processos são apresentados em uma única seção, porque são utilizados em conjunto, como tratamentos consecutivos para a mesma corrente.^{/15/}

O processo de precipitação consiste em converter as substâncias solúveis presentes na solução a ser tratada em formas ou espécies insolúveis, envolvendo uma alteração do equilíbrio químico, que afeta a solubilidade destas substâncias.^{/15 e 35/}

A alteração do equilíbrio químico (precipitação), pode ser obtida por uma das formas seguintes:

- adicionando-se uma substância que reage quimicamente com a substância em solução, formando um composto insolúvel;
- adicionando-se uma substância que irá causar um deslocamento no equilíbrio químico da espécie presente na solução, no sentido de desfavorecer a permanência desta em solução;
- adicionando-se compostos que reajam entre si, formando um precipitado que irá arrastar o composto que se deseja remover (co-precipitação).
- alterando-se a temperatura de uma solução saturada ou próxima à saturação, no sentido de diminuir a solubilidade do composto presente.

O processo de coagulação/floculação consiste em se promover a neutralização das cargas elétricas das partículas insolúveis que se encontram em suspensão, a fim de permitir a aproximação e colisão entre as mesmas, de forma que ocorra uma aglomeração, ou seja, formação de flocos, obtendo-se partículas maiores que poderão ser facilmente removidas da solução.^{/15 e 18/}

Para a neutralização das partículas carregadas eletricamente (coagulação), que se encontram em suspensão, é feita a adição de certos compostos químicos que apresentam cargas elétricas contrárias àquelas das substâncias presentes na solução.

A aglomeração das partículas (floculação), após o processo de coagulação, é obtida por meio de processo de agitação lenta. Esta agitação possibilita a colisão entre as partículas que se unem e ao longo do processo de agitação aumentam o tamanho dos agrupamentos. Outra forma de obter partículas maiores, é através da adição de um composto químico, que por fenômenos físicos adsorvem as partículas menores presentes na solução, facilitando desta forma, a remoção das mesmas da solução.

O processo de sedimentação, última etapa do processo de tratamento da sequência apresentada acima, consiste em um processo puramente físico, no qual as partículas que se encontravam em suspensão, após a floculação, sedimentam pela ação da gravidade e inércia, que agem sobre as partículas e sobre o próprio líquido.

a - Vantagens

O processo de tratamento descrito acima, apresenta como vantagens, as características seguintes:

- Processo relativamente simples e bem desenvolvido tecnologicamente;
- Pode ser operado em bateladas ou continuamente;
- Baixo custo de implantação e operação;
- Facilidade de operação;
- Equipamentos disponíveis no mercado;
- Pode ser aplicado para efluentes com uma grande variedade de metais dissolvidos e outras substâncias inorgânicas;
- Permite a remoção seletiva das substâncias presentes.

b - Desvantagens

Como principais desvantagens, o processo de precipitação química, coagulação/floculação e sedimentação, apresenta:

- Todo processo de precipitação química está associado a um processo de separação complementar, por exemplo, sedimentação e/ou filtração;
- A presença de óleos e graxas podem interferir no processo.

3.3 - Processos Biológicos

Os processos biológicos são em geral, a técnica mais eficiente para tratar efluentes contendo material orgânico^{/14/}, que consiste basicamente em colocar em contato, o efluente a ser tratado com uma mistura de microorganismos, em condições adequadas, de forma que a matéria orgânica presente no efluente seja estabilizada, através de reações de decomposição catalisadas por enzimas liberadas pelos microorganismos^{/15/}.

Nos processos biológicos, geralmente não há a alteração ou destruição de compostos inorgânicos, na verdade, a concentração de certos compostos inorgânicos, como por exemplo os íons metálicos, deve ser mantida baixa, a fim de não inibir a atividade dos microorganismos^{/15/}.

Atualmente estão sendo desenvolvidas técnicas, para o tratamento de efluentes contendo metais pesados e radionuclídeos, utilizando microorganismos, em função da capacidade dos mesmos acumularem estas substâncias^{/19, 20 e 35/}. A capacidade de acumulação destes compostos é resultado da combinação dos processos de troca iônica e complexação, que os microorganismos são capazes de desempenhar.

Espécies aniônicas, como cloretos e sulfatos, não são afetadas pelo tratamento biológico.

Dentre os principais processos biológicos, destaca-se o processo de Lodos Ativados, sendo o mais utilizado para o tratamento de efluentes, porque é possível controlar e conduzir o processo, para o desenvolvimento de uma cultura de microorganismos aclimatada, ou seja, uma cultura específica para o tratamento de um determinado efluente, podendo ser utilizado até para o tratamento de efluentes com íons metálicos.

a - Vantagens

Os processos biológicos apresentam como vantagens principais:

- A tecnologia já é bem desenvolvida;
- Podem ser utilizados para o tratamento de efluentes industriais;
- Podem ser adaptados para o tratamento de um efluente específico.

b - Desvantagens

Como principais desvantagens, os processos biológicos apresentam:

- Possibilidade de liberação de compostos orgânicos voláteis para a atmosfera;
- Necessidade de pré tratamento dos efluentes, antes de serem submetidos ao processo biológico;
- Possibilidade de inibição da atividade dos microorganismos ou até da destruição da cultura dos mesmos, em função de variações das características do efluente alimentado ao processo.

3.4 - Troca Iônica

O processo de troca iônica, embora amplamente utilizado para a adequação da água, para usos industriais, onde exige-se características físico-químicas que não são obtidas por processos convencionais de tratamento, na área relacionada ao meio ambiente tem sido aplicado apenas no tratamento de rejeitos radioativos em instalações nucleares, a fim de adequa-los para liberação no sistema de tratamento de efluentes convencionais, ou então, para o meio ambiente^{/13/}.

Este processo consiste na utilização de um composto natural ou sintético, orgânico ou inorgânico, que irá remover os íons dissolvidos de uma solução aquosa^{/14, 16 e 21/}.

No processo de tratamento, as resinas como são chamados os trocadores sintéticos ou as zeólitas, trocadores naturais são colocados em recipientes adequados, formando um leito granular fixo pelo qual faz-se fluir a solução a ser tratada.

Durante a passagem da solução através do leito de resinas ou zeólita, devido a maior afinidade dos íons que se encontram em solução, pelos radicais da resina ou zeólito, ocorre a substituição dos íons da resina pelos íons da solução, obtendo-se desta forma, a purificação da solução, uma vez que os íons pelos quais as substâncias tóxicas da solução foram substituídos, não apresentam perigo.

As resinas sintéticas, são mais vantajosas que as zeólitas, uma vez que podem ser regeneradas e reutilizadas, o que não é viável para os trocadores naturais.

O processo de troca iônica é adequado nos casos onde os contaminantes presentes estejam a níveis de traço, sendo mais indicado como processo de "polimento" final em uma unidade de tratamento de efluentes.

a - Vantagens

O processo de troca iônica apresenta como vantagens principais:

- Possibilidade de obtenção de um efluente tratado com qualidade superior a qualquer outro processo de tratamento;
- É um processo seletivo, podendo preferencialmente remover íons indesejáveis;
- Os equipamentos são disponíveis comercialmente, por uma variedade de fornecedores, o que mantém os custos competitivos;
- A operação do sistema pode ser manual ou automática.

b - Desvantagens

As principais desvantagens do processo de troca iônica são:

- Necessidade de produtos químicos para a regeneração das resinas de troca iônica, ou necessidade de disposição das resinas ou zeólitos exauridos;
- A concentração do efluente a ser tratado é limitada, sendo mais indicado para correntes com baixa concentração de íons;

- A presença de compostos orgânicos, sílica coloidal ou material em suspensão diminui a capacidade de troca das resinas ou zeólitos;
- O crescimento de microorganismos no interior dos leitos pode contamina-los, com conseqüente perda na capacidade de troca das resinas;
- Necessidade de operadores com bom nível de treinamento;
- Pequenas mudanças nas características da alimentação podem alterar significativamente a eficiência do processo;
- Quando da regeneração das resinas, a solução obtida após este processo deve ser tratada;
- A estabilidade à radiação das resinas naturais é baixa.

3.5 - Ultrafiltração

O processo de ultrafiltração consiste basicamente em se bombear uma solução através de uma membrana porosa, que por processo de interceptação retém os contaminantes presentes nesta solução^{/15 e 16/}.

A primeira vista este processo poderia ser considerado como um simples processo de filtração no entanto, através deste processo substâncias coloidais, sólidos suspensos com pequeno diâmetro de partícula e até moléculas com alto peso molecular podem ser separadas de uma solução^{/16/}, o que não acontece nos processos convencionais de filtração.

Em certos casos, agentes complexantes com alto peso molecular, permitem remover metais dissolvidos de soluções aquosas diluídas^{/22/}.

No processo de ultrafiltração, obtém-se duas correntes distintas, o filtrado que poderá ser reaproveitado ou liberado para o meio ambiente e o concentrado, que compreende menos de 5% do volume alimentado.

a - Vantagens

O processo de ultrafiltração apresenta como vantagens principais:

- Possibilidade de remover seletivamente, metais dissolvidos de soluções aquosas diluídas;
- Este processo pode ser facilmente integrado a outro processo de tratamento;
- Apresenta alta eficiência de remoção dos contaminantes, podendo chegar a 100% em alguns casos;
- Não apresenta consumo elevado de energia durante o seu funcionamento.

b - Desvantagens

Como principais desvantagens, o processo de ultrafiltração apresenta:

- Não é adequado para o tratamento de soluções com elevada concentração de material particulado;
- Muitas membranas são suscetíveis ao ataque químico;
- O concentrado obtido deve ser tratado ou imobilizado, para disposição final;

- Não é eficiente para o tratamento de soluções que apresentem substâncias iônicas dissolvidas.

3.6 - Osmose Reversa

A osmose reversa é um processo relativamente novo, que é utilizado principalmente para a dessalinização de água do mar, com o objetivo de adequá-la para consumo como água potável^{23/}.

Recentemente, esta tecnologia vem ganhando espaço na área de tratamento de efluentes e rejeitos de baixo nível^{24 e 35/}.

O processo de osmose reversa baseia-se no processo osmótico natural, onde duas soluções com diferentes concentrações de um determinado soluto, quando separadas por uma membrana semi permeável, ocorre o fluxo de solvente da solução mais diluída para a mais concentrada, até que seja atingido o equilíbrio osmótico.

No caso da osmose reversa, uma pressão hidráulica superior à pressão osmótica de equilíbrio é aplicada na solução mais concentrada, fazendo com que ocorra o fluxo de solvente desta solução concentrada para a mais diluída, daí o termo osmose reversa^{15, 16, 21 e 23/}.

Deve ser observado que este processo é adequado para o tratamento de soluções que contenham espécies dissolvidas, que só poderiam ser tratadas pelo processo de evaporação ou troca iônica.

Este processo de tratamento pode ser aplicado para soluções cuja concentração de sais dissolvidos varie de 5 mg/L (miligramas por litro), até 34.000 mg/L^{15/}, podendo-se obter uma recuperação de água de até 90% do volume alimentado ao processo, quando o sistema é operado com recirculação de concentrado para a alimentação do sistema.

a - Vantagens

O processo de osmose reversa apresenta como vantagens principais:

- Não necessita de quantidades elevadas de energia, uma vez que não há mudança de fase da solução a ser processada;
- Baixo custo de investimento e operação;
- Não necessita de grandes espaços para a sua instalação;
- Não necessita de operadores altamente qualificados;
- É adequado ao tratamento de soluções que apresentem íons dissolvidos como principais contaminantes.

b - Desvantagens

Como principais desvantagens, o processo de osmose reversa apresenta:

- Não é adequado ao tratamento de soluções com material em suspensão;
- A membrana pode sofrer ataque químico por alguns materiais dissolvidos presentes na solução a ser tratada;

- Necessidade de pré tratamento da solução a ser submetida a este processo;
- Necessidade de tratamento ou imobilização do concentrado obtido, para posterior disposição, que pode representar até 10% do volume alimentado ao sistema.

3.7 - Eletrodialise

Da mesma forma que o processo de osmose reversa, o processo de eletrodialise purifica ou concentra uma determinada solução, por meio de um fluxo preferencial, através de uma membrana semi permeável^{16/}.

Porém, esta é a única semelhança, uma vez que a transferência de massa através da membrana que separa as soluções é devida a uma diferença de potencial elétrico aplicado entre a membrana e ainda, são as espécies iônicas presentes nas soluções, que permeiam através da membrana^{15 e 16/}.

O processo de tratamento por eletrodialise consiste em aplicar uma diferença de potencial elétrico entre um conjunto de membranas semi permeáveis, adequadas às espécies a serem separadas, instaladas em um recipiente adequado (célula), que contém a solução a ser tratada. As espécies iônicas deslocam-se através das membranas, ocorrendo desta forma a purificação da solução e a concentração das espécies iônicas.

a - Vantagens

O processo de tratamento por eletrodialise apresenta as seguintes vantagens:

- Operação à pressão atmosférica e temperatura ambiente;
- Pode-se obter soluções concentradas com até 20% em sais;
- Quando a alimentação é adequadamente tratada e as membranas limpas regularmente, elas podem operar por até cinco anos.

b - Desvantagens

Como principais desvantagens, o processo de eletrodialise apresenta:

- A presença de sólidos em suspensão ou compostos orgânicos em concentrações elevadas podem bloquear as membranas;
- Agentes oxidantes, ou a presença de íons ferroso ou manganoso em concentração superior a 0,3 mg/L podem danificar as membranas;
- Em valores de pH superiores a 8,0, pode ocorrer a diminuição do tempo de vida útil das membranas;
- A presença de cálcio e sulfato, superior a concentração de 400 mg/L pode causar a precipitação de sulfato de cálcio;
- O desempenho da membrana deve ser monitorado devido a diminuição da eficiência;
- Existe a possibilidade de ocorrer a eletrólise da água, com formação de hidrogênio e oxigênio, que são altamente reativos, .

3.8 - Evaporação

A evaporação é um processo comumente utilizado em operações industriais, tratamento de rejeitos radioativos e efluentes perigosos, tanto na indústria convencional, quanto na nuclear e que consiste basicamente na transformação do solvente que faz parte da solução a ser tratada, da fase líquida para a fase gasosa, com posterior condensação desta^{/16 e 25/}.

Neste processo o solvente, geralmente água, no caso de tratamento de efluentes e rejeitos é evaporada, fazendo-se com que os contaminantes, que não são suscetíveis de mudança de fase à temperatura de operação do processo, sejam concentrados.

Através do processo de evaporação são obtidas duas correntes distintas, a primeira delas, o destilado como é chamada a corrente que sofreu processo de evaporação seguido da condensação, constituído basicamente pelo solvente da solução inicial que deverá apresentar uma alta pureza e o concentrado como é chamada a corrente residual do processo de evaporação e que contém todos os contaminantes inicialmente presentes na corrente de alimentação e uma pequena fração do solvente.

Em função do tipo de equipamento utilizado, pode-se obter uma solução concentrada cuja concentração de sólidos pode variar de 20% em massa, até um resíduo praticamente seco^{/25 e 26/}, no caso dos equipamentos mais avançados, que desempenham a função de evaporador e cristalizador.

A tecnologia da evaporação já esta bem estabelecida, principalmente no que diz respeito ao tratamento de rejeitos radioativos em instalações nucleares, onde encontra grande aplicação, em função da elevada eficiência na separação dos contaminantes

radioativos presentes no rejeito, do solvente, obtendo-se desta forma, elevados fatores de descontaminação e que normalmente não poderiam ser obtidos por outra tecnologia.

a - Vantagens

O processo de evaporação apresenta como principais vantagens:

- Tecnologia bem desenvolvida;
- Pode-se obter um alto fator de descontaminação da corrente alimentada ao processo;
- Pode ser utilizado para o tratamento de soluções contendo sólidos em suspensão;
- Permite a obtenção de um efluente tratado com alto grau de pureza;
- Permite a obtenção de um concentrado com um alto teor de sólidos.

b - Desvantagens

Como principais desvantagens o processo de evaporação apresenta:

- Alto custo de implantação e operação comparados com outras técnicas de tratamento;
- Consumo elevado de energia;
- Pode apresentar problemas de corrosão, incrustação e entupimento do equipamento;

- Não é adequado para o tratamento de soluções que apresentam alta concentração de compostos voláteis.

3.9 - Solidificação

Este processo é utilizado principalmente, para tratar resíduos sólidos perigosos, lamas dos processos de tratamento de efluentes químicos e radioativos, ou ainda, pequenos volumes de efluentes líquidos com alto grau de toxicidade, representando uma alternativa segura para a disposição final dos mesmos^{13, 14 e 16/}.

O objetivo deste processo é a produção de um material sólido com características físico-químicas adequadas, para manuseio, transporte e disposição final, comparadas àquelas apresentadas pelo resíduo ou lama quando originalmente gerados.

O tratamento do efluente, resíduo ou lama, consiste em se promover a mistura do mesmo com um composto adequado (cimento, polímero orgânico, etc), nas condições de processo previamente estabelecidas, que dará origem a um sólido no qual as substâncias perigosas ficam aprisionadas.

Geralmente o processo de solidificação é utilizado na fase final dos processos de tratamento de efluentes ou rejeitos, uma vez que pela utilização das tecnologias de tratamento descritas nos itens anteriores, na maioria das vezes obtém-se uma solução concentrada ou um resíduo sólido, que não sendo suscetível de reutilização, deverá ser disposto de forma segura, a fim de minimizar o impacto que poderia ser causado ao meio ambiente, considerando-se a sua disposição sem nenhum tipo de tratamento.

Considerando o objetivo do trabalho, não cabe neste item uma apresentação das vantagens e desvantagens da técnica de solidificação, ressaltando-se que seria apenas objeto de uma apresentação destes tópicos, os processos de solidificação existentes, e que não é apresentada em função de não ser escopo deste capítulo e que uma descrição detalhada dos processos de solidificação que utilizam diferentes compostos de solidificação, pode ser obtida nas referências indicadas^{/13, 14 e 16/}.

CAPÍTULO - 4

CASO DE ESTUDO

Considerando-se as diversas fases envolvidas no desenvolvimento da tecnologia de reatores nucleares, que vão desde a etapa de purificação do urânio recebido das minas de extração, passando pelas etapas de enriquecimento isotópico e fabricação do combustível nuclear, até a construção e operação do reator nuclear, que deverão ser implantadas em escala industrial no CEA torna-se difícil estabelecer um programa para o tratamento de todos os efluentes químicos e radioativos gerados pelas diversas instalações industriais que fazem parte do programa nuclear que vem sendo desenvolvido pelo CTMSP.

Desta forma, para o desenvolvimento deste trabalho, selecionou-se apenas duas unidades industriais, que irão compor o CEA, devendo-se ressaltar que os efluentes gerados nas instalações a serem consideradas, deverão representar de forma genérica, as características físico-químicas dos efluentes das demais instalações relacionadas ao programa nuclear desenvolvido pelo Centro Tecnológico da Marinha-SP, visando principalmente, o desenvolvimento de um Sistema de Tratamento de Efluentes que atenda as necessidades relacionadas às restrições ambientais, inerentes às características do projeto, bem como o problema relacionado com a disponibilidade hídrica da região onde o CEA está sendo implantado, de forma que possa ser consolidado o conceito de "Descarga Zero" de efluentes.

Com base no exposto acima, foram consideradas na avaliação do Sistema de Tratamento de Efluentes químicos e radioativos a ser proposto neste trabalho, as instalações relacionadas abaixo:

- Laboratório de Materiais Nucleares - LABMAT; e
- Instalação Nuclear de Água Pressurizada - INAP.

4.1 - Unidades Consideradas no Sistema de Tratamento de Efluentes

A seguir será feita uma descrição sucinta das unidades a serem consideradas para o desenvolvimento do estudo que conduzirá a uma definição do Sistema de Tratamento de Efluentes, que terá como principal meta, atender o conceito de Descarga Zero.

4.1.1 - Laboratório de Materiais Nucleares

Esta instalação terá como principal função, desenvolver processos para a obtenção de pastilhas de UO_2 a partir de UF_6 enriquecido, a serem utilizadas como combustível nuclear, materiais absorvedores de neutrons e isolantes térmicos, utilizados na montagem de elementos combustíveis e elementos de controle, além de ser responsável pela caracterização físico-química dos materiais produzidos^{/27/}.

Para que os objetivos apresentados acima possam ser atingidos, o LABMAT é constituído pelos setores:

- | | |
|---------------|---------------|
| - Setor M1; | - Setor M6/7; |
| - Setor M2; | - Setor M8; |
| - Setor M3/4; | - Setor M9; |
| - Setor M5; | - Setor M10. |

Cada setor será responsável pela realização de trabalhos ligados ao processo de produção de materiais cerâmicos e metálicos, bem como pela caracterização destes materiais. A seguir encontra-se uma descrição resumida de cada um dos setores citados.

- **Setor M1:** Responsável pela caracterização física dos materiais;
- **Setor M2:** Responsável pela caracterização térmica dos materiais;
- **Setor M3/4:** Responsável pela preparação de amostras para a realização de ensaios metalográficos;
- **Setor M5:** Responsável pela realização de ensaios não destrutivos;
- **Setor M6/7:** Responsável pela compactação de pós e retificação de peças;
- **Setor M8:** Responsável pela preparação do pó para fabricação de peças;
- **Setor M9:** Responsável pela sinterização dos materiais produzidos;
- **Setor M10:** Responsável pela transformação de UF_6 ao pó de UO_2 e obtenção de APONU e/ou APOFU.

4.1.2 - Instalação Nuclear de Água Pressurizada

A INAP é uma instalação muito complexa, que terá como objetivo principal, a simulação do Reator Nuclear desenvolvido pelo Centro Tecnológico da Marinha-SP^{28/}.

Para que seja atingido este objetivo, existirão unidades de apoio, onde serão instalados equipamentos e onde serão realizadas operações diretamente relacionadas ao reator pesquisado.

Desta forma, a INAP foi projetada a fim de facilitar a operação de todos os sistemas direta ou indiretamente relacionados ao reator nuclear, sendo constituída pelos seguintes edifícios:

- Edifício Administrativo;
- Edifício Auxiliar Não Controlado;
- Edifício Auxiliar Controlado;
- Edifício do Protótipo;
- Edifício do Combustível;
- Subestação de Energia Elétrica;
- Torres de Resfriamento;
- Chaminé.

A Seguir serão descritas cada uma das unidades potencialmente capazes de gerar efluentes químicos e radioativos, observando-se que esta descrição visa apenas facilitar a compreensão dos dados com relação às características dos efluentes gerados pela INAP.

4.1.2.1 - Edifício Administrativo

Considerando-se que neste edifício só serão realizados trabalhos administrativos e que como principal efluente será gerado o efluente sanitário que deverá ser encaminhado para a estação de tratamento de esgotos do CEA, esta instalação não será considerado neste trabalho.

4.1.2.2 - Edifício Auxiliar Não Controlado

Este edifício terá como função principal, abrigar os sistemas de apoio às operações a serem realizadas no EP, EAC e EC.

No EANC ficam localizadas a Sala de Comando do Protótipo e a Sala de Proteção Radiológica, por onde serão acessados o EP e EAC.

Neste edifício serão instalados, o sistema de geração de ar comprimido, o sistema de água desmineralizada e o sistema de água gelada, além das salas de comando e suporte técnico, que irão dar condições de operação aos sistemas instalados nos demais edifícios.

4.1.2.3 - Edifício Auxiliar Controlado

O Edifício Auxiliar Controlado terá como principal função, abrigar os sistemas de processamento de rejeitos radioativos gerados na INAP, principalmente aqueles

gerados no EP, no EC e no próprio EAC, bem como abrigar os sistemas que darão suporte àqueles de processamento de rejeitos.

Serão instalados neste edifício, os sistemas seguintes:

- Sistema de Processamento de Rejeitos Radioativos Gasosos;
- Sistema de Processamento de Rejeitos Radioativos Líquidos;
- Sistema de Processamento de Rejeitos Radioativos Sólidos;
- Sistema de Ventilação e Ar Condicionado do EAC;
- Sistema de Proteção Contra Incêndio;
- Sistema de Drenagem do EAC;
- Laboratório de Radioquímica;
- Sistema de Monitoração da Radiação;
- Oficina Mecânica "Quente";
- Área de Descontaminação;
- Sistema de Vapor Auxiliar;
- Lavanderia Quente.

Em cada um destes sistemas serão realizadas atividades relacionadas a operação adequada de toda a INAP, no que se refere à operação do protótipo de testes, não cabendo aqui uma descrição mais detalhada dos mesmos, para não fugir do objetivo principal deste trabalho.

4.1.2.4 - Edifício do Protótipo

O Edifício do Protótipo terá a função de abrigar o protótipo de testes, que simulará o reator nuclear onde serão realizados os testes dos sistemas:

- Sistema de Geração de Energia Térmica no Reator Nuclear;
- Sistema de Produção de Vapor;
- Sistema de Geração de Energia Elétrica;
- Propulsão Simulada.

Para que os testes de funcionamento dos sistemas citados acima sejam realizados, no interior do edifício do Protótipo deverão estar instalados os sistemas:

- Sistema de Resfriamento de Água Principal;
- Sistema de Água de Resfriamento de Segurança;
- Sistema de Circulação de Água do Mar;
- Sistema de Dissipação de Energia do Propulsor;
- Sistema de Produção e Distribuição de Ar Comprimido;
- Sistema de Resfriamento das Baterias;
- Sistema de Ventilação e Ar Condicionado;
- Sistema de Regeneração de Ar Ambiental.

Da mesma forma que para o EAC, não será feita uma descrição mais detalhada destes sistemas, pelo mesmo motivo exposto no item referente a este edifício.

4.1.2.5 - Edifício do Combustível

Neste edifício deverão ser abrigados os sistemas que possibilitem a manipulação e a armazenagem segura dos elementos combustíveis nucleares novos e irradiados.

Neste edifício existirá uma piscina para a estocagem e manuseio dos elementos combustíveis irradiados.

Para que todas as operações relacionadas ao manuseio e estocagem dos combustíveis possam ser realizadas de forma segura, serão instalados os sistemas:

- Sistema de Manuseio e Estocagem de Combustível;
- Sistema de Resfriamento de Água da PEC;
- Sistema de Amostragem de Água da PEC;
- Sistema de Limpeza e Purificação de Água da PEC;
- Sistema de Estocagem e Controle de Nível de Água da PEC;
- Sistema de Drenagem do Edifício do Combustível;
- Sistema de Acionamento das Comportas da PEC;
- Sistema de Ventilação do Edifício do Combustível;
- Sistema de Proteção Contra Incêndio;
- Sistema de Água de Resfriamento de Segurança da PEC;
- Sistema de Monitoração da Radiação.

Da mesma forma que para o EP e o EAC, não será feita uma descrição mais detalhada destes sistemas.

4.2 - Características dos Efluentes

Em função das atividades desenvolvidas nas Instalações descritas no item anterior, serão gerados efluentes químicos e/ou radioativos com composições variadas.

Devido ao fato das instalações consideradas neste trabalho estarem ainda em fase de implantação e comissionamento (LABMAT) e fase de projeto (INAP), a composição dos efluentes foi obtida com base na operação de instalações similares, guardando-se as devidas proporções entre as instalações de referência e aquelas a serem implantadas no CEA, bem como através de balanços materiais, considerando-se as atividades a serem desenvolvidas nas instalações, e ainda, os insumos a serem utilizados nas mesmas.

A seguir são apresentadas as composições dos efluentes considerados neste trabalho, indicando-se as fontes de referência utilizadas para a obtenção destes dados.

4.2.1 - Efluentes do LABMAT

Como o LABMAT é um laboratório de desenvolvimento de processos para a obtenção de materiais nucleares, não sendo prevista a produção em escala industrial, os efluentes a serem gerados no mesmo serão típicos de laboratórios, ou seja, deverão apresentar na sua composição os compostos químicos utilizados durante a produção e caracterização destes materiais^{27/}. De acordo com a sua origem, são segregados em

orgânicos, inorgânicos e contaminados com raionuclídeos, principalmente urânio e seus produtos de decaimento.

A composição média dos efluentes a serem gerados pelo LABMAT e que servirá de base para a seleção das técnicas de tratamento a serem utilizadas, baseou-se no consumo diário de produtos químicos, tanto para produção e caracterização dos materiais produzidos, como para a limpeza dos materiais utilizados nestas etapas. Soma-se a estes, a água consumida no LABMAT, obtém-se o volume diário de 1,5 m³ para cada tipo de efluente.

Nas Tabelas 4.2.1.1 e 4.2.1.2, são apresentados o consumo de produtos químicos pelo LABMAT e a composição final dos efluentes a serem gerados por esta instalação.

Deve ser observado, que para o efluente com contaminante radioativo, considerou-se o mesmo consumo de produtos químicos, referentes aos efluentes inorgânicos, portanto a principal diferença na composição dos dois efluentes, é a presença do urânio no efluente radioativo.

TABELA 4.2.1.1 - Consumo de Produtos Químicos pelo LABMAT^{27/}

Produto	Consumo de Produtos Químicos		
	Efluente Inorgânico	Efluente Orgânico	Efluente Radioativo
Ácido Nítrico (Concentrado)	1,0 Litro	--x--	1,0 Litro
Ácido Sulfúrico (Concentrado)	1,0 Litro	--x--	1,0 Litro
Ácido Clorídrico (Concentrado)	1,0 Litro	--x--	1,0 Litro
Solução de Bicarbonato de Amônio (1 M)	2,0 Litros	--x--	2,0 Litros
Carbonato de Amônio (Sal)	10,0 gramas	--x--	10,0 gramas
Solução de Hidróxido de Sódio (1 M)	0,2 Litros	--x--	0,2 Litros
Solução de Sulfocromica	0,5 Litros	--x--	0,5 Litros
Acetona	--x--	1,0 Litro	--x--
Ácido Acético (Concentrado)	--x--	0,1 Litro	--x--
Alcool Butílico	--x--	0,1 Litro	--x--
Alcool Etilico	--x--	1,0 Litro	--x--
Detergente Líquido	--x--	0,05 Litro	--x--
Etilenoglicol	--x--	0,01 Litro	--x--
Sabão em Pó (Comercial)	--x--	50,0 gramas	--x--
Saponáceo	--x--	50,0 gramas	--x--
Tetracloroeto de Carbono	--x--	0,5 Litro	--x--

TABELA 4.2.1.2 - Composição Média dos Efluentes Químicos e Radioativos do LABMAT^{27, 29/}

Contaminante	Composição (mg/L)		
	Efluente Inorgânico	Efluente Orgânico	Efluente Radioativo
Amônio (NH_4^+)	74,50	--x--	74,50
Cloreto (Cl^-)	284,00	--x--	284,00
Cromo (Cr^{6+})	27,29	--x--	27,29
Fluoreto (F^-)	10,00	--x--	10,00
Nitrato (NO_3^-)	620,00	--x--	620,00
Sódio (Na^+)	4,60	--x--	4,60
Sulfato (SO_4^-)	1152,00	--x--	1152,00
Urânio (U^{6+})	--x--	--x--	10,00
Acetona	--x--	528,00	--x--
Ácido Acético	--x--	69,93	--x--
Alcool Butílico	--x--	54,00	--x--
Detergente Líquido	--x--	33,33	--x--
Etilenoglicol	--x--	7,42	--x--
Metoxietanol	--x--	69,20	--x--
Sabão em Pó	--x--	33,33	--x--
Saponáceo	--x--	33,33	--x--
Tetracloroeto de Carbono	--x--	531,70	--x--
pH	0	~ 7	0

4.2.2 - Efluentes da Instalação Nuclear de Água Pressurizada

O principal objetivo da INAP é a simulação do sistema de propulsão nuclear e os efluentes gerados por esta instalação serão constituídos basicamente pela purga dos sistemas de refrigeração de água, contendo como contaminantes os produtos químicos utilizados no tratamento da água destes sistemas, além dos elementos químicos inicialmente presentes na água de alimentação, uma vez que ocorre a concentração dos mesmos nestes sistemas de refrigeração. Outros efluentes a serem considerados são a corrente gerada na regeneração dos leitos de troca iônica e as soluções utilizadas no sistema de higienização,

provenientes da Lavanderia "Quente", de roupas e equipamentos utilizados nesta instalação^{/28/}.

Os efluentes gerados na INAP são oriundos principalmente dos sistemas auxiliares à operação do Reator Nuclear, principalmente dos sistemas relacionados abaixo:

- Sistema de Água de Resfriamento Principal;
- Sistemas de Água de Resfriamento de Segurança dos Edifícios do Protótipo e Combustível;
- Sistema de Geração de Água Gelada;
- Sistema de Ventilação e Ar Condicionado;
- Sistema de Resfriamento das Baterias;
- Sistema de Produção e Distribuição de Ar Comprimido do PROTER;
- Sistema de Geração de Água Desmineralizada.

Será gerado ainda, um efluente radioativo contendo detergente em sua composição, proveniente do Sistema de Processamento de Rejeitos Radioativos Líquidos (SPRL), que devido as suas características físico-químicas, bem como as condições de operação do SPRL, não será submetido a nenhum processo de tratamento.^{/30/}.

À partir da análise de documentos do projeto dos sistemas indicados acima, será considerado neste trabalho, a segregação dos efluentes gerados na INAP, nas seguintes categorias:

1. Efluentes sem Contaminantes Químicos;
2. Efluentes Químicos;

3. Efluentes Radioativos.

A origem de cada tipo de efluente, de acordo com as categorias propostas acima e o local de geração, são descritas a seguir.

4.2.2.1 - Efluentes sem Contaminantes Químicos

Os efluentes sem contaminantes químicos são constituídos basicamente, pela água condensada nos sistemas de geração de ar comprimido, sistemas de ventilação e ar condicionado, sistema de geração de água gelada e ainda, pela água utilizada para a expansão dos leitos de resina de troca iônica, do sistema de geração de água desmineralizada.

Para efeito deste trabalho, será considerado que o efluente sem contaminante químico irá apresentar na pior condição, as características da água industrial produzida no CEA. Esta postura é bastante conservativa, uma vez que no caso dos sistemas de ventilação e ar condicionado, geração de ar comprimido e água gelada, o efluente será constituído pela condensação da umidade do ar. No caso do sistema de produção de água desmineralizada, o efluente gerado durante a expansão dos leitos de resina, será a própria água desmineralizada.

A Tabela 4.2.2.1, apresenta as características do efluente sem contaminantes químicos, e ainda, o volume diário gerado.

TABELA 4.2.2.1 - Características do Efluente sem Contaminantes Químicos^{/30/}

Contaminante	Concentração (mg/L)
Bicarbonato	58,00
Ferro	2,00
Fluoreto	0,87
Manganês	0,14
Cloreto	7,60
SDT	166,20
Sulfato	30,00
Sílica	15,00
Cálcio	10,00
Magnésio	6,00
Quantidade	9,74 m ³ /dia

Este efluente será captado pelos sistemas de drenagem dos edifícios, e deverá apresentar sólidos em suspensão na sua composição, em quantidades variadas.

4.2.2.2 - Efluentes Químicos

Os efluentes químicos são constituídos basicamente, pela purga da torre de resfriamento do Sistema de Água de Resfriamento principal, purga dos resfriadores evaporativos dos edifícios do Protótipo e Combustível, pelas soluções de regeneração do Sistema de Água Desmineralizada, soluções provenientes do vazamento das bombas dos sistemas citados e os efluentes provenientes dos sistemas de drenagem dos edifícios.

Com base nos projetos de cada um dos sistemas mencionados, foram obtidas as composições dos efluentes químicos, devendo-se observar que para a obtenção das características dos efluentes provenientes da torre de resfriamento e resfriadores evaporativos, considerou-se a alimentação destes equipamentos, com a água industrial produzida no CEA, fazendo-se a dosagem de produtos químicos para evitar problemas de corrosão, incrustação e crescimento microbiológico nestes equipamentos, bem como nos equipamentos do circuito de refrigeração, e ainda, que o ciclo de concentração admitido para os componentes presentes é igual a 7.

Para obtenção das características do efluente gerado no sistema de água desmineralizada, considerou-se o consumo de produtos químicos utilizados para a regeneração dos leitos de resina, bem como a água desmineralizada consumida no processo de lavagem dos mesmos.

As quantidades de produtos químicos dosados na torre de resfriamento e resfriadores evaporativos, além do consumo de produtos químicos utilizados na regeneração dos leitos de resina de troca iônica, são apresentados nas Tabelas 4.2.2.2 e 4.2.2.3.

TABELA 4.2.2.2.a - Dosagem de Produtos Químicos na Torre de Resfriamento e Resfriadores Evaporativos^{30/}

Produto	Dosagem (mg/L)	Densidade (g/mL)
W33 - Fosfonato/Zinco/Dispersante	40,00	1,33
U55 - Polímero de Poliacrilato	60,00	1,11
W14 - Mercapto Benzotiazol	50,00	1,12

TABELA 4.2.2.2.b - Composição Química dos Produtos Dosados na Torre de Resfriamento e Resfriadores Evaporativos^{/30/}

Produto	Composição Química (mg/L)						
	SO ₄	NH ₃	Cl	SDT	NO ₃	NO ₂	PO ₄
W33 [@]	22E3	8,9E3	--x--	513E3	--x--	<0,1	0,90
U55 [@]	4,5E3	420	19,7E3	300E3	92	0,37	--x--
W14 [@]	560	1,3E3	6,5E3	214E3	<6	8,4	--x--

TABELA 4.2.2.3 - Produtos Químicos Consumidos na Regeneração dos Leitos de Resina de Troca Iônica^{/30/}

Produto	Consumo (m ³)		
	Leito Catiônico	Leito Aniônico	Leito Misto
HCl (6%)	0,75	--x--	0,25
NaOH (4%)	--x--	1,84	0,37

O volume total diário dos efluentes com contaminantes químicos provenientes do EANC, EC e EP encontram-se na Tabela 4.2.2.4.

TABELA 4.2.2.4 - Volume de Efluentes com Contaminantes Químicos Gerados no EANC, EC e EP^{/30/}

Edifício	Volume (m ³ /dia)
EANC (Sistema de Geração de Água Desmineralizada)	18,25
EC (Purga dos Resfriadores Evaporativos)	0,72
EP (Purga dos Resfriadores Evaporativos e Sistema de Água de Resfriamento Principal)	126,00

[@] - Nome comercial do produto.

Com base nos dados apresentados acima, bem como nos dados de projeto dos sistemas geradores de efluentes, é obtida a composição média dos Efluentes Químicos gerados na INAP e que é apresentada na tabela 4.2.2.5.

TABELA 4.2.2.5 - Composição Média dos Efluentes Químicos da INAP^{30/}

Contaminante	Concentração (mg/L)
Sódio	359,00
Ferro	12,14
Fluoreto	6,60
Manganês	0,85
Cloreto	448,00
Sulfato	226,20
Sílica	113,00
Cálcio	75,10
Magnésio	45,00
Nitrato	1,50
Nitrito	0,22
Zinco	2,20
SDT [#]	1977,00
pH	~ 8
Quantidade	144,97 m ³ /dia

4.2.2.3 - Efluentes Radioativos

Na INAP, todas as correntes potencialmente contaminadas com substâncias radioativas, serão encaminhadas para o Sistema de Processamento de Rejeitos Radioativos

[#] Valor obtido considerando-se a soma das concentrações dos contaminantes.

Líquidos (SPRL). De acordo com a sua atividade específica e composição química, são encaminhadas para tratamento.

No SPRL, as correntes radioativas são tratadas pelo processo de troca iônica ou evaporação, com exceção das correntes que contenham detergente. Este último é submetido ao processo de filtração é monitorado e liberado, devido ao nível baixo de atividade esperado, atendendo aos requisitos de proteção radiológica.

A corrente que contém detergente não poderá ser liberada diretamente para o meio ambiente, em função da presença de surfactantes e materiais radioativos na mesma, caracterizando-se desta forma, como um efluente radioativo a ser considerado neste trabalho.

Na Tabela 4.2.2.6 encontra-se a composição esperada para este efluente, podendo-se variar as atividades dos elementos radioativos.

TABELA 4.2.2.6 - Composição do Efluente Radioativo^{/30/}

Nuclídeo	Atividade Específica (Bq/m ³)
P-32	1,33e+04
Cr-51	3,48e+05
Mn-54	2,81e+05
Fe-55	5,33e+05
Fe-59	1,63e+05
Co-58	5,85e+05
Co-60	1,04e+06
Ni-63	1,26e+05
Sr-89	6,51e+03
Sr-90	6,22e+03

TABELA 4.2.2.6 - Continuação

Nuclídeo	Atividade Específica (Bq/m ³)
Y-91	6,22e+03
Zr-95	7,84e+04
Nb-95	1,41e+05
Mo-99	4,44e+03
Ru-103	2,15e+04
Ru-106	6,59e+05
Ag-110m	8,88e+04
Sb-124	3,18e+04
I-131	1,18e+05
Cs-134	8,14e+05
Cs-136	2,74e+04
Cs-137	1,18e+06
Ba-140	6,73e+04
Ce-141	1,70e+04
Ce-144	2,89e+05
Surfactantes	1500 mg/L (máxima)
pH	~ 9
Volume Gerado	25 m ³ a cada 20 dias

4.3 - Proposta de Arranjos para o Sistema Integrado de Tratamento de Efluentes Químicos e Radioativos

Neste item são indicados os arranjos possíveis para o Sistema Integrado de Tratamento de Efluentes Químicos e Radioativos. A avaliação com relação à viabilidade de aplicação dos mesmos , é feita em uma etapa posterior deste trabalho.

Pelos dados apresentados nos itens anteriores, pode-se verificar que a maior parte dos contaminantes químicos presentes nos efluentes, são compostos iônicos inorgânicos,

altamente solúveis nas condições em que se encontram no efluente, com exceção dos contaminantes presentes no efluente orgânico do LABMAT.

Outra característica que deve ser ressaltada é o fato da maioria dos contaminantes químicos presentes nos efluentes tanto do LABMAT quanto da INAP, serem substâncias iônicas que não formam compostos insolúveis, através de reações químicas com outros compostos, excetuando-se desta observação os íons sulfato, fluoreto, Cromo, Urânio hexavalente, Cálcio, Magnésio, Ferro, Zinco, surfactantes e detergentes, que são passíveis de precipitação química, através do uso de substâncias adequadas.

Considerando-se o exposto acima e ainda, os processos disponíveis para o tratamento de efluentes, já apresentados no Capítulo 3 deste trabalho, são apresentados a seguir, os possíveis arranjos para o sistema integrado de tratamento dos efluentes em questão.

Cada um dos arranjos é avaliado, usando-se os dados disponíveis em literatura e conhecimento técnico, a fim de se optar por um único arranjo, que será avaliado experimentalmente, onde serão obtidos os dados referentes a sua eficiência para o tratamento destes efluentes, bem como para demonstrar a viabilidade da implantação do conceito de Descarga Zero para o CEA.

4.3.1 - Arranjo Nº 01 - Tratamento Biológico

Para este arranjo, considera-se apenas o tratamento de todos efluentes, através de processos biológicos, principalmente o processo por lodos ativados, que é altamente eficiente para a redução da carga orgânica dos efluentes, podendo também

promover a redução no nível de contaminação de algumas substâncias inorgânicas, através da absorção destas, pelos microrganismos.

Neste sistema de tratamento, é necessário que os efluentes industriais sejam tratados juntamente com os efluentes de origem doméstica, ou seja, com os efluentes provenientes de sanitários e refeitório, para garantir o suprimento de matéria orgânica para os microrganismos, bem como promover uma diluição dos compostos tóxicos, presentes nos efluentes do LABMAT e da INAP e que poderiam inibir ou até mesmo cessar a atividade dos microrganismos. Através deste processo obtém-se o efluente purificado e os resíduos sólidos, principalmente o lodo gerado no reator biológico, que deverá ser gerenciado posteriormente. Desta forma, o arranjo para este sistema de tratamento deverá contar com as etapas de processamento apresentadas na forma de diagrama esquemático na figura 4.3.1.

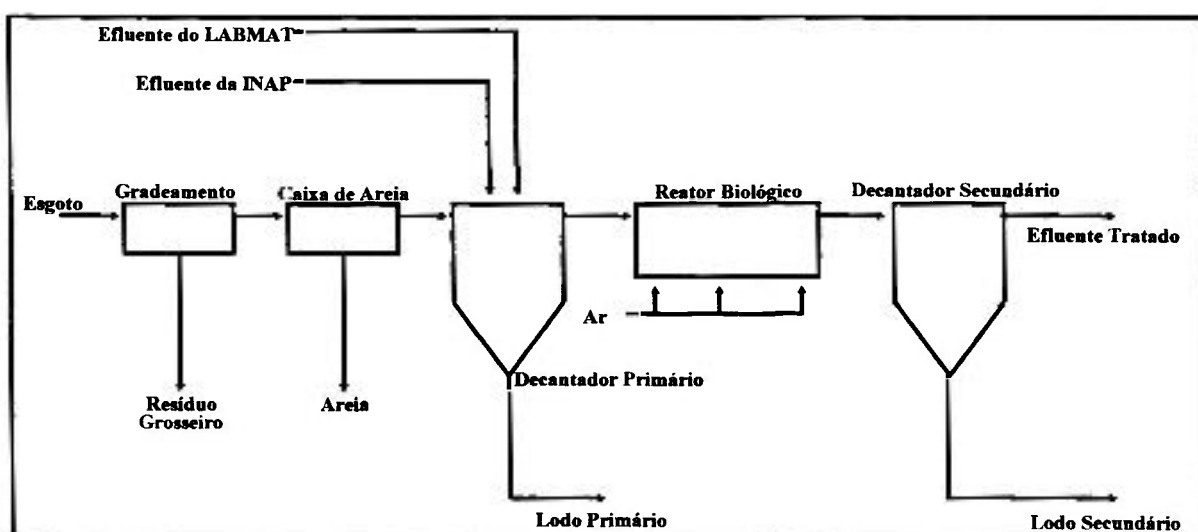


Figura 4.3.1 - Arranjo para o Tratamento dos Efluentes do LABMAT e INAP, por Processo Biológico

4.3.2 - Arranjo Nº 02 - Evaporação Direta

Neste arranjo, todos os efluentes originados no LABMAT e INAP, poderão ser misturados em um único tanque e submetidos ao processo de evaporação, onde seriam obtidas duas correntes distintas, o destilado, com um alto grau de pureza e o concentrado, que deverá ser disposto de forma segura. Na Figura 4.3.2 é apresentado o diagrama esquemático para este arranjo.

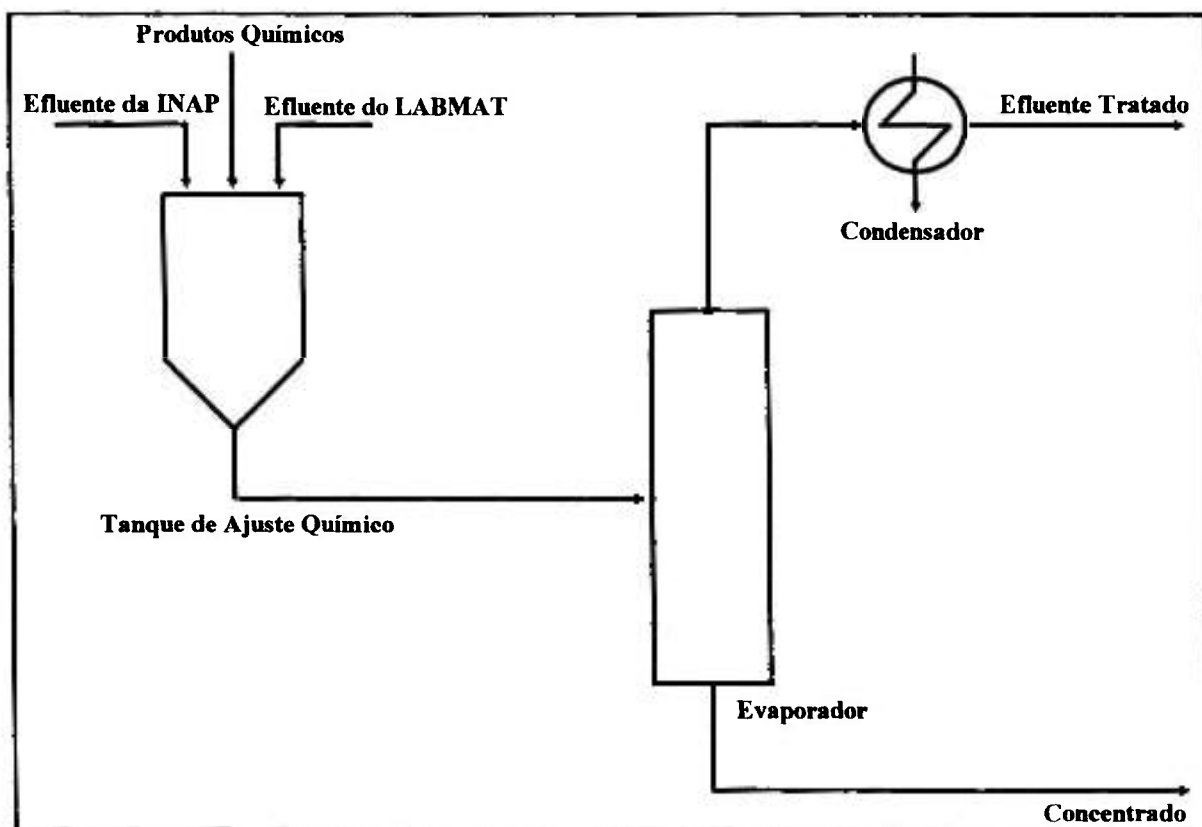


Figura 4.3.2 - Arranjo para o Tratamento de Efluentes do LABMAT e INAP, pelo Processo de Evaporação Direta

4.3.3 - Arranjo Nº 03 - Tratamento por Precipitação Química e Osmose Reversa

Conforme apresentado no Capítulo 3, o processo de tratamento por osmose reversa é adequado para o tratamento de efluentes que apresentam íons dissolvidos em sua composição, embora não seja adequado para efluentes que contenham sólidos em suspensão, compostos orgânicos em concentrações elevadas e agentes oxidantes. Desta forma torna-se necessária a utilização de um pré-tratamento dos efluentes, por exemplo precipitação química e/ou filtração, que deverá ser utilizado no sistema integrado de tratamento de efluentes. Também neste processo, são obtidas duas correntes distintas, o permeado, constituído basicamente pela água presente no efluente que apresenta um alto grau de qualidade e o concentrado, onde deverão estar presentes os contaminantes químicos do efluente alimentado à este sistema e que deverá ser disposto de forma segura. Neste caso, não seria possível promover a mistura de todos os efluentes abordados anteriormente, principalmente o efluente orgânico do LABMAT, que deveria ser submetido a um outro processo de tratamento. Na Figura 4.3.3 é apresentado um diagrama esquemático para este arranjo.

4.3.4 - Arranjo Nº 04 - Tratamento por Precipitação Química e Eletrodiálise

Da mesma forma que para o processo por osmose reversa, o tratamento por eletrodiálise também exige um pré-tratamento dos efluentes, que deve ser o de precipitação química e/ou filtração, valendo as demais observações efetuadas para o processo por osmose reversa. Para este arranjo, utiliza-se o mesmo diagrama apresentado para o tratamento por osmose reversa (Figura 4.3.3), substituindo-se a unidade de osmose reversa, por uma de unidade de eletrodiálise.

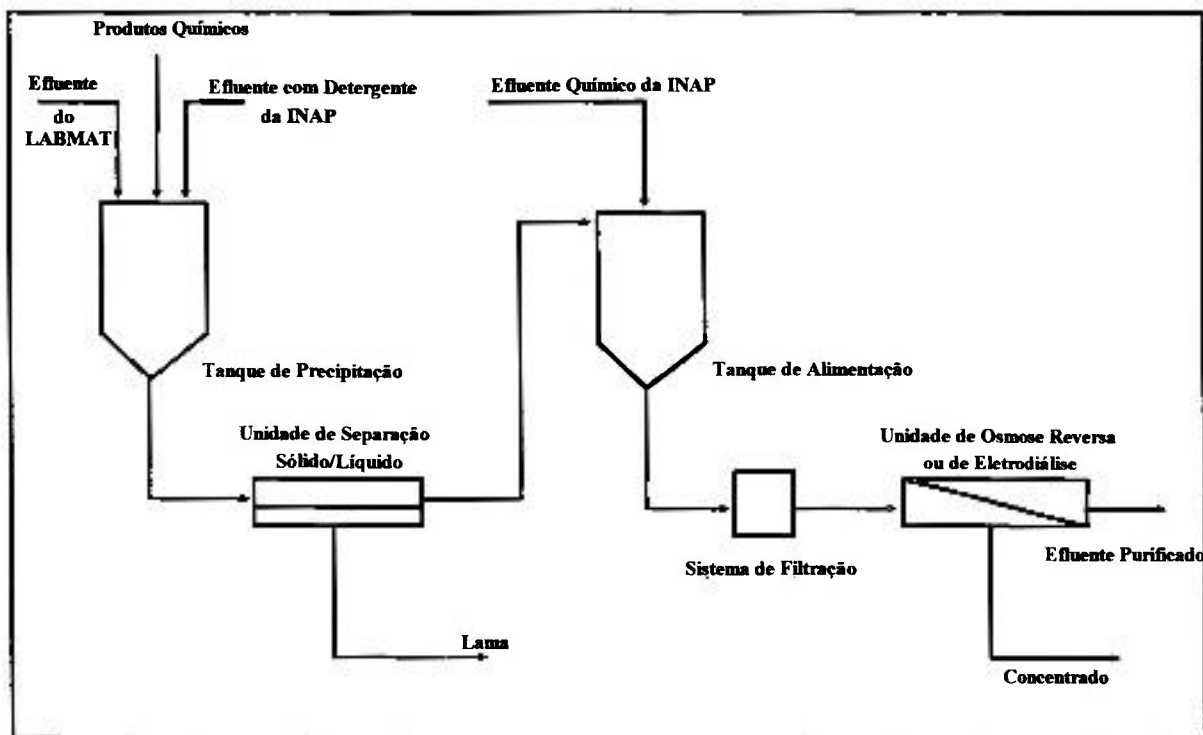


Figura 4.3.3 - Arranjo para o Tratamento de Efluentes do LABMAT e INAP, pelo Processo de Precipitação Química e Osmose Reversa

4.3.5 - Arranjo Nº 05 - Tratamento por Precipitação Química, Osmose Reversa e Evaporação

Neste processo, utiliza-se a combinação entre o processo de osmose reversa, que deverá ser precedido por um pré-tratamento do efluente, conforme apresentado no item 4.3.3, e o processo de evaporação, apresentado no item 4.3.2. Neste caso, o processo de evaporação é utilizado para concentrar ainda mais, a corrente rejeitada na unidade de osmose reversa, promovendo desta forma, um aumento no volume de água passível de

recuperação e uma redução no volume de concentrado a ser disposto. Na Figura 4.3.4 é apresentado um diagrama esquemático para este arranjo.

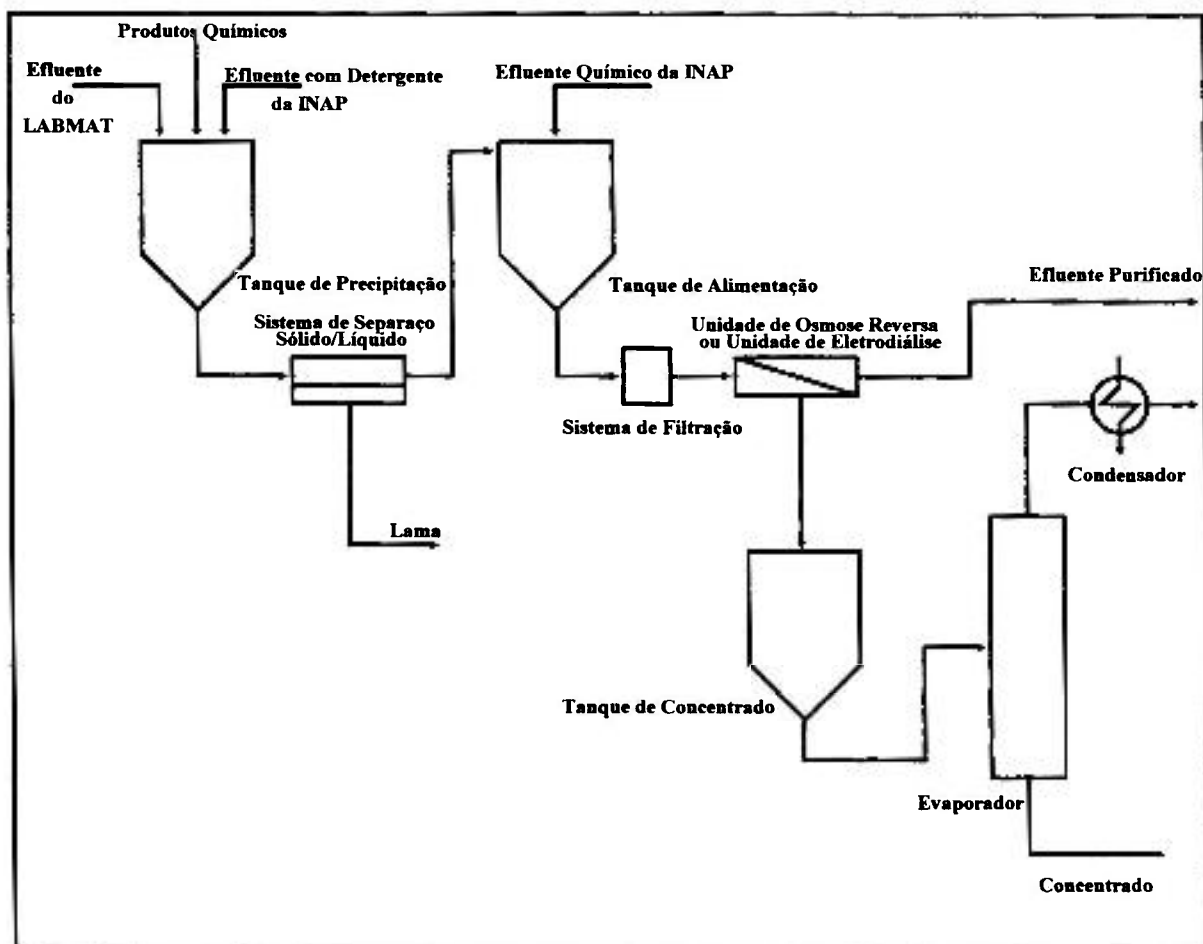


Figura 4.3.4 - Arranjo para o Tratamento de Efluentes do LABMAT e INAP, pelo Processo de Precipitação Química, Osmose Reversa e Evaporação

4.3.6 - Arranjo Nº 06 - Tratamento por Precipitação Química, Eletrodiálise e Evaporação

Este processo é similar ao processo apresentado no item anterior, substituindo-se apenas a unidade de osmose reversa pela unidade de eletrodiálise .

4.3.7 - Arranjo Nº 07 - Tratamento por Precipitação Química, Osmose Reversa, Evaporação e Troca Iônica

Neste processo, além das considerações apresentadas no item 4.3.5, é incluída uma unidade de troca iônica (leito misto), para promover um polimento final da corrente purificada pelo processo de osmose reversa e do destilado do processo de evaporação, o que garantirá a produção de uma água com alto grau de qualidade. Na figura 4.3.5 é apresentado um diagrama esquemático para este arranjo.

4.3.8 - Arranjo Nº 08 - Tratamento por Precipitação Química, Eletrodiálise, Evaporação e Troca Iônica

Este arranjo é idêntico àquele apresentado no item 4.3.7, substituindo-se apenas a unidade de osmose reversa por uma unidade de Eletrodiálise.

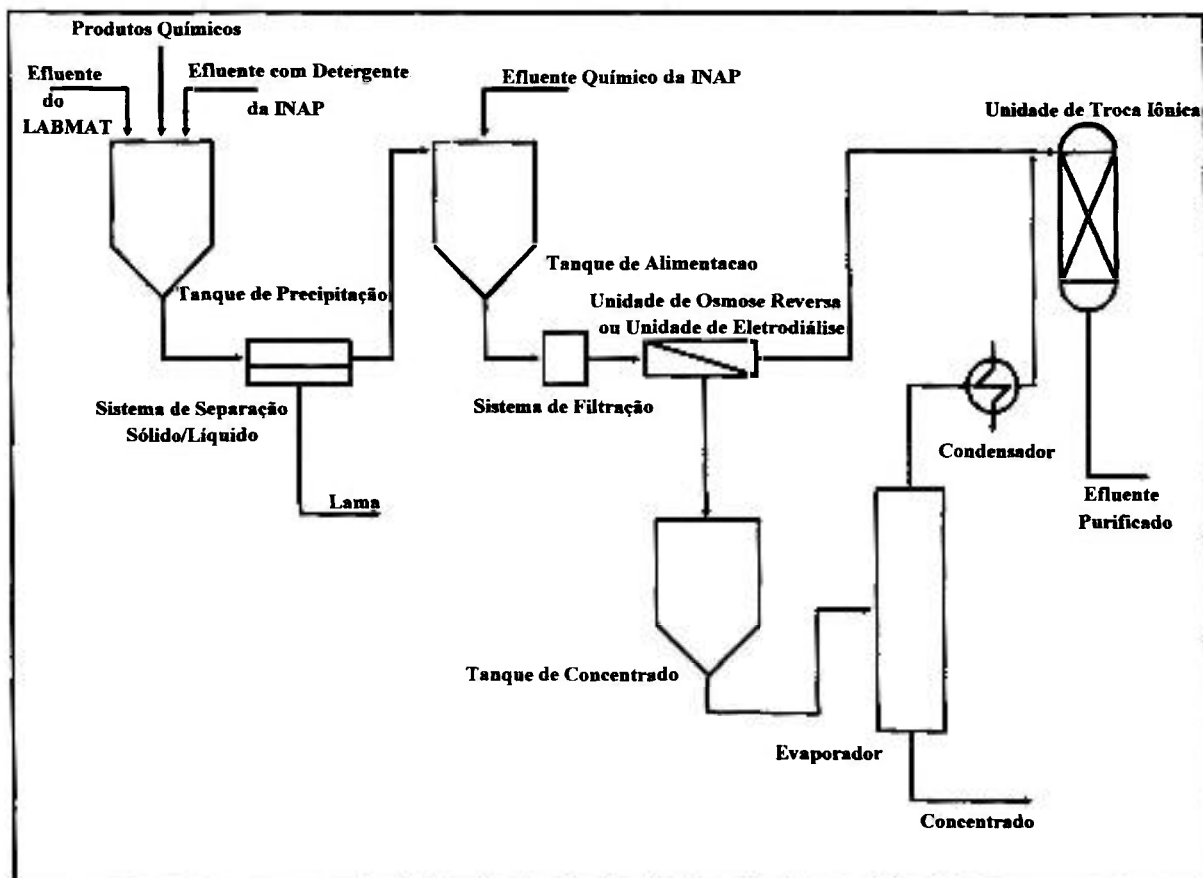


Figura 4.3.5 - Arranjo para o Tratamento de Efluentes do LABMAT e INAP, pelo Processo de Precipitação Química, Osmose Reversa, Evaporação e Troca Iônica

4.4 - Análise e Seleção do Arranjo para o Sistema de Tratamento de Efluente a Ser Avaliado Experimentalmente

Neste item é feita uma análise com relação a viabilidade de aplicação dos arranjos propostos anteriormente, para o sistema de tratamento de efluentes do LABMAT e da INAP, para que se opte por um único arranjo a ser testado experimentalmente e que dará subsídios para a consolidação do conceito de Descarga Zero para o CEA, proposto neste trabalho.

A análise dos arranjos propostos será feita com base em dados de literatura, conhecimento técnico e caso necessário, procedendo-se uma análise econômica dos arranjos propostos. A avaliação econômica só será efetuada, caso não seja possível optar por um, entre dois ou mais dos arranjos propostos, com base nos dados disponíveis em literatura e conhecimento técnico.

4.4.1 - Avaliação do Arranjo Nº 01

À primeira vista, este arranjo já seria adequado ao sistema de tratamento de efluentes uma vez que com um único processo, que é extremamente necessário para o tratamento do esgoto sanitário do CEA e que será implantado independentemente dos efluentes industriais, pode-se promover o tratamento dos efluentes das diversas unidades industriais do CEA, destacando-se o LABMAT e a INAP que são utilizados como referência neste trabalho, implicando-se apenas na reavaliação da capacidade de tratamento deste sistema.

Para atender os objetivos deste trabalho, outros fatores devem ser considerados, por exemplo:

- A qualidade do efluente a ser gerado, pois uma vez que deseja-se recircular este efluente para as diversas unidades industriais do CEA, o mesmo deverá no mínimo apresentar as características da água industrial, produzida pela Estação de Tratamento de Água e que pelo exposto no item 3.3 e em dados de literatura, não seria possível, uma vez que substâncias inorgânicas não são destruídas, podendo apenas ser parcialmente absorvidas pelos microrganismos ;

- Devido ao fato de introduzir no sistema de tratamento biológico, efluentes contendo substâncias radioativas e tóxicas, estas substâncias ao serem absorvidas pelos microorganismos farão parte da composição do lodo gerado no decantador secundário e desta forma tornando este lodo um resíduo tóxico, o que conduzirá a um gerenciamento totalmente diferente ao dado para o lodo gerado em uma instalação para efluentes exclusivamente domésticos ou orgânicos, que pode ser dispostos em aterro sanitário ou utilizado como fertilizante.

Pelo exposto acima verifica-se que este arranjo não é indicado para o tratamento integrado dos efluentes industriais do LABMAT e da INAP, ressaltando-se apenas, que poderá ser feito uso do sistema de tratamento de esgotos do CEA, para o tratamento de efluentes industriais que apresentem predominantemente em sua composição, contaminantes orgânicos, como é o caso do efluente orgânico do LABMAT.

4.4.2 - Avaliação do Arranjo Nº 02

Com base nos dados de literatura, conforme já apresentado no item 3.8, verifica-se que o processo de evaporação direta pode ser utilizado para o tratamento dos efluentes do LABMAT e da INAP, e que em função da qualidade do efluente obtido através deste processo de tratamento, viabilizaria-se o conceito que está sendo proposto neste trabalho. Ressalta-se apenas que os custos envolvidos para a implantação e operação deste sistema são elevados, e que adicionalmente será gerada uma corrente de concentrado que deverá ser gerenciada posteriormente. Em função do equipamento utilizado, esta concentrado poderá ter volume maior, quando for utilizado um sistema simples de evaporação, ou menor quando for utilizado um sistema conjunto de evaporação e cristalização.

4.4.3 - Avaliação dos Arranjos Nº 03 e Nº 04

Os dois arranjos foram avaliados em conjunto, uma vez que os processos de tratamento de efluentes envolvidos, baseiam-se na tecnologia de separação por membranas. A forma como o efluente é purificado, seja por osmose reversa ou pelo processo de eletrodialise, é o que distingue um processo do outro.

Tanto no processo por osmose reversa quanto no processo por eletrodialise, é necessário que haja um pré-tratamento do efluente que alimenta os sistemas. Outro fato que justifica a análise conjunta destes dois arranjos é a qualidade do efluente resultante, isto é, com alto grau de qualidade.

Uma das diferenças entre o processo de osmose reversa e o da eletrodialise, é a quantidade de concentrado gerado, que é menor no caso do processo de eletrodialise /15/, quando comparado com o processo de evaporação direta, ainda é uma quantidade significativa a ser gerenciada posteriormente. Por este motivo não é aconselhável utilizar os dois processos isoladamente, no sistema integrado para tratamento de efluentes do LABMAT e INAP.

4.4.4 - Avaliação dos Arranjos Nº 05 e Nº 06

Para estes dois arranjos são válidas as observações feitas no item 4.4.2, no caso do processo por evaporação e no item 4.4.3, no caso dos processos de osmose reversa e eletrodialise.

O que deve ser observado nestes arranjos é a utilização de processos de tratamento de efluentes que são complementares, ou seja, os processos de osmose reversa ou eletrodialise são adequados ao tratamento de efluentes com características semelhantes às apresentadas pelos efluentes a serem gerados pelo LABMAT e INAP (baixa concentração de sais dissolvidos). Isto gera uma quantidade de concentrado relativamente elevada e quando este concentrado é submetido a um processo de evaporação adequado, o volume de material resultante é significativamente reduzido, tornando a combinação entre os processos de purificação bastante atrativo.

Comparando-se os dois arranjos em discussão com o arranjo onde se utiliza apenas a evaporação direta dos efluentes do LABMAT e da INAP, verifica-se que o equipamento de evaporação a ser utilizado para o processo combinado deverá possuir uma capacidade inferior ao equipamento utilizado no sistema com evaporação direta, uma vez que o concentrado obtido através dos processos de tratamento por membranas é equivalente a no máximo, 10% da alimentação destes sistemas. Este fato também implica na redução do custo operacional do sistema de evaporação, considerando-se que o maior custo envolvido neste sistema é relativo à energia necessária para se promover a evaporação da água presente nos efluentes.

Com base no exposto acima, torna-se necessária uma definição com relação a utilização do processo de osmose reversa ou eletrodialise.

De acordo com o apresentado no item 4.4.3, o processo por eletrodialise apresenta a vantagem de gerar um volume de concentrado menor, quando comparado com o processo de osmose reversa. Porém, o processo por eletrodialise apresenta como desvantagens, a possibilidade de formação de gases hidrogênio e oxigênio (altamente reativos), resultantes do processo de eletrólise da água durante a operação do sistema, ser um processo eficiente para o tratamento de efluentes com contaminantes iônicos e ainda, que a comercialização deste equipamento se dá em menor escala que o processo de osmose reversa.

Considerando-se os fatores expostos acima, verifica-se que o arranjo que utiliza o processo de osmose reversa é o mais indicado para o sistema integrado de tratamento de efluentes, juntamente com o processo de evaporação. Neste caso indica-se para futuras considerações, o arranjo Nº 05.

4.4.5 - Avaliação dos Arranjos Nº 07 e Nº 08

Pelo exposto no item anterior, verifica-se que o arranjo Nº 08 não é indicado para ser utilizado no Sistema Integrado de Tratamento de Efluentes, por ser considerada a utilização do processo de osmose reversa , como uma das etapas de tratamento dos efluentes.

Já para o arranjo Nº 07, quando comparado ao arranjo Nº05, verifica-se que houve apenas o acréscimo de um leito de resinas de troca iônica, cuja a finalidade principal, é promover o polimento final dos efluentes purificados pelo processo de osmose reversa e evaporação o que irá garantir a produção de uma água com um alto grau de pureza, o que viabiliza a utilização deste arranjo para o Sistema de Tratamento de Efluentes. Por outro lado, como são previstas unidades de produção de água desmineralizada utilizando-se resinas de troca iônica em diversas instalações do CEA, podendo-se citar como exemplo a própria INAP, este arranjo não será considerado como uma opção para o Sistema Integrado de Tratamento de Efluentes.

4.5 - Arranjo Selecionado

Após uma análise dos arranjos apresentados acima e ainda, considerando-se os dados de literatura e conhecimento técnico verifica-se que o **arranjo Nº 02** e **arranjo Nº**

05 são viáveis para o Sistema Integrado de Tratamento de Efluentes, visando-se a consolidação do conceito de Descarga Zero, proposto neste trabalho.

O processo de evaporação já está bastante desenvolvido, portanto o arranjo selecionado para ser avaliado experimentalmente neste trabalho, será o **arranjo Nº 05**.

Após a verificação do desempenho no tratamento dos efluentes em questão, será feita a avaliação econômica do mesmo, para a comparação com o **arranjo Nº 02**, para então optar-se pela utilização de um destes arranjos.

A opção pelo **arranjo Nº 05** se deve ao fato da utilização de um processo alternativo ao processo de evaporação para correntes de efluentes que apresentem uma concentração de sólidos dissolvidos baixa, que é o processo de osmose reversa, cujos objetivos principais são a recuperação da água presente no efluente e o aumento na concentração de sólidos na solução a ser alimentada ao evaporador, uma vez que pelo processo de osmose reversa, pode-se obter a separação dos contaminantes dissolvidos no efluente, sendo estes contaminantes concentrados em uma solução cujo volume pode ser reduzido a 10% do volume alimentado no sistema, resultando numa solução com concentração para os contaminantes, dez vezes superior à concentração apresentada no efluente alimentado ao sistema.

Em última análise, o processo de osmose reversa visa otimizar tanto técnica, quanto economicamente qualquer sistema de tratamento de efluentes que tenha como meta principal, a recuperação da água presente em um efluente.

CAPÍTULO - 5

PARTE EXPERIMENTAL

Com base nos dados referentes às características dos efluentes químicos e radioativos considerados para este trabalho e ainda, no arranjo selecionado para o Sistema Integrado de Tratamento de Efluentes Químicos e Radioativos para o CEA, são apresentados neste item os procedimentos utilizados na avaliação experimental do sistema proposto, a fim de se verificar a viabilidade de implantação do conceito de Descarga Zero, para o CEA que é a proposta deste trabalho.

5.1 - Descrição dos Processos de Tratamento

Como o arranjo para o Sistema Integrado de Tratamento de Efluentes Químicos e Radioativos selecionado para a avaliação experimental, envolve três processos distintos, ou seja, precipitação química, osmose reversa e evaporação/cristalização, são descritas a seguir, as metodologias empregadas para a avaliação de cada um destes processos, onde é utilizada uma solução sintética, preparada a partir das composições químicas apresentadas nas tabelas 4.2.1.2, para os efluentes do LABMAT, com exceção do efluente orgânico, uma vez que este efluente poderá ser encaminhado à Unidade de Tratamento de Esgotos do CEA, considerando-se que este efluente é predominantemente orgânico, e tabelas 4.2.2.5 e 4.2.2.6, para os Efluentes da INAP, e ainda, reagentes químicos de grau analítico.

Para o efluente cujas características são apresentadas na tabela 4.2.2.6, Efluentes Radioativos da INAP, em função da dificuldade em se conseguir traçadores radioativos,

para a preparação do efluente sintético, são utilizados os compostos naturais, o que não invalida os ensaios realizados, uma vez que não é esperado um comportamento químico diferente entre os elementos radioativos e os naturais.

O efluente sem contaminantes químicos da INAP, apresentado na Tabela 4.2.2.5, não será considerado neste trabalho, em função da composição do mesmo ser muito próxima da água industrial a ser utilizada no CEA, o que justifica este procedimento.

5.1.1 - Preparação das Soluções de Efluentes

Para a preparação das soluções sintéticas utilizadas nos ensaios de tratamento, são consideradas as características químicas dos efluentes apresentados no Capítulo 4, especificamente no item 4.2 deste trabalho (**Características dos Efluentes**), utilizando-se para tanto, reagentes químicos de grau analítico e água deionizada.

A quantidade de efluente preparado levou em consideração uma estimativa do consumo do mesmo, para cada uma das etapas do teste de tratamento e que são apresentadas nos itens referentes a cada um dos ensaios realizados.

Após a preparação do efluente sintético, é feita uma caracterização analítica do mesmo. Esta caracterização tem por finalidade, dar subsídios para a avaliação de cada um dos processos de tratamento do Sistema Integrado de Tratamento de Efluentes.

5.1.2 - Ensaios de Precipitação

Para os ensaios de precipitação química foi utilizado o óxido de cálcio, como agente de precipitação, porque o mesmo é amplamente utilizado para o tratamento de água, bem como efluentes contendo metais pesados e radionuclídeos^{/31 e 32/}.

Todas as correntes de efluentes químicos e radioativos foram submetidas ao ensaio de precipitação química com óxido de cálcio (cal), para verificar a eficiência de descontaminação.

Os ensaios de precipitação foram inicialmente realizados em laboratório e individualmente para cada uma das correntes de efluente, visando-se a obtenção das melhores condições de precipitação para cada um dos efluentes considerados na proposta deste estudo. Este procedimento teve a finalidade de verificar a eficiência do processo de precipitação para o tratamento destas correntes e ainda, verificar a viabilidade de promover a mistura dos efluentes em estudo, mantendo-se no entanto a segregação entre os efluentes químicos e radioativos, uma vez que o precipitado formado no tratamento do efluente químico deverá ser submetido a um gerenciamento diferente daquele utilizado para o precipitado formado no tratamento do efluente radioativo, que além dos problemas relacionados à toxicidade química, apresenta problemas relacionados à toxicidade radiológica.

Para cada um dos efluentes, são avaliados os parâmetros de processo na sequência que são apresentados abaixo:

- Dosagem ótima do agente de precipitação e faixa ótima do pH para precipitação;
- Tempo ótimo para mistura entre o agente de precipitação e o efluente;

- Utilização de um Auxiliar de coagulação/floculação e dosagem ótima do mesmo.

Todos os ensaios foram realizados utilizando-se volumes equivalentes do efluente sintético, variando-se apenas um entre os parâmetros citados acima, para cada uma das etapas de avaliação do processo de tratamento.

A cada etapa do ensaio de precipitação, foi obtida a faixa de valores para o parâmetro avaliado, na qual o processo de tratamento apresenta a máxima redução na carga de contaminantes do efluente, sendo o valor obtido fixado, para a avaliação de outro parâmetro. Este procedimento foi repetido até definir todos os parâmetros envolvidos no processo de precipitação química e que a partir de então seriam utilizados para as demais etapas da avaliação dos processos de tratamento.

A avaliação com relação a redução na carga de contaminantes é feita mediante uma análise química dos efluentes após o processo de precipitação química e cujos resultados são comparados com os valores obtidos para o efluente sintético.

Antes de se realizarem os testes de precipitação, os efluentes serão neutralizados com hidróxido de sódio até pH próximo de 7,0, caso seja necessário.

Os ensaios de precipitação são realizados, em um aparelho de "Jar-Test", cujas características são apresentadas no item 5.3, e para os quais são estabelecidas as condições apresentadas nas Tabelas 5.1.2.1, 5.1.2.2 e 5.1.2.3 a seguir:

Tabela 5.1.2.1 - Parâmetros Utilizados na Avaliação da Dosagem do Agente de Precipitação e Faixa Ótima de pH para Precipitação

Volume de Efluente				1,0 litro		
Velocidade de Agitação				180 rpm		
Tempo de Mistura				30 minutos		
Variação na Dosagem do Agente de Precipitação (mg/L)						
Efluente do LABMAT	50	100	200	300	400	500
Efluente Químico da INAP	50	100	200	300	400	500
Efluente Radioativo da INAP	250	500	750	1000	1500	2000

Tabela 5.1.2.2 - Parâmetros Utilizados na Avaliação do Tempo Ótimo para a Mistura do Efluente com o Agente de Precipitação

Volume de Efluente			1,0 litro		
Valor do pH			Obtido no ensaio anterior		
Dosagem do Agente de Precipitação			Obtido no ensaio anterior		
Velocidade de Agitação			180 rpm		
Variação do Tempo de Mistura (Minutos)					
10	20	40	60	80	100

Tabela 5.1.2.3 - Parâmetros Utilizados na Avaliação da Eficiência do Processo de Tratamento, Utilizando-se um auxiliar de Coagulação/floculação

Volume de Efluente	1,0 litros				
Valor do pH	Obtido no ensaio anterior				
Dosagem do Agente de Precipitação	Obtido no ensaio anterior				
Velocidade de Agitação	180 rpm				
Tempo de Mistura	Obtido no ensaio anterior				
Tempo para Coagulação/floculação	10 minutos				
Variação na Dosagem do Auxiliar de Coagulação/floculação (mg/L)					
0,5	1,0	2,0	4,0	6,0	8,0

Os valores referentes às dosagens do auxiliar de coagulação/floculação foram adotados de acordo com as recomendações do fornecedor do produto.

A avaliação da eficiência de cada uma das etapas do processo de precipitação química é feita com base na Demanda Química de Oxigênio (DQO), do Efluente. Este é um parâmetro utilizado para o controle da carga de poluição de um efluente. Na impossibilidade de se utilizar o valor da DQO para o controle da eficiência do processo de tratamento, o controle do processo será feito com base na redução da concentração dos íons metálicos e radioativos.

Estabelecidas todas as condições relativas ao processo de precipitação, são efetuados ensaios completos para o tratamento por precipitação química para cada uma das correntes de efluente, neste caso, o sobrenadante resultante é ainda submetido a um processo de separação de sólidos, por centrifugação e finalmente os efluentes clarificados são submetidos a uma análise química para todos os contaminantes inicialmente presentes.

Como os efluentes químico e radioativo do LABMAT são semelhantes, com exceção da presença de urânio no efluente radioativo, a determinação dos parâmetros referentes ao processo de precipitação química é feita apenas para o efluente radioativo.

As correntes resultantes do tratamento pelo processo de precipitação química são submetidas ao processo de tratamento por osmose reversa.

5.1.3 - Ensaios com o Processo de Osmose Reversa

Após a definição das condições operacionais para o processo de precipitação química, e tratamento dos efluentes por este processo, a corrente resultante é submetida ao

tratamento em uma unidade de osmose reversa, cujas características são apresentadas no item Equipamentos.

Cada uma das correntes de efluente, após ser submetida ao processo de precipitação química e separação dos sólidos formados, é submetida ao processo de tratamento por osmose reversa, onde são coletadas amostras do efluente purificado, para uma avaliação da eficiência deste processo. A avaliação da eficiência do processo de tratamento é feita mediante uma caracterização química completa do efluente purificado.

Os ensaios com o processo de osmose reversa são realizados com a utilização do equipamento cedido pela empresa MFS (Membrane Filtration System), para a realização destes experimentos. As características desta unidade encontram-se no item referente a equipamentos.

Pelo processo de tratamento por osmose reversa são obtidas duas correntes distintas, o permeado, como é chamada a corrente purificada e o concentrado como é chamada a corrente rejeitada.

O permeado, que é constituído basicamente pela água presente no efluente alimentado ao sistema, é analisado para verificar a eficiência do processo de tratamento, não sendo submetido a qualquer tipo de tratamento adicional. Já o concentrado, que deverá conter a maior parte dos contaminantes presentes no efluente original, é submetido ao processo de tratamento por evaporação, cujo objetivo é reduzir ainda mais o volume do material a ser gerenciado como resíduo sólido, aumentando o volume de água recuperado.

Para cada um dos efluentes são coletadas amostras da corrente purificada, para os valores de 20%, 40%, 60%, 80% e 90% de recuperação de água, para verificar a eficiência do processo com relação a redução dos contaminantes utilizados para controle do processo, sendo estes contaminantes os mesmos analisados para o controle do processo de precipitação química.

A avaliação da eficiência de redução da concentração dos sólidos dissolvidos totais, será feita mediante a análise da condutividade elétrica do efluente, antes e depois de ser submetido ao processo de tratamento por osmose reversa. Esta medida será utilizada uma vez que a condutividade de uma solução depende dos íons presentes nesta solução, bem como da concentração destes íons^{/34/}.

5.1.4 - Ensaios com o Processo de Evaporação

Os ensaios de evaporação consistem simplesmente em promover o tratamento do concentrado proveniente da unidade de Osmose Reversa, utilizando-se um equipamento protótipo de evaporação do tipo "**Wiped Film**", que esta sendo desenvolvido pelo Centro Tecnológico da Marinha em São Paulo, onde são obtidas duas correntes distintas. O destilado constituído pela água presente no concentrado da unidade de osmose reversa e o produto de fundo, onde deverão estar presentes os contaminantes químicos e radioativos dos efluentes tratados no Sistema de Tratamento de Efluentes proposto neste trabalho. O produto de fundo do evaporador deverá apresentar uma concentração de sólidos superior a 50% em massa.

5.2 - Reagentes Utilizados

Para a realização dos ensaios de tratamento e análises de DQO foram utilizados os seguintes reagentes:

- 1,10 Fenantrolina P.A - ($C_{12}H_2.N_2.H_2O$) - Reagen - Quimitra Indústrias Químicas S/A
- Ácido Clorídrico P.A - (HCl) - Vetec Química Fina Ltda e Nuclear S/A
- Ácido Fluorídrico P.A - (HF 40%) - Cinética Química Ltda

- Ácido Nítrico P.A - (HNO_3) - Cinética Química Ltda
- Ácido Sulfúrico P.A - (H_2SO_4) - Micro Química Produtos para Laboratório Ltda
- Bissulfito de Sódio P.A - (NaHSO_3) - Casa Americana de Artigos para Laboratórios Ltda
- Carbonato de Amônio P.A - ($(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$) - Reagentes Analíticos Ecibra
- Carbonato de Cálcio P.A - (CaCO_3) - Merck S/A
- Cloreto Férrico P.A - ($\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) - Cinética Química Ltda
- Cloreto de Sódio P.A - (NaCl) - Merck S/A
- Dicromato de Potássio P.A - ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$) - Cromato Produtos Químicos Ltda
- Fluoreto de Sódio P.A - (NaF) - Casa Americana de Artigos para Laboratórios Ltda
- Fosfato de Potássio Monobásico P.A - (KH_2PO_4) - Quimbras Indústria Química S/A
- Hidróxido de Sódio P.A - (NaOH) -
- Iodeto de Potássio P.A - (KI) - Carlo Erba
- Molibdato de Amônio P.A - ($(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$) - Carlo Erba
- Nitrato de Uranilo (Solução) - $\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2$ - IPEN/CNEN-SP
- Nitrito de Sódio P.A - (NaNO_2) - Merck S/A
- Óxido de Cálcio P.A - (CaO) - Nuclear S/A
- Permanganato de Potássio P.A - (KMnO_4) - Cromato Produtos Químicos Ltda
- Polieletrólito Aniônico - KURITA
- Sulfato de Cério P.A - ($\text{Ce}(\text{SO}_4)_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$) - Carlo Erba
- Sulfato Ferroso P.A - ($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) - Casa Americana de Artigos para Laboratórios Ltda
- Sulfato Ferroso Amoniacal P.A - ($\text{Fe}(\text{NH}_4)_2 \cdot (\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) - Cromato Produtos Químicos Ltda

- Sulfato de Magnésio P.A - ($\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) - Casa Americana de Artigos para Laboratórios Ltda
- Sulfato de Prata P.A - (Ag_2SO_4) - Nuclear S/A
- Sulfato de Sódio P.A - (Na_2SO_4) - Merck S/A
- Sulfato de Zinco P.A - ($\text{ZnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$) - Casa Americana de Artigos para Laboratórios Ltda
- Tensoativo a base de Alquil Benzeno Sulfonato de Sódio (Comercial) - Orniex S/A

5.3 - Equipamentos

Para o desenvolvimento dos ensaios de laboratório, foram utilizados os equipamentos apresentados a seguir.

A pesagem dos reagentes químicos para a preparação dos efluente sintéticos e demais soluções utilizadas, foi realizada em uma balança analítica, marca Mettler, modelo H64 e uma semi analítica, de mesma marca, modelo P2210.

Os ensaios de precipitação química, para a obtenção dos parâmetros ótimos de operação, foram realizados em um floculador automático, com medidor de pH acoplado, marca PROCYON, modelo PY300 (Aparelho de "Jar-Test").

A separação dos sólidos gerados nos ensaios completos de precipitação química, foi obtida pela utilização de uma centrífuga, marca Westfalia Separator, modelo TA-05-00-105.

Para a purificação do efluente da centrífuga, após o processo de precipitação química, foi utilizada uma unidade de osmose reversa, com membrana de poliamida, do tipo "Hollow Fiber", da FILMTEC, bomba de alta pressão, filtro tipo cartucho e manômetro para medição de pressões até 40 bar.

A preparação das amostras para análise de DQO, foi realizada utilizando-se um bloco digestor para 19 amostras, marca POLYLAB.

As análises de condutividade elétrica dos efluentes foram realizadas em um condutivímetro marca DIGIMED, modelo CD-2.

5.4 - Técnicas de Caracterização Utilizadas

Para o controle da eficiência dos processos de tratamento dos efluentes sintéticos, bem como para a caracterização destes efluentes, antes e depois de submetê-los a estes processo de tratamento, utilizou-se a caracterização por análises químicas. Todas as análises químicas foram realizadas no IPEN, no CTMSP e Laboratório Radioecológico do CEA.

A medida da DQO foi feita utilizando-se o Método da Ampola com Refluxo Fechado^{/33/}, sendo este método baseado na oxidação dos compostos orgânicos presentes em uma solução, por uma mistura de ácido crômico e ácido sulfúrico, onde utiliza-se uma quantidade em excesso de dicromato de potássio, que é posteriormente titulado com uma solução padrão de sulfato ferroso amoniacal. Determina-se então a quantidade de matéria orgânica presente na solução analisada. O resultado obtido é expresso em termos de equivalentes de oxigênio.

A determinação dos Sólidos Dissolvidos Totais (SDT), nos efluentes sintéticos foi feita com base no método apresentado na referência ^{/33/}, e que consiste na

filtração e evaporação em estufa, a temperatura de aproximadamente 180°C, de um certo volume de solução. O valor do parâmetro é obtido através de cálculo que considera o peso do recipiente utilizado para evaporação da amostra, o peso do recipiente com o resíduo da evaporação e o volume de amostra utilizada. Este resultado é expresso em miligramas de sólidos por litro de solução.

A medida da concentração de urânio foi feita utilizando-se a técnica Voltamétrica de Gota Pendente de Mercúrio, também conhecida como Polarografia. Este método é baseado na relação entre tensão-corrente, obtida durante um processo de eletrólise conduzido em uma pilha formada por um ânodo de mercúrio quiescente relativamente grande e um cátodo de mercúrio diminuto (composto por uma sucessão de pequenas gotas de mercúrio caindo lentamente em um tubo capilar), e o eletrólito uma solução diluída do composto que se deseja analisar ^{/34/}. As análises de urânio foram realizadas em um Polarógrafo PAR, modelo 174.

Algumas análises de ferro, magnésio e cálcio foram realizadas utilizando-se a técnica de Absorção Atômica, sendo esta técnica baseada na absorção de uma luz por uma chama na qual uma solução contendo um sal de um metal foi aspirada, sendo a quantidade de luz absorvida, proporcional ao número de átomos deste metal ^{/34/}. Estas análises foram realizadas em um espectrômetro de absorção atômica, da Perkin Elmer, modelo 5000.

Para a determinação da concentração de cromo, cério, molibdênio, prata, manganês, além de ferro, sódio, magnésio e cálcio, utilizou-se a técnica de espectroscopia de emissão, com fonte de plasma, que é baseada na análise do espectro de emissão iônica de átomos metálicos, obtido através do processo de ionização dos átomos, por uma fonte de plasma^{/33/}. Para cada elemento metálico é emitido um espectro característico (com comprimento de onda bem definido), com o qual, através de uma calibração prévia do equipamento, pode-se obter a concentração do elemento a ser analisado. Nas determinações feitas para este trabalho, foi utilizado um Espectrômetro ARL, modelo 3410, com fonte de plasma.

Algumas análises de sódio foram realizadas através da técnica de fotometria de chama, onde utilizou-se um Fotômetro da Micronal, modelo B262. Esta análise consiste na dispersão da amostra em estudo, em uma chama de gás, onde ocorre a excitação dos átomos de sódio, com consequente emissão de uma luz característica, em um comprimento de onda de 589 nm^{/33/}. Através da medida da intensidade de luz emitida, pode-se obter a concentração de sódio, uma vez que existe uma proporcionalidade entre estes dois parâmetros^{/33/}.

A determinação de íons cloreto foi feita utilizando-se o método Argentométrico, que consiste na titulação da amostra a ser analisada, com uma solução padrão de nitrato de prata, utilizando-se cromato de potássio como indicador. Durante a titulação, ocorre a precipitação quantitativa de cloreto de prata, antes que o composto de cor castanho avermelhada, cromato de prata seja formado, indicando o fim da titulação^{/33/},
34/.

Para a análise de íons sulfato foi utilizado o método turbidimétrico, utilizando-se um Espectrofotômetro da Micronal, modelo B-382. Este método consiste na precipitação de íons sulfato, utilizando-se uma solução de cloreto de bário, em meio ácido acético, formando o composto sulfato de bário, com cristais de tamanho uniforme^{/33/}.

A suspensão de sulfato de bário é submetida a análise no espectrofotômetro, sendo a medida da quantidade de luz absorvida por esta suspensão, relacionada com a concentração de íons sulfato.

Para a análise de íons nitrato foi utilizado o espectrofotômetro mencionado anteriormente, através da medida direta da absorbância de uma luz ultravioleta em um comprimento de onda de 220 nm. A concentração de íons nitrato é obtida através da interpolação do valor obtido para a absorbância em uma curva de calibração do espectrofotômetro^{/33/}.

A análise de fluoreto e nitrogênio amoniacal foi feita por eletrodo seletivo, sendo utilizado um eletrodo sensível a cada um dos íons a serem analisados, que quando submersos em uma solução contendo um destes íons, é estabelecido um potencial de eletrodo, que está relacionado com a concentração do íon presente na solução que está sendo analisada ^{/34/}. As análises foram realizadas em um analisador da PROCYON, modelo SA-720.

A medida da condutividade elétrica dos efluentes foi realizada utilizando-se um condutivímetro da DIGIMED, modelo CD-2, sendo o resultado obtido diretamente no mostrador do equipamento, através da submersão da célula de medida do aparelho, na amostra a ser analisada, após calibração prévia do equipamento.

Para a determinação da concentração de urânio na amostra do permeado da unidade de osmose reversa, do efluente radioativo do LABMAT, utilizou-se a técnica de fluorimetria, que é baseada no fenômeno de absorção de energia radiante e reemissão de uma parte desta, sob a forma de radiação visível^{/34/}. A determinação da concentração de urânio foi feita utilizando-se um fluorímetro modelo 5015 desenvolvido pela CNEN/IEN.

CAPÍTULO - 6

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo são apresentados os resultados obtidos nos ensaios de tratamento dos efluentes sintéticos do LABMAT e da INAP, pelo processo de precipitação química e osmose reversa, onde foram obtidos os parâmetros ótimos de operação de cada um destes processos.

Os ensaios relativos ao processo de evaporação não foram realizados em função do equipamento de evaporação projetado para estes testes não ter sido construído em tempo hábil, sendo no entanto apresentado neste capítulo, o projeto termo hidráulico do evaporador adotado para o Sistema Integrado de Tratamento de Efluentes Químicos e Radioativos.

Os ensaios de laboratório foram desenvolvidos considerando-se as seguintes etapas:

- Preparação dos efluentes sintéticos;
- Desenvolvimento dos ensaios de precipitação química;
- Desenvolvimento dos ensaios com o sistema de osmose reversa.

6.1 - Preparação dos Efluentes Sintéticos

Com base nos dados referentes às características esperadas para os efluentes em estudo, foram preparados 50 litros de cada um dos efluentes, utilizando-se para tanto reagentes químicos de grau analítico e água desmineralizada.

Após a preparação, os efluentes foram submetidos à caracterização química, obtendo-se os resultados apresentados nas Tabelas 6.1.1, 6.1.2 e 6.1.3.

Tabela 6.1.1 - Caracterização do Efluente Radioativo Sintético da INAP

Contaminante	Concentração (mg/L)
Fósforo	N/A
Cromo	12,73
Manganês	13,20
Ferro	14,43
Prata	1,48
Cério	5,96
Molibdênio	13,13
Iodo	N/A
SDT	971
DQO	541,3
pH	9,80

Tabela 6.1.2 - Caracterização do Efluente Químico Sintético da INAP

Contaminante	Concentração (mg/L)
Sódio	216
Ferro	11,86
Fluoreto	6,60
Manganês	13,20
Cloreto	406
Sulfato	230
Cálcio	96,93
Magnésio	34,46
Nitrato	< 1,0
Zinco	1,32
SDT	1066
DQO	< 10,0
pH	7,17

Tabela 6.1.3 - Caracterização do Efluente Radioativo Sintético do LABMAT

Contaminante	Concentração (mg/L)
Nitrato	412
Sulfato	790
Cloreto	304
Sódio	22,0
Cromo	24,9
Fluoreto	10,0 ^s
Amônio	74,5 ^s
Urânio	6,98
SDT	1545
DQO	<10,0
pH	0,45

^s Valor calculado com base na massa adicionada.

Com estas soluções foram desenvolvidos os testes de tratamento, para a avaliação dos processos de tratamento de efluentes do Sistema Integrado proposto neste trabalho.

6.2 - Ensaio de Precipitação Química

Os ensaios de precipitação química foram realizados com cada um dos efluentes preparados, utilizando-se o floculador automático apresentado na figura 6.2.1, com o objetivo de se obter os parâmetros ótimos para este processo, considerando-se cada uma das correntes de efluente individualmente.

Estes ensaios tem por objetivo, remover as substâncias químicas precipitáveis principalmente os íons metálicos e o urânio entre outros. A precipitação destes elementos se dá em função da reação química destes, com o agente de precipitação, ou em função da variação do pH da solução onde os mesmos se encontram presentes.^{/31 e 32/}

Nos ensaios realizados foram obtidos o valor da dosagem ótima do agente de precipitação, faixa de pH ótimo, tempo ótimo de mistura entre o agente de precipitação e o efluente em estudo, bem como foi feita uma avaliação da eficiência do processo de precipitação, quando da utilização de um auxiliar de coagulação/floculação.

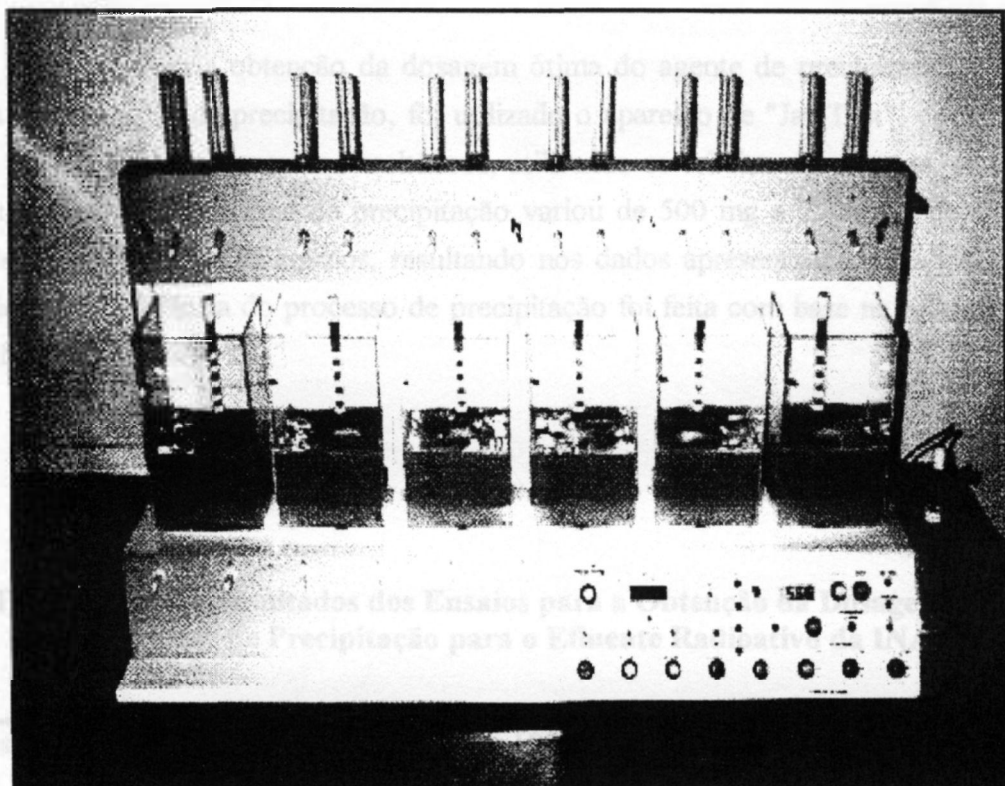


Figura 6.2.1 - Aparelho de "Jar-Test" Utilizado nos Ensaio de Precipitação Química.

Para todos os ensaios de precipitação, a sequência para a obtenção dos parâmetros ótimos de operação do sistema foi a mesma, onde inicialmente obteve-se a dosagem ótima do agente de precipitação e respectiva faixa ótima de pH, tempo ótimo para mistura entre o agente de precipitação e o efluente e dosagem ótima do auxiliar de coagulação/floculação.

Todas as amostras retiradas para análise foram submetidas a um processo de filtração, utilizando-se um sistema de filtração a vácuo.

6.2.1 - Ensaios com o Efluente Radioativo da INAP

Para a obtenção da dosagem ótima do agente de precipitação e respectiva faixa ótima do pH de precipitação, foi utilizado o aparelho de "Jar Test", com capacidade para realização de seis ensaios simultâneos, utilizando-se 1,0 litro de efluente em cada cuba, onde a dosagem do agente de precipitação variou de 500 mg a 2500 mg de CaO, sendo realizadas duas séries de ensaios, resultando nos dados apresentados na tabela 6.2.1.1. A avaliação da eficiência do processo de precipitação foi feita com base na redução da DQO do efluente.

Tabela 6.2.1.1 - Resultados dos Ensaios para a Obtenção da Dosagem Ótima do Agente de Precipitação para o Efluente Radioativo da INAP

Dosagem de CaO (mg/L)	500	750	1000	1500	2000	2500
Primeira Série de Ensaios						
DQO (mg/L)	170,3	114,8	114,8	75,2	110,9	99,0
pH final	12,40	12,62	12,81	12,93	13,02	13,19
Segunda Série de Ensaios						
DQO (mg/L)	297,0	162,4	178,2	114,8	79,2	87,1
pH final	11,80	12,75	12,67	12,96	13,22	13,35

Velocidade de Agitação = 180 rpm

Tempo de Mistura = 30 minutos

Com os dados apresentados acima, são obtidos os dados referentes à eficiência na redução da carga da DQO, que são apresentados na tabela abaixo.

TABELA 6.2.1.2 - Eficiência na Redução da Carga de DQO do Efluente Radioativo da INAP em Função da Dosagem de CaO.

Dosagem de CaO (mg/L)	% de Redução da DQO	
	Primeira Série de Ensaios	Segunda Série de Ensaios
0	0	0
500	68,5	45,1
750	78,8	70,0
1000	78,8	67,1
1500	86,1	78,8
2000	79,5	85,4
2500	81,7	83,9

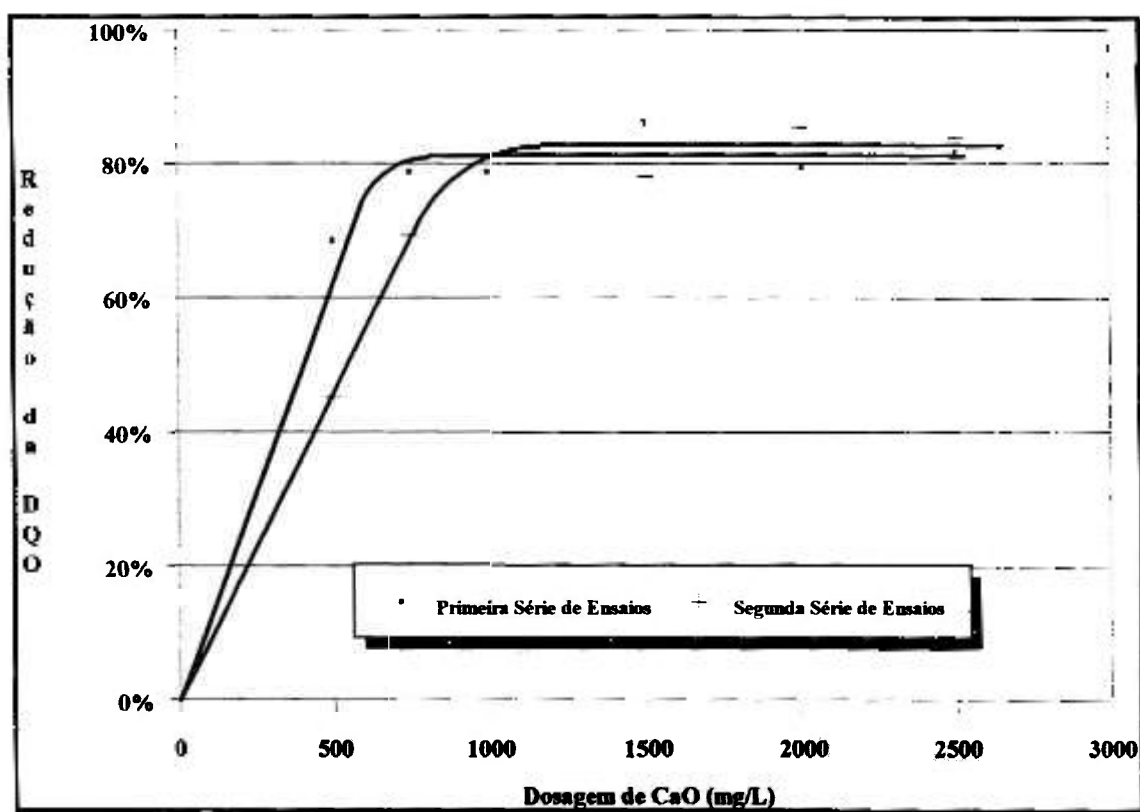


Figura 6.2.1.1 - Variação na Eficiência de Redução da DQO do Efluente Radioativo da INAP em Função da Dosagem do Agente de Precipitação

Pela análise dos dados obtidos, verifica-se que nas dosagem do agente de precipitação acima de 1000 mg/L, a eficiência na redução na carga de DQO atinge um

patamar (aproximadamente 80%), não apresentando variações significativas com relação a este parâmetro, para as dosagens acima deste valor.

Com base neste resultado, foram realizados os ensaios para a determinação do tempo ótimo de mistura entre o agente de precipitação química e o efluente, utilizando-se uma dosagem do agente de precipitação de 1500 mg/L, e variando-se o tempo de mistura de 10 a 100 minutos, sendo os resultados obtidos apresentados na tabela 6.2.1.3.

Tabela 6.2.1.3 - Resultados dos Ensaios para a Obtenção do Tempo Ótimo de Mistura entre o Agente de Precipitação e o Efluente Radioativo da INAP

Tempo de Mistura (minutos)	DQO (mg/L)	% de Redução da DQO	pH final
0	541,3	0	--x--
10	95,0	82,4	13,35
20	79,2	85,4	13,47
30	95,0	82,5	12,95
40	71,3	86,8	13,56
60	>467	<13,1	13,62
80	91,1	83,2	13,64
100	83,2	84,6	13,58

Velocidade de Agitação = 180 rpm

Dosagem do Agente de Precipitação = 1500 mg/L

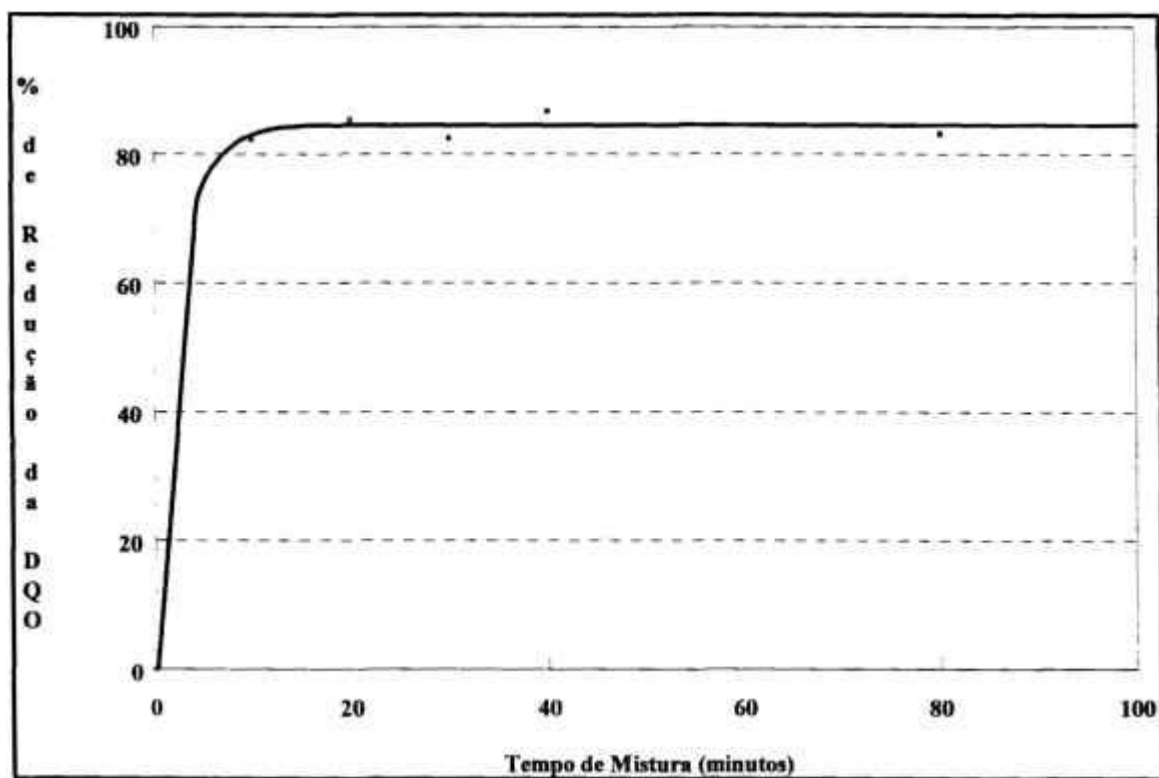


Figura 6.2.1.2 - Variação na Eficiência de Redução da DQO do Efluente Radioativo da INAP em Função do Tempo de Mistura entre o Efluente e o Agente de Precipitação

Como pode ser verificado pelos resultados apresentados acima, a eficiência na redução da carga de DQO do efluente radioativo da INAP não é afetada pelo tempo de mistura entre o efluente e o agente de precipitação para os valores estudados, indicando que as reações químicas envolvidas no processo de tratamento ocorrem em um intervalo de tempo inferior a 10 minutos.

Em função destes resultados, foi adotado no processo de precipitação do efluente radioativo da INAP, um tempo de mistura entre o efluente e o agente de precipitação, igual a 20 minutos de modo a assegurar uma mistura perfeita entre o efluente e o agente de precipitação.

Os ensaios relativos a dosagem ótima do auxiliar de coagulação/floculação foram realizados utilizando-se uma solução de polieletrólito aniônico, com uma

concentração de 2,0 g/L, onde a dosagem deste composto variou de 0,5 mg/L a 8,0 mg/L no efluente em estudo, sendo estes valores adotados de acordo com orientações do fabricante.

A adição do auxiliar de coagulação/floculação foi efetuada após o intervalo de 20 minutos, relativos ao processo de precipitação química, sendo o sistema mantido sob agitação por mais 10 minutos, para que o processo de coagulação/floculação pudesse se desenvolver. Os resultados obtidos nestes ensaios encontram-se na tabela 6.2.1.4.

Tabela 6.2.1.4 - Resultados dos Ensaio para a Obtenção da Dosagem Ótima do Auxiliar de Coagulação/floculação, para o Efluente Radioativo da INAP

Dosagem do Auxiliar de Coagulação/floculação (mg/L)	DQO (mg/L)	% de Redução da DQO	pH final
0	95,0	82,5	12,95
0,5	58,8	89,1	13,50
1,0	47,1	91,3	13,56
2,0	58,8	89,1	13,56
4,0	58,8	89,1	13,53
6,0	51,0	90,6	13,56
8,0	54,9	89,9	13,56

Velocidade de Agitação = 180 rpm

Dosagem do Agente de Precipitação = 1500 mg/L

Tempo de Mistura = 20 minutos

Tempo para a Coagulação/floculação = 10 minutos

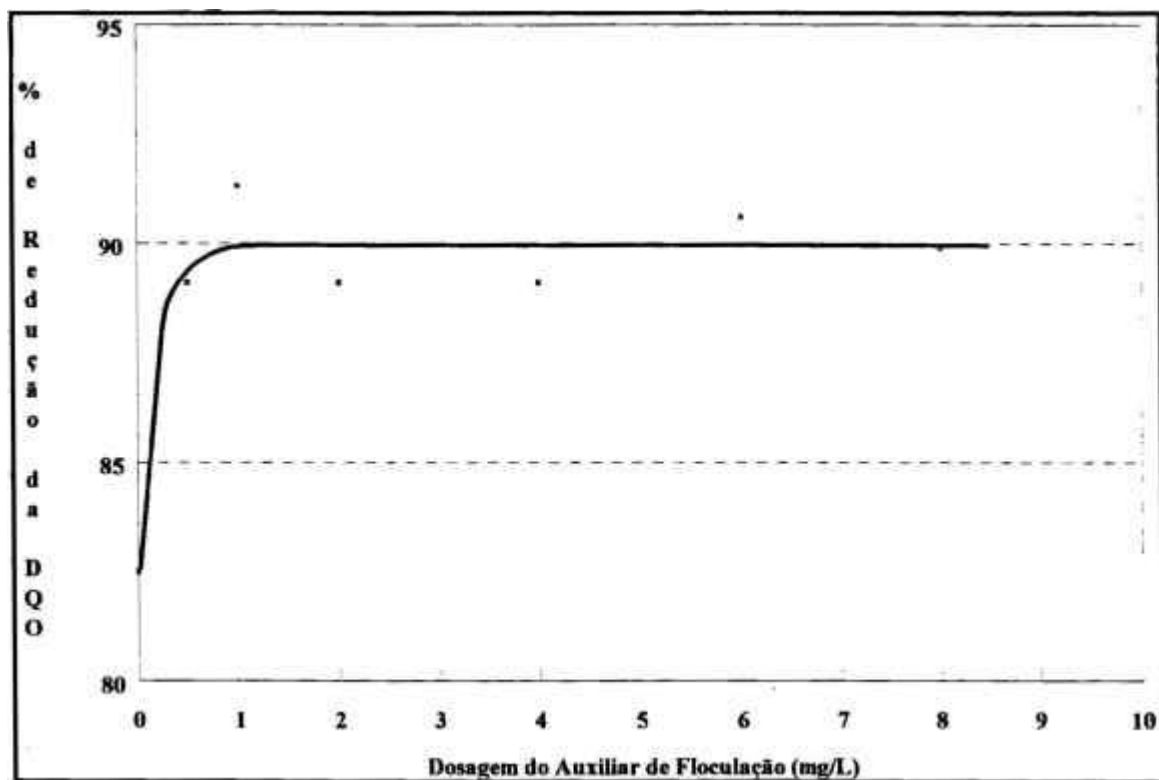


Figura 6.2.1.3 - Variação na Eficiência de Redução da DQO do Efluente Radioativo da INAP em Função da Dosagem do Auxiliar de Floculação

Pelos resultados obtidos neste ensaio, verifica-se que com a utilização do auxiliar de coagulação/floculação, mesmo para a menor dosagem efetuada, houve uma melhora significativa na redução da carga de DQO do efluente, passando de 82,5% sem a utilização do auxiliar de coagulação/floculação, para uma média de 90%, já para a menor dosagem utilizada.

Foi observado durante a realização destes ensaios, que para as dosagem do auxiliar de coagulação/floculação a partir de 2,0 mg/L, houve uma separação mais eficiente do precipitado formado, por esta razão, mesmo que a eficiência na redução da carga de DQO tenha-se mantido praticamente constante a partir da dosagem de 0,5 mg/L, é conveniente que seja utilizada uma dosagem do auxiliar de coagulação/floculação próxima de 2,0 mg/L, para que o processo de separação dos sólidos formados seja mais eficiente. Dosagens do auxiliar de coagulação/floculação superiores 2,0 mg/L não são recomendados,

uma vez que haveria uma elevação no custo de tratamento, sem que fosse obtida qualquer melhoria no Processo de Tratamento.

Após a obtenção dos parâmetros de processo para o tratamento do Efluente Radioativo da INAP por precipitação química, foi realizado um ensaio completo de tratamento, utilizando-se para tanto, 23 litros do efluente em questão, sendo o efluente tratado submetido a uma análise química de todos os contaminantes presentes, a fim de que fosse verificada a eficiência do processo de precipitação química para estes contaminantes. Este ensaio de precipitação foi realizado utilizando-se as condições de processo apresentadas na tabela 6.2.1.5.

Tabela 6.2.1.5 - Parâmetros de Processo para o Tratamento do Efluente Radioativo da INAP por Precipitação Química

Dosagem do Agente de Precipitação (CaO)	1500 mg/litro de efluente
Tempo de Mistura	20 minutos
Velocidade de Mistura	180 rpm
Dosagem do Auxiliar de Coagulação/floculação	2,0 mg/litro de efluente
Tempo para Coagulação/floculação	10 minutos

A separação dos sólidos formados no processo de precipitação química foi realizada utilizando-se a centrífuga apresentada na figura 6.2.1.4, sendo o efluente purificado neutralizado com ácido clorídrico até pH próximo de 7,0 antes de ser submetido

ao processo de caracterização química. Na Tabela 6.2.1.6, são apresentados os resultados obtidos após o teste de precipitação química.

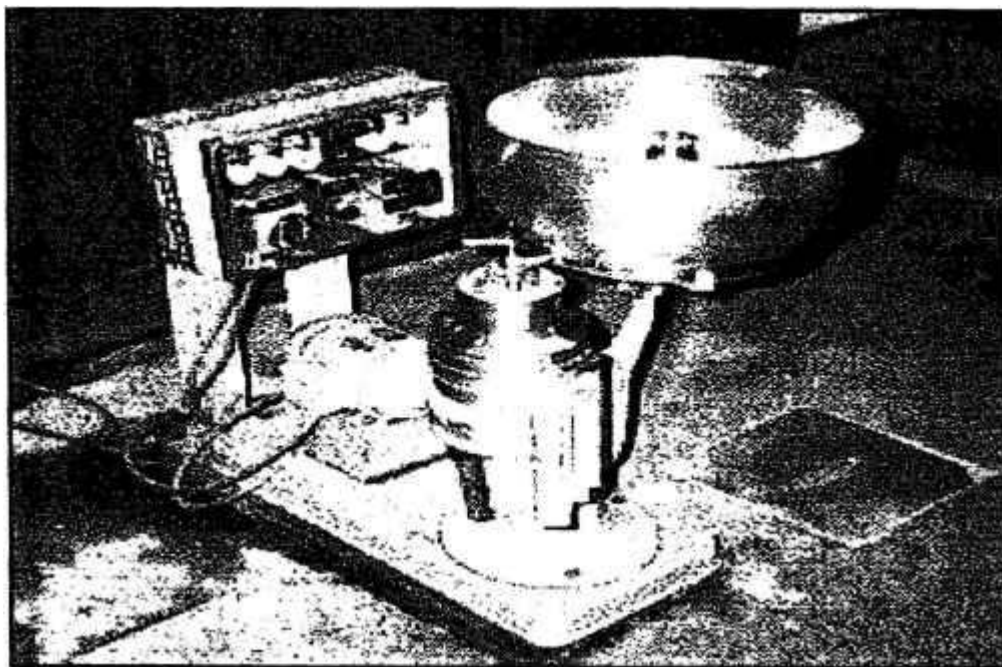


Figura 6.2.1.4 - Centrifuga Utilizada para Separação dos Sólidos Formados Durante a Etapa de Precipitação Química

Tabela 6.2.1.6 - Caracterização do Efluente Radioativo da INAP, após o Processo de Precipitação Química

Contaminante	Concentração (mg/L)	Eficiência de Redução
Fósforo	N/A	--x--
Cromo	1,33	89,6 %
Manganês	0,06	99,5 %
Ferro	< 0,05	> 99,7 %
Prata	0,06	95,9 %
Cério	0,41	93,1 %
Cálcio	591,18	---x---
Molibdênio	9,68	26,3 %
Iodo	N/A	---x---
DQO	66,9	87,70 %
Condutividade	4,58 mmho/cm	---x---
pH	7,00	---x---

Pelos resultados obtidos, verifica-se que o processo de precipitação química é eficiente para a remoção dos contaminantes metálicos, apresentando uma redução superior a 90 %, para a maioria dos contaminantes, com exceção do molibdênio (26,3 %) e do cromo. O cromo presente na forma hexavalente, apresentou uma redução superior a 89 %, o que é justificado pela alta dosagem do agente de precipitação utilizada, ou pela complexação do mesmo pelo surfactante presente no efluente e posterior precipitação deste complexo.

6.2.2 - Ensaio com o Efluente Químico da INAP

Da mesma forma que para o efluente radioativo da INAP, foram realizadas duas séries de ensaios para a determinação da dosagem ótima do agente de precipitação e respectiva faixa de pH, sendo que para este efluente, a dosagem do agente de precipitação variou de 50 mg a 500 mg de CaO, obtendo-se os resultados apresentados na Tabela 6.2.2.1, sendo o controle da eficiência do processo verificada em função da redução da concentração do magnésio, ferro e fluoreto.

Para a segunda série de ensaios, não foram realizadas as análises de DQO, em função deste parâmetro não poder ser utilizado na avaliação da eficiência do processo de precipitação para este efluente, uma vez que o mesmo não sofreu qualquer alteração após o processo de precipitação química, em relação ao efluente original, como pode ser verificado na tabela de resultados.

Tabela 6.2.2.1 - Resultados dos Ensaio para a Obtenção da Dosagem Ótima do Agente de Precipitação para o Efluente Químico da INAP

Dosagem de CaO (mg/L)	50	100	200	300	400	500
Primeira Série de Ensaio						
DQO (mg/L)	7,9	7,9	0,0	11,9	7,9	11,9
Magnésio (mg/L)	14,8	14,8	0,91	1,26	1,20	1,16
Ferro (mg/L)	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D
Fluoreto (mg/L)	6,7	5,3	5,8	5,7	6,2	6,3
pH final	9,40	10,20	11,30	11,75	12,10	12,33
Segunda Série de Ensaio						
Magnésio (mg/L)	31,0	13,9	6,4	3,9	4,8	4,5
Ferro (mg/L)	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D
Fluoreto (mg/L)	5,3	4,6	5,2	5,3	5,3	5,3
pH final	10,92	11,02	11,88	12,40	12,62	12,81

Velocidade de Agitação = 180 rpm

Tempo de Mistura = 30 minutos

Na Tabela 6.2.2.2 são apresentados os resultados relativos à eficiência de redução dos contaminantes químicos do Efluente Químico da INAP

Tabela 6.2.2.2 - Eficiência na Redução dos Contaminantes Químicos do Efluente Químico da INAP em Função da Dosagem de CaO

Dosagem de CaO (mg/L)	Primeira Série de Ensaios		Segunda Série de Ensaios	
	% de Redução de Magnésio	% de Redução de Fluoreto	% de Redução de Magnésio	% de Redução de Fluoreto
0	0,0	0,0	0,0	0,0
50	57,1	--x--	10,0	19,7
100	57,1	19,7	59,7	30,3
200	97,4	12,1	81,4	21,2
300	96,3	13,6	88,7	19,7
400	96,5	6,1	86,1	19,7
500	96,6	4,6	86,9	19,7

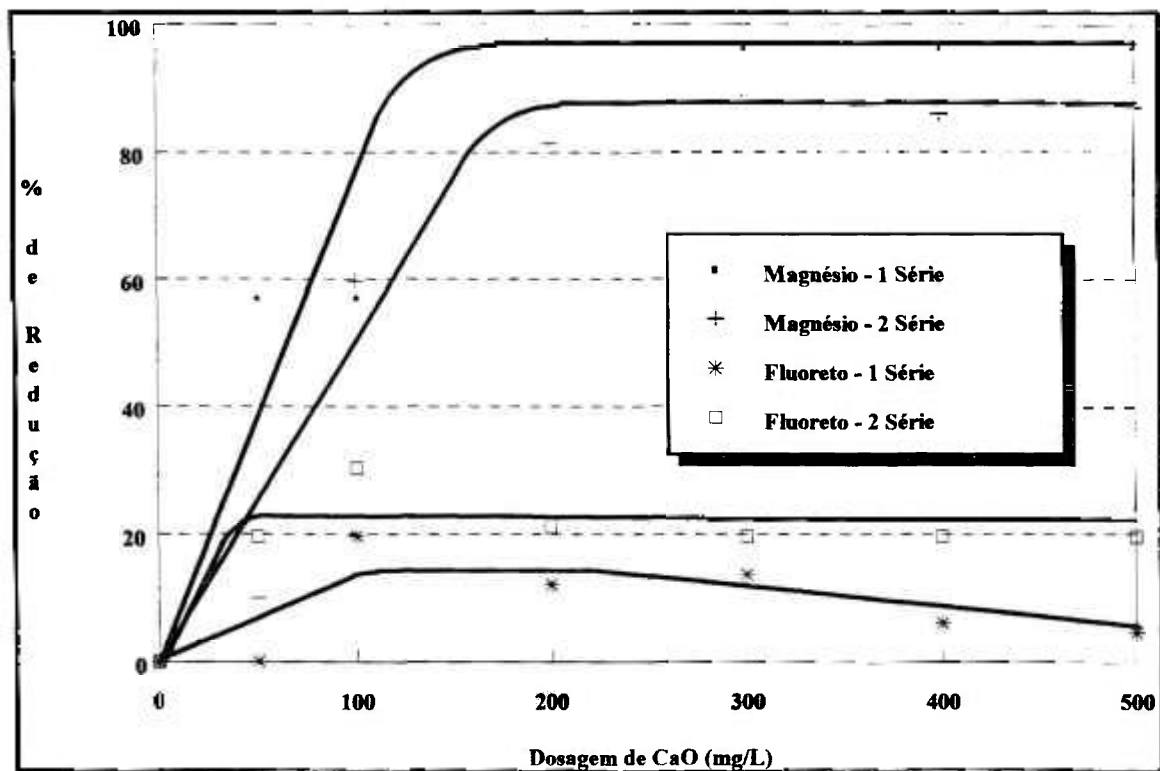


Figura 6.2.2.1 - Eficiência na Redução de Magnésio e Fluoreto do Efluente Químico da INAP, em Função da Dosagem do Agente de Precipitação

O resultados referentes à eficiência de remoção do ferro não foram incluídos na Tabela acima, porque o elemento não foi detectado no efluente após ter sido tratado por precipitação. A primeira dosagem do agente de precipitação, indicou que o ferro é totalmente removido do efluente, obtendo-se uma eficiência de 100% na redução do mesmo.

Pelos resultados obtidos, verifica-se que a melhor dosagem do agente de precipitação encontra-se acima de 200 mg/L, considerando-se apenas a redução do magnésio, onde se obteve uma redução máxima para este elemento, que foi utilizado para avaliar a eficiência do processo de precipitação.

Os resultados obtidos para o fluoreto, mostram que não houve uma redução significativa, com relação à concentração inicial deste contaminante. Isto se deve ao fato do fluoreto de cálcio, composto formado quando da reação dos íons fluoreto presentes no efluente e cálcio adicionados no processo de precipitação, apresentar uma solubilidade, embora que pequena (16 mg/L a 25°C^{18/} e 17 mg/L a 25 °C^{29/}), superior à quantidade de fluoreto de cálcio formada no processo de precipitação, que é de aproximadamente 14 mg/L, considerando-se uma eficiência de formação deste composto na reação de 100%.

Com base nestes dados, o controle do processo de precipitação química, para a determinação dos demais parâmetros do processo de tratamento, será feito apenas considerando-se a redução da concentração do magnésio.

Para a determinação do tempo ótimo de mistura entre o agente de precipitação e o efluente químico da INAP, foram realizados ensaios variando-se o tempo de mistura de 5 até 80 minutos, utilizando-se uma dosagem do agente de precipitação igual a 250 mg/L. Os resultados são apresentados na Tabela 6.2.2.3.

Tabela 6.2.2.3 - Eficiência na Redução de Magnésio do Efluente Químico da INAP em função do Tempo de Mistura

Tempo de Mistura (minutos)	Concentração de Magnésio (mg/L)	% de Redução de Magnésio	pH final
0	34,46	0	--x--
5	0,32	99,1	12,70
10	2,40	93,0	12,75
20	2,97	91,4	12,80
40	0,81	97,6	12,75
60	5,56	83,9	13,01
80	1,29	96,3	12,79

Velocidade de Agitação = 180 rpm

Dosagem do Agente de Precipitação = 250 mg/L

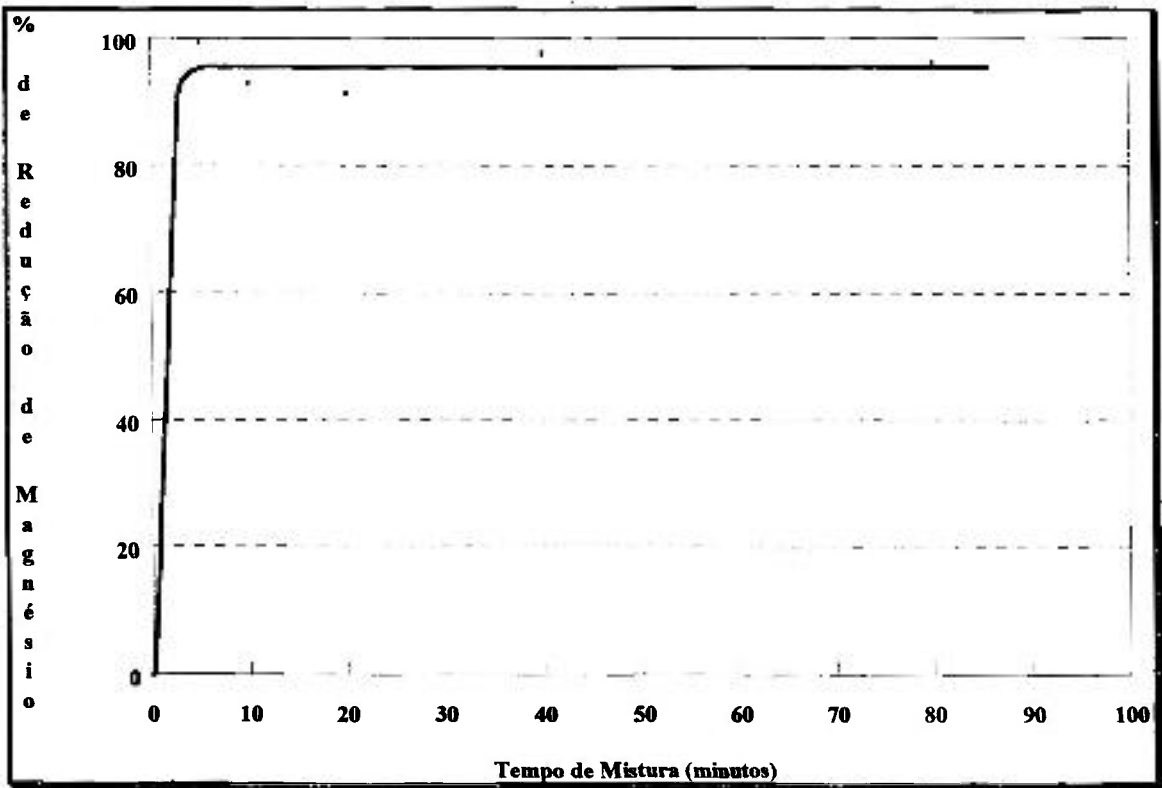


Figura 6.2.2.2 - Eficiência na Redução de Magnésio do Efluente Químico da INAP, em Função do Tempo de Mistura entre o Efluente e o Agente de Precipitação

Pelos resultados obtidos nestes ensaios, verifica-se que a eficiência do processo de precipitação não é afetada pela variação do tempo de mistura do efluente, para os intervalos de tempo avaliados.

Para a determinação da melhor dosagem do auxiliar de coagulação/floculação, adotou-se um intervalo de vinte minutos para a mistura do agente de precipitação e o efluente a ser tratado. Em seguida foi adicionado o auxiliar de coagulação/floculação, cuja concentração variou de 0,5 a 8,0 mg/L, mantendo-se o sistema sob agitação por mais dez minutos. Os demais parâmetros de processo foram mantidos iguais aos utilizados no ensaio anterior.

Os resultados obtidos nesta etapa do experimento encontram-se na tabela 6.2.2.4.

Tabela 6.2.2.4 - Eficiência na Redução de Magnésio do Efluente Químico da INAP em função da Dosagem do Auxiliar de Coagulação/floculação

Dosagem do Auxiliar de Coagulação/floculação	Concentração de Magnésio (mg/L)	% de Redução de Magnésio	pH final
0			
0	2,97	91,4	12,80
0,5	0,57	98,3	11,13
1,0	0,55	98,4	11,00
2,0	0,16	99,5	11,14
4,0	0,27	99,2	11,30
6,0	0,12	99,7	11,31
8,0	0,28	99,2	11,72

Velocidade de Agitação = 180 rpm

Dosagem do Agente de Precipitação = 250 mg/L

Tempo de Mistura = 20 minutos

Tempo para a Coagulação/floculação = 10 minutos

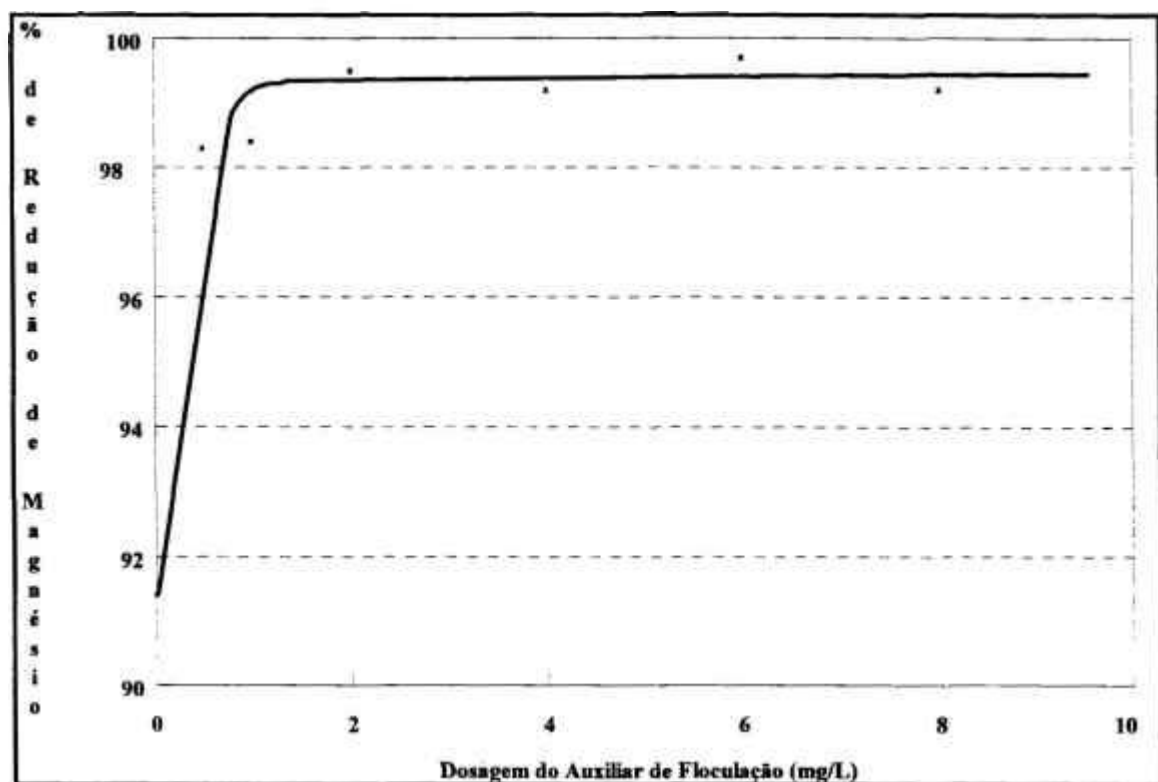


Figura 6.2.2.3 - Eficiência na Redução de Magnésio do Efluente Químico da INAP, em Função da Dosagem do Auxiliar de Coagulação/Floculação

Pelos resultados obtidos neste ensaio, verifica-se que com a utilização do auxiliar de coagulação/floculação, mesmo para a menor dosagem efetuada, houve uma melhora significativa na redução na concentração de magnésio do efluente, passando de 91,4 % sem a utilização do auxiliar de coagulação/floculação, para 98,3 %, já para a menor dosagem utilizada, obtendo-se os melhores resultados, para as dosagens a partir de 2,0 mg/L, como pode ser verificado na figura 6.2.2.3.

Observou-se durante a realização destes ensaios, que para as dosagens do auxiliar de coagulação/floculação a partir de 2,0 mg/L, o tamanho dos flocos formados foi maior, bem como a separação do precipitado formado durante o processo de precipitação foi mais rápida, comparando-se com os resultados observados para as dosagens do auxiliar de coagulação/floculação, abaixo de 2,0 mg/L.

Através dos resultados obtidos nestes ensaios, verifica-se que a dosagem do auxiliar de coagulação/floculação a ser utilizada deve ser de 2,0 mg/L, uma vez que com a utilização de dosagens inferiores a este valor, não é obtida a melhor eficiência para a redução de magnésio, bem como da separação do precipitado formado. Para as dosagens acima de 2,0 mg/L, ocorre um aumento no custo do tratamento, sem que haja uma melhora significativa com relação à eficiência do processo de tratamento.

Após a obtenção dos parâmetros de processo para o tratamento do Efluente Químico da INAP por precipitação química, foram realizados dois ensaios para o tratamento deste efluente, utilizando-se 12 litros de efluente sintético para cada um dos ensaios.

Em um dos ensaios foi realizado um teste completo de precipitação, para verificar a eficiência do processo com relação a redução dos contaminantes presentes. Este ensaio de precipitação foi realizado utilizando-se as condições de processo apresentadas na tabela 6.2.2.5.

Tabela 6.2.2.5 - Parâmetros de Processo para o Tratamento do Efluente Químico da INAP por Precipitação Química

Dosagem do Agente de Precipitação (CaO)	250 mg/litro de efluente
Tempo de Mistura	20 minutos
Velocidade de Mistura	180 rpm
Dosagem do Auxiliar de Coagulação/floculação	2,0 mg/litro de efluente
Tempo para Coagulação/floculação	10 minutos

O segundo ensaio foi realizado considerando-se apenas a etapa de coagulação/floculação, ou seja, um teste sem a utilização da etapa de precipitação química com óxido de cálcio. Este ensaio é justificado em função da elevada dosagem de óxido de cálcio utilizada, considerando-se apenas a remoção do magnésio presente no efluente, ou seja, para a remoção de 34,3 mg/L de magnésio são necessários 250 mg/L de óxido de cálcio. Outro fato que justifica a realização deste ensaio, é a utilização de um processo de

osmose reversa para o tratamento do filtrado obtido após a etapa de precipitação química ou coagulação/floculação, uma vez que uma elevada concentração de íons cálcio, pode contribuir para a formação de precipitados na superfície da membrana de osmose reversa. Com a utilização apenas do processo de coagulação/floculação, obtém-se a redução do material em suspensão do efluente químico da INAP, minimizando-se a possibilidade da presença de íons cálcio no efluente a ser submetido ao processo de osmose reversa. O ensaio de coagulação/floculação foi realizado utilizando-se os parâmetros apresentados na Tabela 6.2.2.6.

Tabela 6.2.2.6 - Parâmetros de Processo para o Tratamento do Efluente Químico da INAP por Coagulação/Floculação

Velocidade de Mistura	180 rpm
Dosagem do Auxiliar de Coagulação/floculação	2,0 mg/litro de efluente
Tempo para Coagulação/floculação	10 minutos

A separação dos sólidos para ambos ensaios foi obtida utilizando-se a centrífuga apresentada na Figura 6.2.1.4. Após a separação foi feita a neutralização do efluente com ácido clorídrico, até pH 7,0 para posterior caracterização. Na Tabela 6.2.2.7, encontram-se os resultados obtidos para os ensaios realizados.

Tabela 6.2.2.7 - Caracterização do Efluente Químico da INAP, após o Processo de Precipitação Química e Coagulação Floculação

Contaminante	Efluente Após Precipitação Química e Coagulação/Floculação		Efluente Após Coagulação/Floculação	
	Concentração (mg/L)	Eficiência de Redução	Concentração (mg/L)	Eficiência de Redução
Sódio	335,0	---x---	335,4	---x---
Ferro	<0,05	> 99,6 %	<0,05	> 99,6 %
Fluoreto	N/A	---x---	N/A	---x---
Manganês	<0,05	> 99,6 %	<0,05	> 99,6 %
Cloreto	558	---x---	431	---x---
Sulfato	239	---x---	245	---x---

Tabela 6.2.2.7 - Caracterização do Efluente Químico da INAP, após o Processo de Precipitação Química e Coagulação Floculação

Contaminante	Efluente Após Precipitação Química e Coagulação/Floculação		Efluente Após Coagulação/Floculação	
	Concentração (mg/L)	Eficiência de Redução	Concentração (mg/L)	Eficiência de Redução
Cálcio	165,6	---x---	73,8	23,9 %
Magnésio	0,72	97,9 %	52,5	---x---
Nitrato	0,66	---x---	0,46	---x---
Zinco	< 0,05	> 96,2 %	< 0,05	> 96,2 %
DQO	1,7	---x---	0	---x---
Condutividade	2,30 mmho/cm	---x---	2,02 mmho/cm	---x---
pH	7,03	---x---	7,05	---x---

Os resultados mostram que tanto no processo de tratamento por precipitação química e coagulação/floculação, quanto no processo de coagulação/floculação, ocorre a redução dos contaminantes metálicos, com exceção do magnésio, que no processo de coagulação floculação não é eliminado. Deve-se observar, que quando se promove a adição do agente de precipitação, a concentração de cálcio aumenta e no caso da adição apenas do agente de coagulação/floculação ocorre uma pequena redução deste composto.

Com os resultados obtidos, verifica-se que a concentração de sólidos no efluente a ser submetido ao processo de tratamento por osmose reversa, aumenta quando da utilização do processo de precipitação química com óxido de cálcio, como pode ser observado nos resultados referentes à condutividade elétrica dos efluentes. Desta forma conclui-se que o tratamento do efluente químico da INAP deve ser realizado, utilizando-se apenas o processo de coagulação floculação, o que minimizará a concentração de sólidos no

efluente a ser submetido ao processo de osmose reversa, bem como o próprio custo de tratamento.

6.2.3 - Ensaios com o Efluente Radioativo do LABMAT

A obtenção da dosagem ótima do agente de precipitação para o tratamento do efluente radioativo do LABMAT, que foi neutralizado até pH aproximadamente 7,15, com uma solução de hidróxido de sódio 1,0 Molar, seguiu o mesmo procedimento adotado para o efluente químico da INAP, inclusive a variação da dosagem do agente de precipitação. Os resultados são apresentados na Tabela 6.2.3.1. A avaliação da eficiência do processo de tratamento foi feita com base na redução da concentração do urânio e cromo do efluente.

O cromo presente no efluente do LABMAT apresenta valência +6 (Cr^{6+}), altamente tóxico e de difícil remoção pelo processo de precipitação química ^[15 e 31], como pode ser verificado pelos resultados apresentados para a primeira série de ensaios. Na segunda série de ensaios utilizou-se uma etapa anterior ao processo de precipitação química, que se consistiu na redução do Cr^{6+} para Cr^{3+} , onde foi utilizado o bissulfito de sódio como agente redutor.

A relação entre a quantidade de agente de redução utilizada e a quantidade de cromo presente no efluente foi de 3/1, conforme recomendado na literatura ^[31].

Efetuuou-se a adição do agente redutor no efluente do LABMAT, sem que fosse efetuada a correção do pH, mantendo-se o sistema sob agitação por aproximadamente 10 minutos, após este intervalo de tempo, o valor do pH da solução resultante foi elevado até 7,10 com hidróxido de sódio 1,0 Molar, quando então foram realizados os ensaios de precipitação.

Para a segunda série de ensaios, não foram realizadas as análises de DQO, em função deste parâmetro não poder ser utilizado na avaliação da eficiência do processo de precipitação para este efluente, uma vez que o mesmo não sofreu qualquer alteração após o processo de precipitação química, em relação ao efluente original, como pode ser verificado na tabela 6.2.3.1.

Tabela 6.2.3.1 - Resultados dos Ensaios para a Obtenção da Dosagem Ótima do Agente de Precipitação para o Efluente Radioativo do LABMAT

Dosagem de CaO (mg/L)	50	100	200	300	400	500
Primeira Série de Ensaios						
DQO (mg/L)	7,9	4,0	11,9	7,9	7,9	> 451*
Urânio (mg/L)	1,3	0,7	0,5	1,2	2,2	1,0
Cromo (mg/L)	23,0	21,4	22,6	22,3	22,6	22,5
pH final	9,90	11,15	11,97	12,21	12,47	12,60
Segunda Série de Ensaios						
Urânio (mg/L)	0,6	0,2	<1,4	0,6	1,8	1,2
Cromo (mg/L)	20,4	21,6	20,6	21,1	20,5	20,5
pH final	10,53	11,44	12,05	12,31	12,50	12,65

Velocidade de Agitação = 180 rpm

Tempo de Mistura = 30 minutos

Na tabela 6.2.3.2 são apresentados os resultados relativos à eficiência de redução dos contaminantes químico e radioativo do efluente do LABMAT, para a primeira e segunda séries de ensaios.

* Possível contaminação do frasco de amostra.

Tabela 6.2.3.2 - Eficiência na Redução dos Contaminantes Químico e Radioativo do Efluente do LABMAT

Dosagem de CaO (mg/L)	Primeira Série de Ensaio		Segunda Série de Ensaio	
	% de Redução de Urânio	% de Redução de Cromo	% de Redução de Urânio	% de Redução de Cromo
0	0,0	0,0	0,0	0,0
50	81,4	7,6	91,3	18,1
100	90,0	14,1	96,7	13,3
200	92,8	9,2	>80,2	17,3
300	82,8	10,4	92,1	15,3
400	68,5	9,2	74,1	17,7
500	85,7	9,6	82,3	17,7

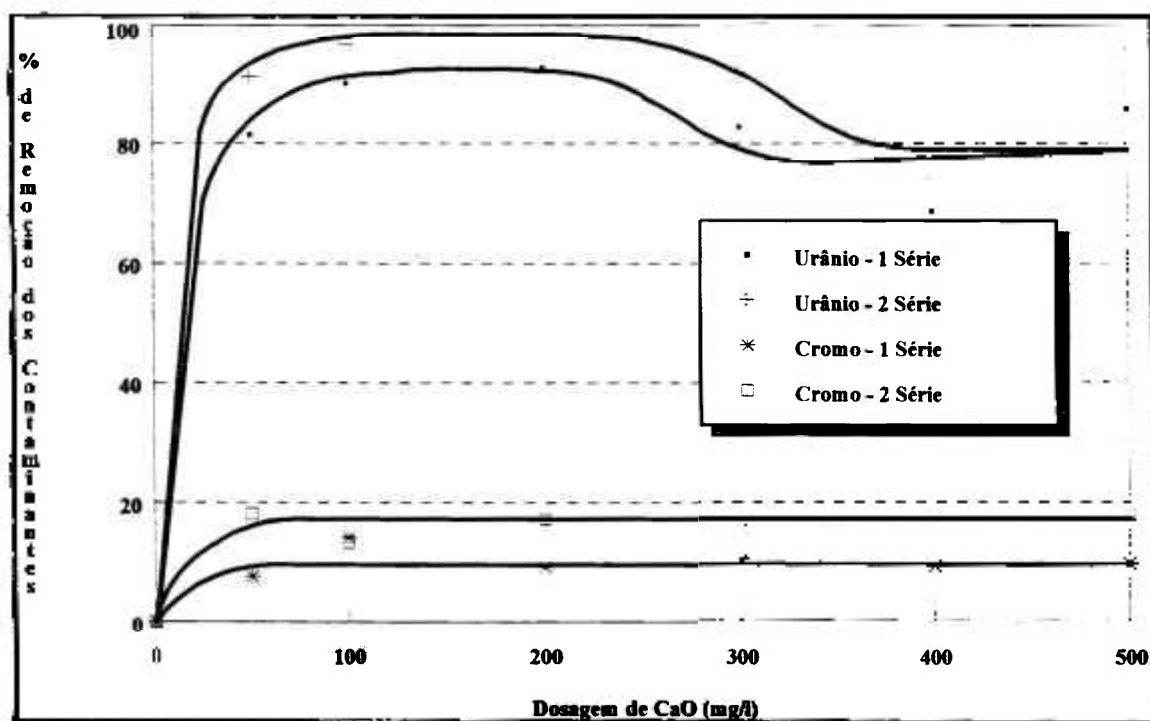


Figura 6.2.3.1 - Eficiência na Redução dos Contaminantes Químico e Radioativo do Efluente do LABMAT em Função da Dosagem do Agente de Precipitação

Pelos resultados obtidos na segunda série de ensaios, verifica-se que a concentração de cromo ainda permaneceu elevada, o que indica que a quantidade do agente redutor não foi suficiente para promover a redução do cromo.

Com base nestes dados, verificou-se a necessidade da realização de mais uma série de ensaios, onde variou-se a dosagem do agente redutor (Bissulfito de Sódio), de 3 até 15 vezes a concentração de cromo presente no efluente, utilizando-se um frasco novo de reagente. Os parâmetros de processo utilizados nesta série de ensaios, bem como os resultados obtidos, são apresentados na Tabela 6.2.3.3 e Tabela 6.2.3.4.

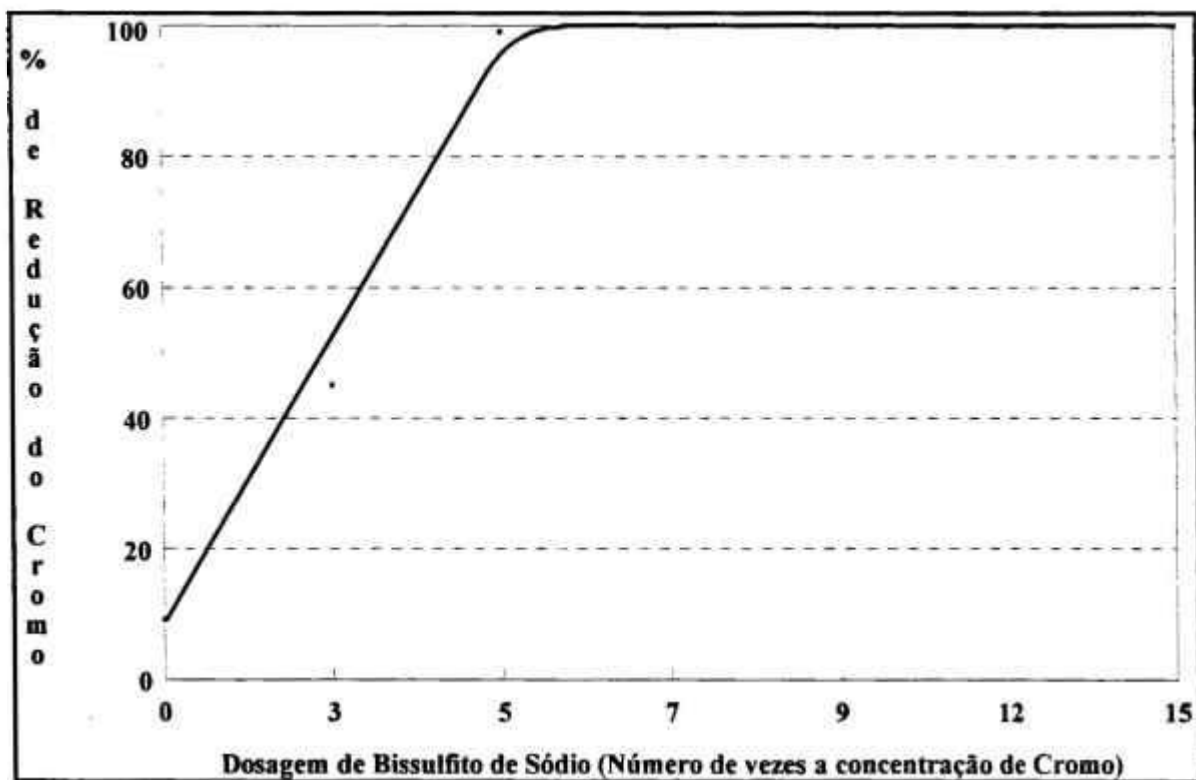
Nesta série de ensaios, utilizou-se uma dosagem de 150 mg/L para o agente de precipitação, considerando-se apenas a remoção do urânio, uma vez que os melhores resultados com relação à eficiência de redução deste contaminante, encontram-se na faixa entre 100 mg/L e 200 mg/L, como pode ser verificado na Figura 6.2.3.1.

Tabela 6.2.3.3 - Parâmetros de Processo para Determinação da Dosagem de Bissulfito de Sódio, para Redução do Cromo

Dosagem de CaO	150 mg/L
Tempo de Mistura para Redução do Cromo	10 minutos
Tempo de Mistura para Precipitação	30 minutos
pH para adição do Agente Redutor	0,45
Velocidade de Agitação	180 rpm

Tabela 6.2.3.3 - Resultados dos Ensaios para Obtenção da Dosagem do Bissulfito de Sódio para Redução do Cromo

Dosagem do Bissulfito de Sódio (mg/L)	Concentração de Cromo (mg/L)	% de Redução de Cromo	pH final
0,0	22,6	9,2	11,97
74,7 (3 vezes a concentração de cromo)	13,7	45,0	12,56
124,5 (5 vezes a concentração de cromo)	0,24	99,04	12,46
174,3 (7 vezes a concentração de cromo)	0,024	99,90	12,63
224,1 (9 vezes a concentração de cromo)	0,013	99,95	12,45
298,8 (12 vezes a concentração de cromo)	0,010	99,96	12,50
373,5 (15 vezes a concentração de cromo)	0,013	99,95	12,19

**Figura 6.2.3.2 - Eficiência na Redução de Cromo do Efluente do LABMAT, em Função da Dosagem de Bissulfito de Sódio**

Pelos resultados obtidos, verifica-se que para dosagens do agente redutor, superiores a cinco vezes a concentração de cromo hexavalente presente no efluente, obtém-se uma redução da ordem de 99 %, após o processo de precipitação com cal. Com base neste dado, os ensaios referentes à determinação do tempo ótimo de mistura entre o agente de precipitação e o efluente a ser tratado, foram realizados promovendo-se a redução do cromo hexavalente, utilizando-se uma concentração de bissulfito de sódio, igual a cinco vezes a concentração de cromo, variando-se o tempo de mistura de 5 até 80 minutos, sendo mantidos os demais parâmetros utilizados no ensaio anterior, obtendo-se os resultados apresentados na tabela 6.2.3.4.

Tabela 6.2.3.4 - Resultados dos Ensaios para Obtenção do Tempo Ótimo de Mistura entre o Efluente do LABMAT e o Agente de Precipitação

Tempo de Mistura (Minutos)	Concentração de Urânio (mg/L)	% de Redução de Urânio	Concentração de Cromo (mg/L)	% de Redução de Cromo	pH final
0	6,98	0	24,9	0	--x--
5	0,50	92,84	2,054	91,75	11,20
10	0,20	97,13	0,614	97,53	11,22
20	1,51	78,37	0,383	98,46	11,18
30	0,60	91,40	0,240	99,04	12,46
40	0,60	91,40	0,284	98,86	11,16
60	0,56	91,98	0,874	96,49	11,31
80	0,28	95,99	0,263	98,94	11,14

Velocidade de Agitação = 180 rpm

Dosagem do Agente de Precipitação = 150 mg/L

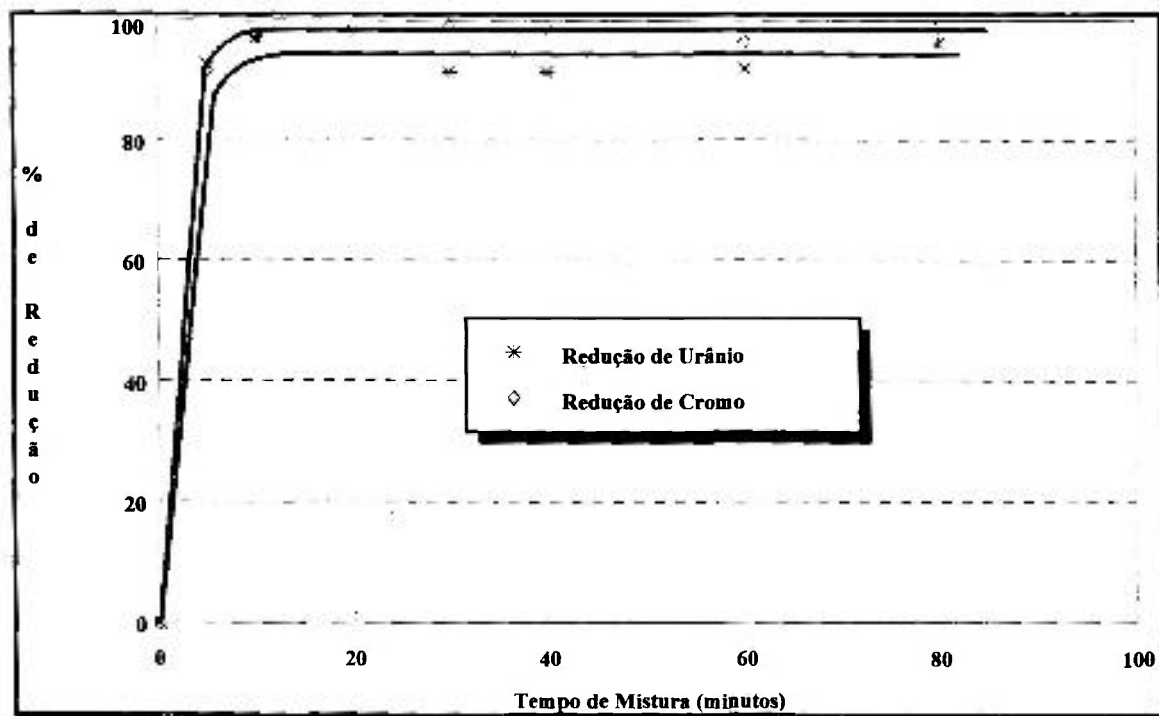


Figura 6.2.3.3 - Eficiência na Redução de Urânio e Cromo do Efluente do LABMAT, em Função do Tempo de Mistura entre o Efluente e o Agente de Precipitação

Pelos resultados obtidos verifica-se que para o urânio, o menor tempo de mistura analisado é suficiente para obter a máxima eficiência de redução do mesmo. Isto já não acontece com o cromo, onde verifica-se que é necessário um tempo de mistura entre o agente de precipitação e o efluente, de no mínimo 30 minutos.

Com base nestes resultados, será adotado um intervalo de tempo de mistura entre o agente de precipitação e o efluente do LABMAT, igual a 30 minutos, para a realização dos ensaios de coagulação/floculação.

Da mesma forma que para os demais efluentes estudados, para a determinação da dosagem ótima do auxiliar de coagulação/floculação, variou-se a dosagem do mesmo de 0,5 a 8,0 mg/L, sendo este composto adicionado 30 minutos após a adição do agente de precipitação, sendo o sistema mantido sob agitação por mais 10 minutos.

Na tabela 6.2.3.5 são apresentados os resultados obtidos no ensaio para a determinação da dosagem ótima do auxiliar de coagulação/floculação, para o efluente radioativo do LABMAT.

Tabela 6.2.3.5 - Resultados dos Ensaio para Obtenção da Dosagem Ótima do Auxiliar de Coagulação/floculação, para o Efluente Radioativo do LABMAT

Dosagem do Auxiliar de Coagulação/floculação (mg/L)	Concentração de Urânio (mg/L)	% de Redução de Urânio	Concentração de Cromo (mg/L)	% de Redução de Cromo	pH final
0	0,60	91,40	0,240	99,04	12,46
0,5	0,20	97,13	0,196	99,21	11,12
1,0	N/D&	> 97,13	0,202	99,19	11,24
2,0	N/D&	> 97,13	0,199	99,20	11,19
4,0	N/D&	> 97,13	0,218	99,12	11,13
6,0	N/D&	> 97,13	0,212	99,15	11,10
8,0	N/D&	> 97,13	0,205	99,18	11,14

Velocidade de Agitação = 180 rpm

Dosagem do Agente de Precipitação = 150 mg/L

Tempo de Mistura = 30 minutos

Tempo para a Coagulação/floculação = 10 minutos

& Não foi observada a onda referente ao elemento urânio.

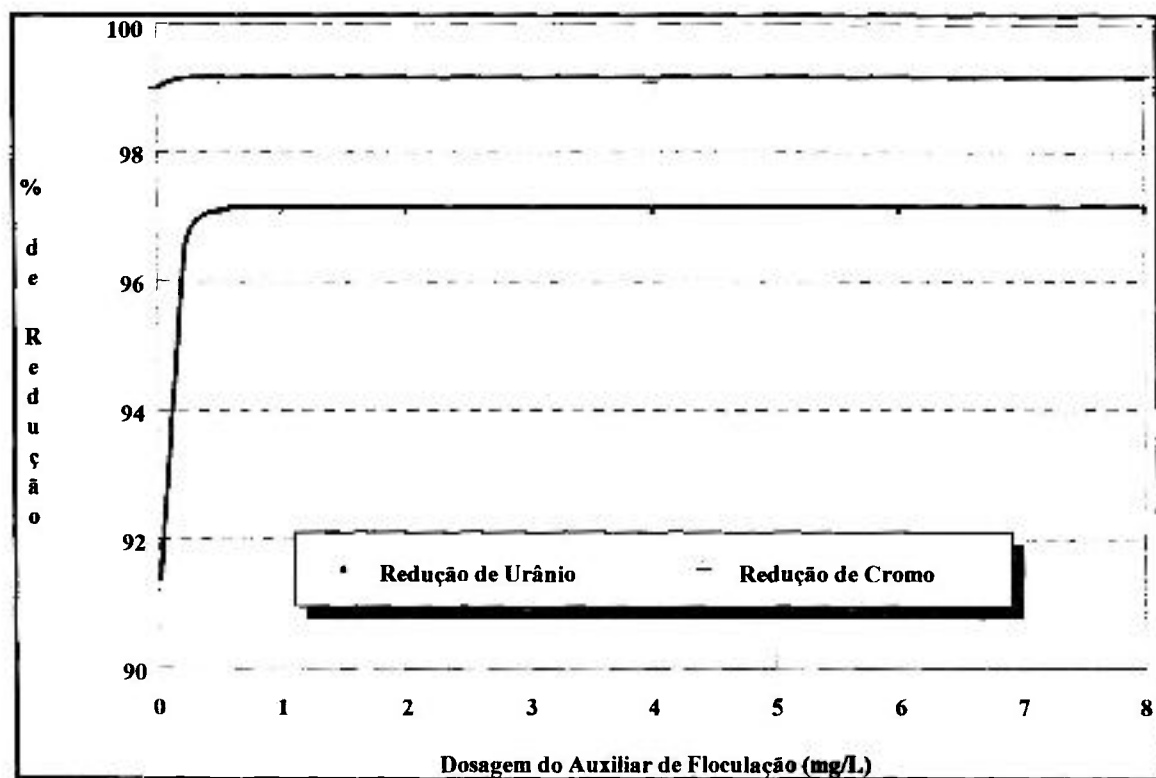


Figura 6.2.3.4 - Eficiência na Redução de Urânio e Cromo do Efluente do LABMAT, em Função da Dosagem do Auxiliar de Floculação.

Pelos resultados obtidos, verifica-se que para o urânio, houve uma elevação na eficiência de remoção, já para a menor dosagem do auxiliar de coagulação/ floculação, comportamento que não é observado para o cromo.

Da mesma forma que para os ensaios com os outros efluentes, foi observado que para as dosagens do auxiliar de coagulação/floculação, a partir de 2,0 mg/L, obteve-se uma melhor eficiência na separação dos sólidos formados, sendo este o valor adotado para o tratamento deste efluente.

Após a obtenção dos parâmetros de processo para o tratamento do Efluente Radioativo do LABMAT por precipitação química, foi realizado um ensaio completo para o tratamento deste efluente, utilizando-se 16 litros do efluente sintético e as condições de

operação apresentadas na tabela 6.2.3.6, obtendo-se os resultados apresentados na tabela 6.2.3.7.

Tabela 6.2.3.6 - Parâmetros de Processo para o Tratamento do Efluente Radioativo do LABMAT por Precipitação Química

Velocidade de Mistura	180 rpm
Dosagem do Agente de Precipitação	150 mg/litro de efluente
Tempo de Mistura entre o Agente de Precipitação e o Efluente	30 Minutos
Dosagem do Auxiliar de Coagulação/floculação	2,0 mg/litro de efluente
Tempo para Coagulação/floculação	10 minutos

Tabela 6.2.3.7 - Caracterização do Efluente Radioativo do LABMAT, após o Processo de Precipitação Química

Contaminante	Concentração (mg/L)	Eficiência de Redução
Nitrato	264	---x---
Sulfato	1220	---x---
Cloreto	418	---x---
Sódio	639,6	---x---
Cálcio	91,8	---x---
Cromo	0,03	99,9 %
Fluoreto	N/A	---x---
Amônio	13,6 (em N)	---x---
Urânio	N/D	> 97,1 %
DQO	3,5	--x--
Condutividade	5,47 mmho/cm	---x---
pH	7,08	---x---

Como pode ser observado na tabela acima, o processo de precipitação química é eficiente para a redução do urânio e do cromo, sendo que para uma remoção eficiente do cromo, é necessário que se proceda a redução de seu estado de oxidação, de +6 (cromo hexavalente), para +3 (cromo trivalente), utilizando-se como agente redutor, o bissulfito de sódio, numa relação de 5 partes de bissulfito, para cada parte de cromo hexavalente.

6.3 - Ensaios com a Unidade de Osmose Reversa

Após a realização do tratamento das três correntes de efluentes, utilizando-se o processo de precipitação química e do tratamento de uma das correntes utilizando-se apenas o processo de coagulação/floculação (efluente químico da INAP), estas correntes foram submetidas ao processo de tratamento por Osmose Reversa, sendo todos os ensaios de tratamento realizados no equipamento apresentado na Figura 6.6.1.

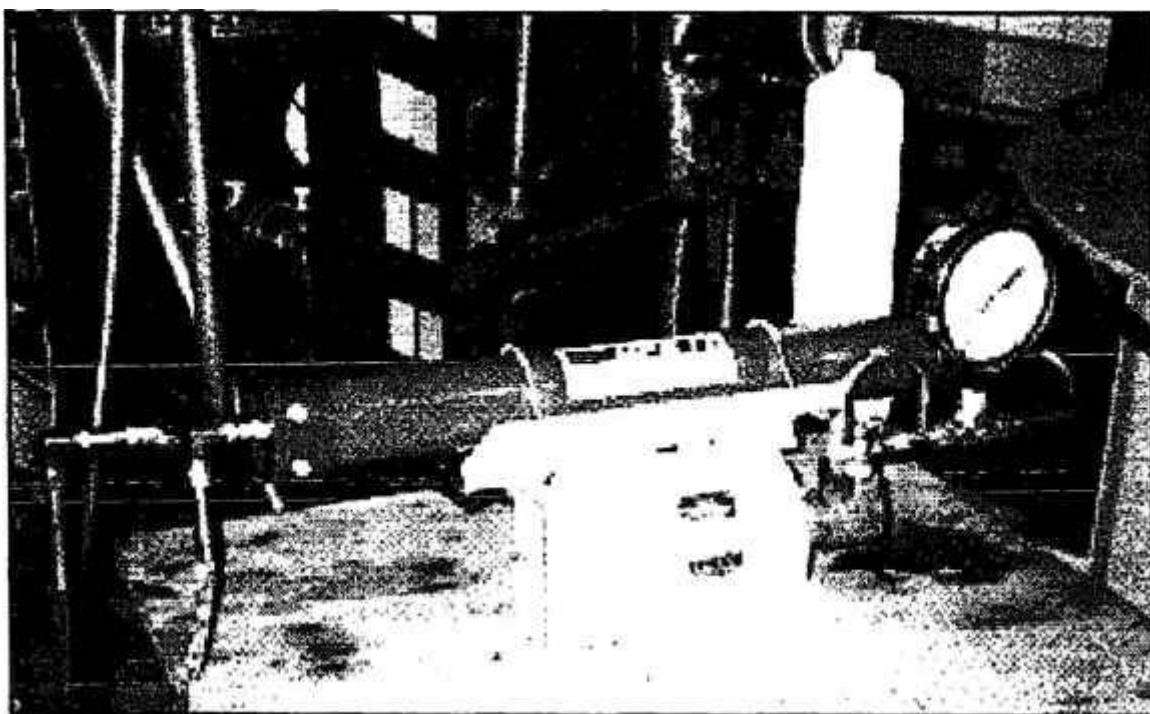


Figura 6.6.1 - Unidade de Osmose Reversa Utilizada para O Tratamento dos Efluentes

Antes do tratamento de cada uma das correntes de efluentes obtidas a partir do processo de precipitação química, procedeu-se a lavagem da membrana de Osmose Reversa, com água deionizada.

A lavagem foi feita mantendo-se o sistema operando com a válvula de descarga de concentrado totalmente aberta, recirculando-se a água para o tanque de alimentação da unidade por um intervalo de 30 minutos, após o que descartava-se a solução de lavagem. Ao todo foram realizadas cinco operações de lavagem da membrana de osmose reversa.

Para o tratamento de cada uma das correntes de efluentes através do processo de osmose reversa, foi estabelecida uma recuperação mínima de água, igual a 90% do volume alimentado, o que foi obtido promovendo-se a recirculação da corrente rejeitada pela unidade, para o tanque de alimentação da mesma.

Na Figura 6.6.2 é apresentado um diagrama esquemático do arranjo utilizado para a realização dos ensaios de tratamento dos efluentes através da unidade de osmose reversa.

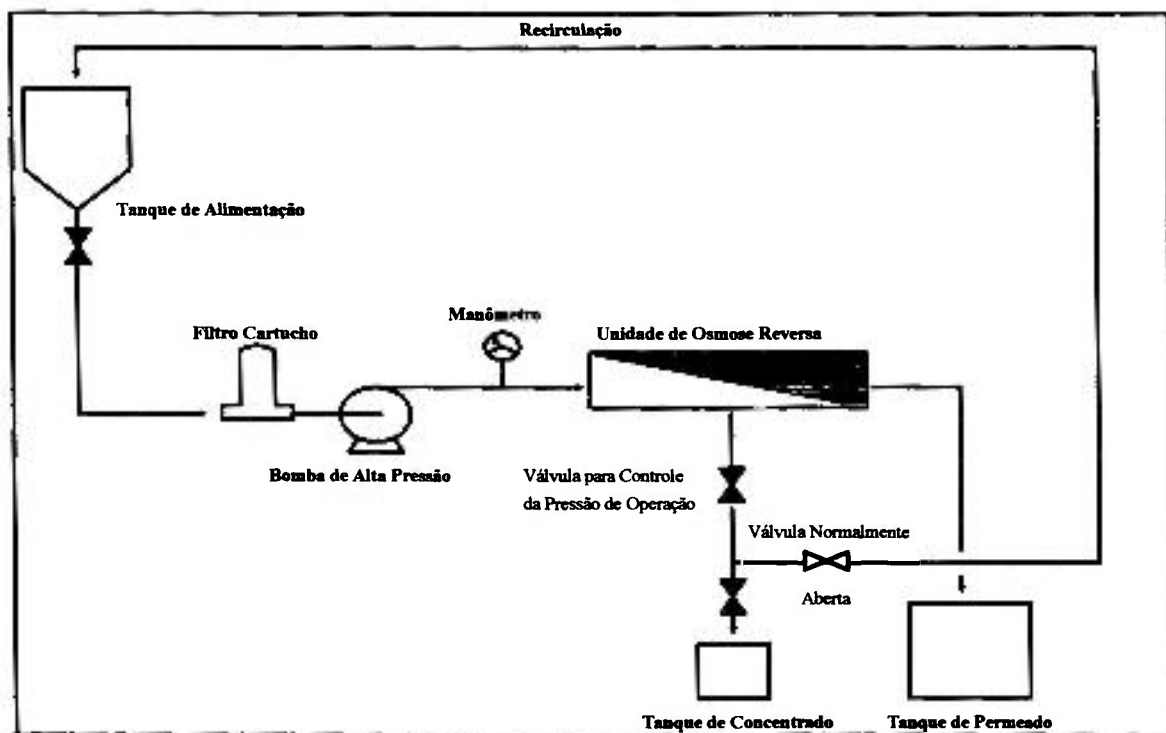


Figura 6.6.2 - Representação Esquemática do Arranjo Utilizado para a Realização dos Ensaios de Tratamento por Osmose Reversa

A medida da vazão do permeado, durante a execução dos ensaios foi realizada utilizando-se uma proveta de um litro e um cronômetro, para marcar o tempo gasto para que a proveta fosse preenchida. Para cada um dos efluentes submetidos ao processo de tratamento, foram realizadas três medidas da vazão, sendo uma no início do processo, uma no intervalo de 30% a 40% de recuperação de água e outra no intervalo de 70% a 80% de recuperação de água, obtendo-se desta forma, um valor médio para a vazão de permeado.

6.3.1 - Tratamento do Efluente Químico da INAP

O tratamento das duas correntes obtidas após o tratamento do efluente químico da INAP, através do processo de precipitação química e coagulação/floculação e o processo onde foi apenas utilizada a coagulação/floculação, foi realizado separadamente, a fim de verificar a influência da utilização de cada um dos processos, na eficiência e no comportamento do processo de osmose reversa, sendo apresentados a seguir, os parâmetros de operação e os resultados obtidos para o tratamento de cada uma das correntes em questão.

6.3.1.1 - Tratamento do Efluente Químico da INAP, Após o Processo de Coagulação/Floculação

Para o tratamento desta corrente de efluente, operou-se a unidade de osmose reversa nas seguintes condições:

- Pressão de Operação $\Rightarrow$ 15 bar
- Vazão de permeado $\Rightarrow$ 12,45 L/h
- Volume de Efluente tratado $\Rightarrow$ 10 Litros

Durante o desenvolvimento do ensaio, foram coletadas amostras do permeado, em um recipiente adequadamente lavado com água deionizada, para análise da condutividade elétrica. Estas amostras foram coletadas para 20%, 40%, 60%, 80% e 90% de recuperação de água, sendo também coletada uma amostra do concentrado obtido.

Além das análises da condutividade elétrica, para as amostras de 40%, 60% e 80% de recuperação de água foram realizadas análises do íon magnésio, que foi o contaminante selecionado, para a determinação dos parâmetros de processo do tratamento por precipitação química. Já para a amostra de 90% de recuperação de água, procedeu-se uma caracterização completa da mesma, a fim de verificar a eficiência do processo de osmose reversa, quando da máxima recuperação de água estabelecida.

Nas Tabelas 6.3.1.1.1 e 6.3.1.1.2, encontram-se os resultados obtidos através das análises químicas das amostras.

Tabela 6.3.1.1.1 - Medida da Condutividade Elétrica e da Concentração de Magnésio das Amostras do Permeado, Durante o Processo de Tratamento por Osmose Reversa

% de Recuperação de Água	Condutividade Elétrica ($\mu\text{mho/cm}$)	% de Redução de SDT	Concentração de Magnésio (mg/L)	% de Redução de Magnésio
20	9,60	99,52 %	---x---	---x---
40	9,92	99,51 %	0,003	99,99 %
60	10,63	99,47 %	0,034	99,90 %
80	12,46	99,38 %	0,003	99,99 %
90	14,12	99,30 %	0,156	99,54 %

Tabela 6.3.1.1.2 - Caracterização do Permeado da Unidade de Osmose Reversa, Após 90% de Recuperação de Água

Contaminante	Concentração (mg/L)	% de Redução
Sódio	7,31	97,8
Ferro	<0,05	---x---
Fluoreto	0,021	99,7
Manganês	< 0,05	---x---
Cloreto	2,30	99,5
Sulfato	2,78	98,9
Cálcio	0,50	99,3
Magnésio	0,156	99,5
Nitrato	1,06 ⁺	---x---
Zinco	< 0,05	---x---
DQO	1,70	---x---
Condutividade	14,12 µmho/cm	99,30
pH	~ 6,0	---x---

Através do cálculo de um balanço para os íons alimentados à unidade de osmose reversa e os íons presentes no permeado da mesma, foram obtidos os valores para a concentração dos íons, presentes no concentrado da unidade de osmose reversa, com exceção da condutividade elétrica, cujo valor foi obtido através de uma medida direta. Os dados obtidos são apresentados na Tabela 6.3.1.1.3.

⁺ Valor superior ao encontrado na corrente alimentada ao processo de tratamento, possível contaminação do frasco, ou erro de análise.

Tabela 6.3.1.1.3 - Concentração dos Íons Presentes no Concentrado da Unidade de Osmose Reversa, Obtidos Através de um Balanço de Íons

Contaminante	Concentração (mg/L)
Sódio	3288,21
Ferro	---x---
Fluoreto	65,81
Manganês	---x---
Cloreto	4289,30
Sulfato	2424,98
Cálcio	733,50
Magnésio	343,20
Nitrato	---x---
Zinco	---x---
Condutividade Elétrica	7,38 mmho/cm

6.3.1.2 - Tratamento do Efluente Químico da INAP, Após o Processo de Precipitação Química e Coagulação/Floculação

O tratamento do efluente químico da INAP, após o processo de precipitação química e coagulação/floculação foi realizado nas mesmas condições e com os mesmos procedimentos apresentados no item anterior, com exceção da vazão de permeado, que foi de 13,73 L/h.

Os resultados obtidos são apresentados nas Tabelas 6.3.1.2.1, 6.3.1.2.2 e 6.3.1.2.3.

Tabela 6.3.1.2.1 - Medida da Condutividade Elétrica e da Concentração de Magnésio das Amostras do Permeado, Durante o Processo de Tratamento por Osmose Reversa

% de Recuperação de Água	Condutividade Elétrica (µmho/cm)	% de Redução de SDT	Concentração de Magnésio	% de Redução de Magnésio
20	18,01	99,22 %	---x---	---x---
40	15,07	99,34 %	0,015	97,9
60	16,12	99,30 %	0,007	99,0
80	19,17	99,17 %	0,008	98,9
90	25,50	98,89 %	0,168	76,5

Deve ser observado, que os valores para a condutividade elétrica obtidos neste ensaio, são superiores aos valores obtidos no item anterior, o que pode ser justificado, pela maior concentração salina no efluente onde utilizou-se o processo de precipitação química e coagulação/floculação, como pode ser verificado nos resultados das análises da condutividade elétrica.

Esta salinidade superior no efluente obtido pelo processo de precipitação química e coagulação/floculação é devida a adição do agente de precipitação, bem como devida a necessidade de se adicionar uma maior quantidade de ácido clorídrico, para a neutralização do efluente, após o processo de centrifugação.

Tabela 6.3.1.2.2 - Caracterização do Permeado da Unidade de Osmose Reversa, Após 90% de Recuperação de Água

Contaminante	Concentração (mg/L)	% de Redução
Sódio	13,68	95,9
Ferro	< 0,05	---x---
Fluoreto	0,052	99,2
Manganês	<0,05	---x---
Cloreto	2,80	99,5
Sulfato	3,70	98,4
Cálcio	1,52	99,1

Tabela 6.3.1.2.2 - Caracterização do Permeado da Unidade de Osmose Reversa, Após 90% de Recuperação de Água

Contaminante	Concentração (mg/L)	% de Redução
Magnésio	0,168	76,5
Nitrato	< 0,1	> 84,8
Zinco	< 0,05	---x---
DQO	0,0	---x---
Condutividade	25,50 µmho/cm	98,89 %
pH	~ 6,0	---x---

Tabela 6.3.1.2.3 - Concentração dos Íons Presentes no Concentrado da Unidade de Osmose Reversa, Obtidos Através de um Balanço de Íons

Contaminante	Concentração (mg/L)
Sódio	3266,88
Ferro	---x---
Fluoreto	65,53
Manganês	---x---
Cloreto	5554,80
Sulfato	2356,70
Cálcio	1642,32
Magnésio	5,65
Nitrato	> 5,7 (em N)
Zinco	---x---
Condutividade Elétrica	7,97 mmho/cm

6.3.2 - Tratamento do Efluente Radioativo da INAP

O efluente radioativo da INAP foi submetido ao processo de tratamento por osmose reversa, utilizando-se os mesmos procedimentos e condições que aquelas utilizadas para o

efluente químico da INAP, com exceção do volume de efluente tratado, que foi de 20 Litros para este ensaio, bem como a vazão de permeado, que foi de 11,92 L/h.

Além das amostras para condutividade elétrica, foram retiradas amostras do permeado no intervalo de 20%, 40%, 60% e 80% de recuperação de água, para análise da DQO das mesmas.

Os resultados obtidos são apresentados nas Tabelas 6.3.2.1, 6.3.2.2 e 6.3.2.3.

Tabela 6.3.2.1 - Medida da Condutividade Elétrica e da Concentração da DQO das Amostras do Permeado, Durante o Processo de Tratamento por Osmose Reversa

% de Recuperação de Água	Condutividade Elétrica ($\mu\text{mho/cm}$)	% de Redução de SDT	DQO (mg/L)	% de Redução em relação ao Processo de Precipitação
20	27,40	99,40 %	3,4	94,9 %
40	27,30	99,40 %	1,7	97,5 %
60	31,50	99,31 %	0	100,0 %
80	44,10	99,04 %	3,4	94,9 %
90	67,7	98,52 %	0	100,0 %

Tabela 6.3.2..2 - Caracterização do Permeado da Unidade de Osmose Reversa, Após 90% de Recuperação de Água

Contaminante	Concentração (mg/L)	% de Redução
Fósforo	N/A	--x--
Cromo	< 0,05	> 96,2
Manganês	< 0,07	---x---
Ferro	< 0,05	---x---
Prata	0,003	94,5
Cálcio	7,86	---x---
Cério	< 0,05	> 87,8
Molibdênio	0,18	98,1

Tabela 6.3.2..2 - Caracterização do Permeado da Unidade de Osmose Reversa, Após 90% de Recuperação de Água

Contaminante	Concentração (mg/L)	% de Redução
Iodo	N/A	---x---
DQO	0,0	100,0
Condutividade	67,7 μ mho/cm	98,52
pH	~ 6,0	---x---

Tabela 6.3.1.2.3 - Concentração dos Íons Presentes no Concentrado da Unidade de Osmose Reversa, Obtidos Através de um Balanço de Íons

Contaminante	Concentração (mg/L)
Fósforo	Não determinado
Cromo	> 25,70
Manganês	---x---
Ferro	---x---
Prata	1,09
Cério	> 8,10
Molibdênio	193,24
Iodo	Não Determinado
DQO	669,0
Condutividade	22,60 mmho/cm

6.3.3 - Tratamento do Efluente Radioativo do LABMAT

O tratamento do efluente radioativo do LABMAT após o processo de precipitação química e coagulação/floculação, foi realizado utilizando-se as mesmas condições de operação que aquelas utilizadas no tratamento do efluente químico da INAP, com uma vazão de permeado de 11,37 L/h.

Além da medida da condutividade elétrica para as amostras de 20%, 40%, 60% e 80% de recuperação de água, também foram realizadas análises de cromo e urânio para estas amostras.

Os resultados obtidos são apresentados nas Tabelas 6.3.3.1, 6.3.3.2 e 6.3.3.3.

Tabela 6.3.3.1 - Medida da Condutividade Elétrica e da Concentração de Cromo e Urânio das Amostras do Permeado, Durante o Processo de Tratamento por Osmose Reversa

% de Recuperação de Água	Condutividade Elétrica ($\mu\text{mho/cm}$)	% de Redução de SDT	Concentração de Cromo (mg/L) e % de Redução	Concentração de Urânio (mg/L) e % de Redução
20	56,4	98,97 %	< 0,001 (> 96,7%)	N/D
40	63,2	98,84 %	< 0,001 (> 96,7%)	N/D
60	75,3	98,62 %	< 0,001 (> 96,7%)	N/D
80	101,1	98,15 %	< 0,001 (> 96,7%)	N/D
90	126,5	97,69 %	< 0,002 (> 93,3%)	N/D

Através da análise por polarografia, não foi possível determinar a concentração de urânio presente nas amostras, uma vez que não foi observada a onda referente a este elemento químico no polarógrafo. Por esta razão, foi solicitada a realização da análise de urânio, na amostra referente a 90% de recuperação de água, por fluorimetria, que apresenta uma maior sensibilidade, sendo este resultado apresentado na Tabela 6.3.3.2.

Tabela 6.3.3.2 - Caracterização do Permeado da Unidade de Osmose Reversa, Após 90% de Recuperação de Água

Contaminante	Concentração (mg/L)	% de Redução
Nitrato	11,0 (em N)	95,8
Sulfato	4,94	99,6
Cloreto	4,60	98,9
Sódio	50,3	92,1
Cálcio	1,69	98,2
Cromo	< 0,002	> 93,3
Fluoreto	0,025	99,8

Tabela 6.3.3.2 - Caracterização do Permeado da Unidade de Osmose Reversa, Após 90% de Recuperação de Água

Contaminante	Concentração (mg/L)	% de Redução
Amônio	0,63 (em N)	95,4
Urânio	< 5,0 µg/L	99,9
DQO	1,7	---x---
Condutividade	126,5 µmho/cm	97,69 %
pH	~ 6,0	---x---

Tabela 6.3.3.3 - Concentração dos Íons Presentes no Concentrado da Unidade de Osmose Reversa, Obtidos Através de um Balanço de Íons

Contaminante	Concentração (mg/L)
Nitrato	2541,00 (em N)
Sulfato	12155,54
Cloreto	4138,60
Sódio	5913,30
Cromo	> 0,28
Fluoreto	99,78
Amônio	130,33 (em N)
Urânio	~ 1,96
Condutividade	15,35 mmho/cm

6.3.4 - Considerações Sobre o Tratamento pelo Processo de Osmose Reversa

Com a utilização do processo de osmose reversa, obteve-se uma recuperação de água para cada um dos efluentes, igual a 90% do volume alimentado ao sistema e um concentrado que corresponde a 10% do volume alimentado e onde estão presentes os contaminantes destes efluentes.

Comparando-se os resultados obtidos para cada uma das correntes purificadas, com relação a concentração dos contaminantes químicos, com os padrões estabelecidos na legislação ambiental, para um rio de classe 2, verifica-se que estas correntes atendem a estes padrões, com exceção do parâmetro nitrato, do efluente radioativo do LABMAT, que está 1 mg/L, acima do padrão estabelecido. Mas quando promove-se a mistura entre as diversas correntes obtidas, este parâmetro fica abaixo do valor estabelecido em norma, conforme pode ser verificado na Tabela 6.3.4.1.

Tabela 6.3.4.1 - Comparação entre as Características do Permeado da Unidade de Osmose Reversa e os Padrões Estabelecidos em Norma para um Rio Classe 2

Contaminante	Concentração (mg/L)				
	Efluente Radioativo do LABMAT	Efluente Químico da INAP	Efluente Radioativo da INAP	Mistura dos Efluentes	Padrão da Legislação de um Rio Classe 2
Nitrato	11,0 (em N)	< 0,1 (em N)	---x---	< 0,2 (em N)	10,0 (em N)
Sulfato	4,94	2,78	---x---	2,40	250 (em SO ₄)
Cloreto	4,60	2,30	---x---	1,99	250 (em Cl)
Sódio	50,3	7,31	---x---	6,64	---x---
Cálcio	1,69	0,50	7,86	1,55	---x---
Cromo (+3)	< 0,002	---x---	---x---	< 2,9x10 ⁻⁵	0,5
Cromo (+6)	---x---	---x---	< 0,05	< 0,007	0,05
Fluoreto	0,025	0,021	---x---	0,018	1,4
Amônio	0,63 (em N)	---x---	---x---	0,005 (em N)	1,0 (em N)
Manganês	---x---	< 0,05	< 0,07	< 0,05	0,5
Ferro	---x---	< 0,05	< 0,05	< 0,05	5,0 (Solúvel)
Prata	---x---	---x---	0,003	< 4,2x10 ⁻⁴	0,05
Cério	---x---	---x---	< 0,05	< 0,007	---x---
Molibdênio	---x---	---x---	0,18	0,026	---x---
Magnésio	---x---	0,156	---x---	0,132	---x---
Urânio	< 5,0 µg/L	---x---	---x---	< 0,04 µg/L	0,02 (Total)
Condutividade	126,5 µmhos/cm	14,12 µmhos/cm	67,7 µmhos/cm	22,66 µmhos/cm	500 (SDT) (250 µmhos/cm)
pH	~ 6,0	~ 6,0	~ 6,0	~ 6,0	6,0 a 9,0
Volume (m ³ /dia)	1,35	135	22,5	158,85,	---x---

Para uma comparação, foram realizadas medidas da condutividade elétrica da água deionizada utilizada no laboratório, de uma água mineral utilizada para consumo humano e da água fornecida pela SABESP, obtendo-se os valores apresentados na Tabela 6.3.4.2.

Tabela 6.3.4.1 - Comparação entre a Condutividade Elétrica do Permeado da Unidade de Osmose Reversa, com Diversas Águas Utilizadas

Tipo de Água	Condutividade Elétrica (µmhos/cm)
Água Deionizada do Laboratório	2,0
Água Fornecida pela SABESP	134,1
Água Mineral para consumo humano	88,4
Permeado da Unidade de Osmose Reversa	22,7

Embora não tenham sido realizadas as análises para o iodo e para o fósforo, no permeado obtido no tratamento do efluente radioativo da INAP, espera-se que estes contaminantes também sejam removidos eficientemente.

Tal expectativa, baseia-se no fato de que o iodo pertencer à mesma família na classificação periódica do cloro, para o qual obteve-se uma redução de aproximadamente 99%, esperando-se um comportamento semelhante para o iodo.

No caso do fósforo pode-se fazer a mesma comparação com o nitrato, para o qual obteve-se uma redução de quase 97%. Esta comparação com o íon nitrato é justificada, uma vez que o fósforo presente no efluente, encontra-se na forma de fosfato.

Em função dos resultados obtidos, verificou-se que após a purificação dos efluentes pelo processo de osmose reversa, a água produzida apresenta um alto grau de qualidade, podendo ser reutilizada como água industrial nos diversos processos industriais desenvolvidos no CEA, sem qualquer restrição, ou então, caso liberada para o meio ambiente, não causará qualquer impacto negativo no corpo receptor.

Já o concentrado obtido, deverá ser submetido ao processo de evaporação/cristalização, cujo objetivo é recuperar a água ainda existente no concentrado, bem como minimizar o volume de resíduo a ser gerenciado posteriormente.

6.4 - Unidade de Evaporação

Através do processo de osmose reversa, obteve-se uma recuperação de água de 90 %, conforme apresentado no item anterior, contudo os 10 % restantes do volume alimentado ao sistema, onde estão presentes os contaminantes do efluente, ainda deverão ser submetidos a um processo de tratamento.

O tratamento adotado neste trabalho, é o de evaporação/cristalização, onde será feita a concentração dos contaminantes químicos e radioativos presentes no concentrado da unidade de osmose reversa, para uma disposição final dos mesmos e recuperação da água ainda presente neste concentrado.

Em função da impossibilidade da construção em tempo hábil do equipamento de evaporação que seria utilizado para a realização dos ensaios relativos a etapa de secagem do concentrado da unidade de osmose reversa, neste item será apresentado o projeto do equipamento a ser utilizado para ensaios em uma unidade piloto de tratamento de efluentes.

O equipamento considerado foi um evaporador do tipo “Wiped Film” conforme representação esquemática na figura 6.4.1, que funciona como evaporador e cristalizador, sendo esta escolha baseada no princípio de minimização de resíduos a serem gerenciados, para futuro tratamento ou disposição no meio ambiente.

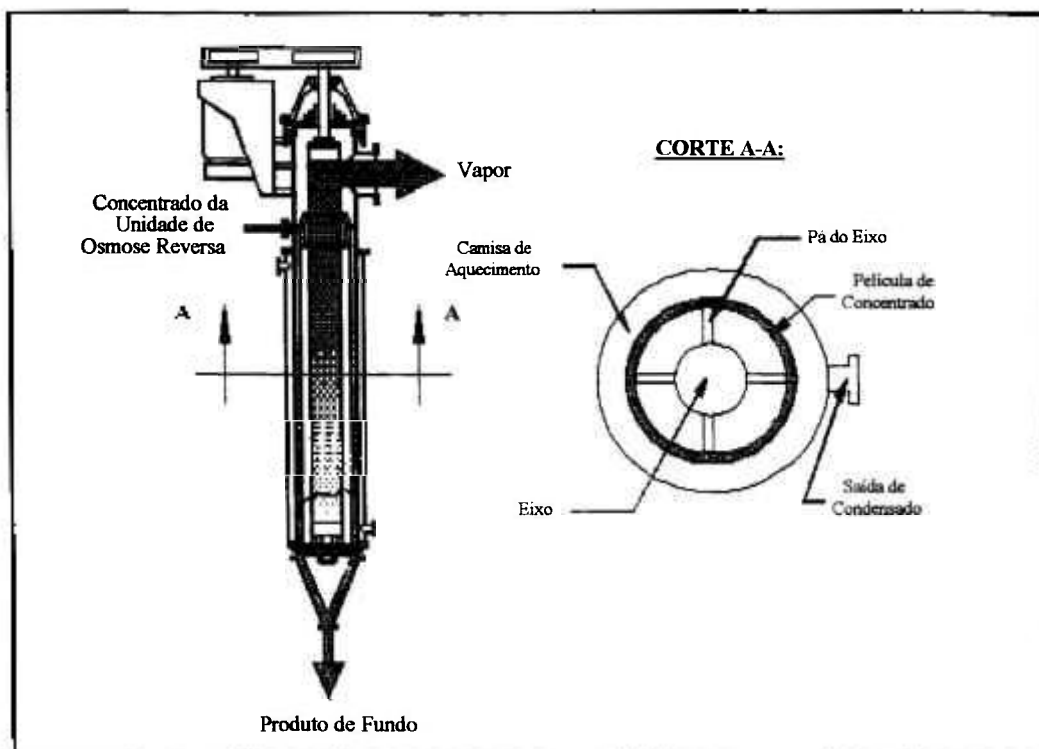


Figura 6.4.1 - Representação Esquemática do Evaporador “Wiped Film”

O dimensionamento deste equipamento teve como base, a disponibilidade de uma caldeira elétrica para a geração do vapor a ser utilizado como fonte de aquecimento, instalada no LABMAT, onde também deverá ser instalado o evaporador “Wiped Film”.

Considerando-se as características da fonte de calor disponível, ou seja, capacidade de produção de vapor igual a 35 kg/hora, pressão de vapor igual a 1,96 bar e ainda, admitindo-se que o evaporador irá processar um concentrado com um teor de sólidos de 2% em peso (Solução de Sulfato de Sódio), de forma a aumentar a sua concentração para 50% em massa, foi obtido um evaporador cujas características encontram-se na tabela 6.4.1.

Tabela 6.4.1 - Características do Evaporador Tipo "Wiped Film"

Área de Troca Térmica	0,410 m ²
Carga Térmica	21,40 kW (18404 kcal)
Pressão do Vapor de Aquecimento	1,96 bar
Pressão de Operação	0,98 bar
Altura da Camisa de Aquecimento	0,80 m
Diâmetro da Camisa de Aquecimento (Tubo Interno)	0,168 m
Vazão de alimentação	28,86 kg/h
Material de Construção	Aço Inoxidável
Velocidade de Rotação do Eixo	397 a 2451 rpm
Sistema de Rotação	Moto variador
Potência do Motor de Acionamento	3,0 KW

Na Figura 6.4.2 é apresentado o fluxograma de processos do Sistema de Evaporação obtido para ser implantado no LABMAT e que funcionará como uma unidade piloto de evaporação, além de tratar os efluentes desta instalação.

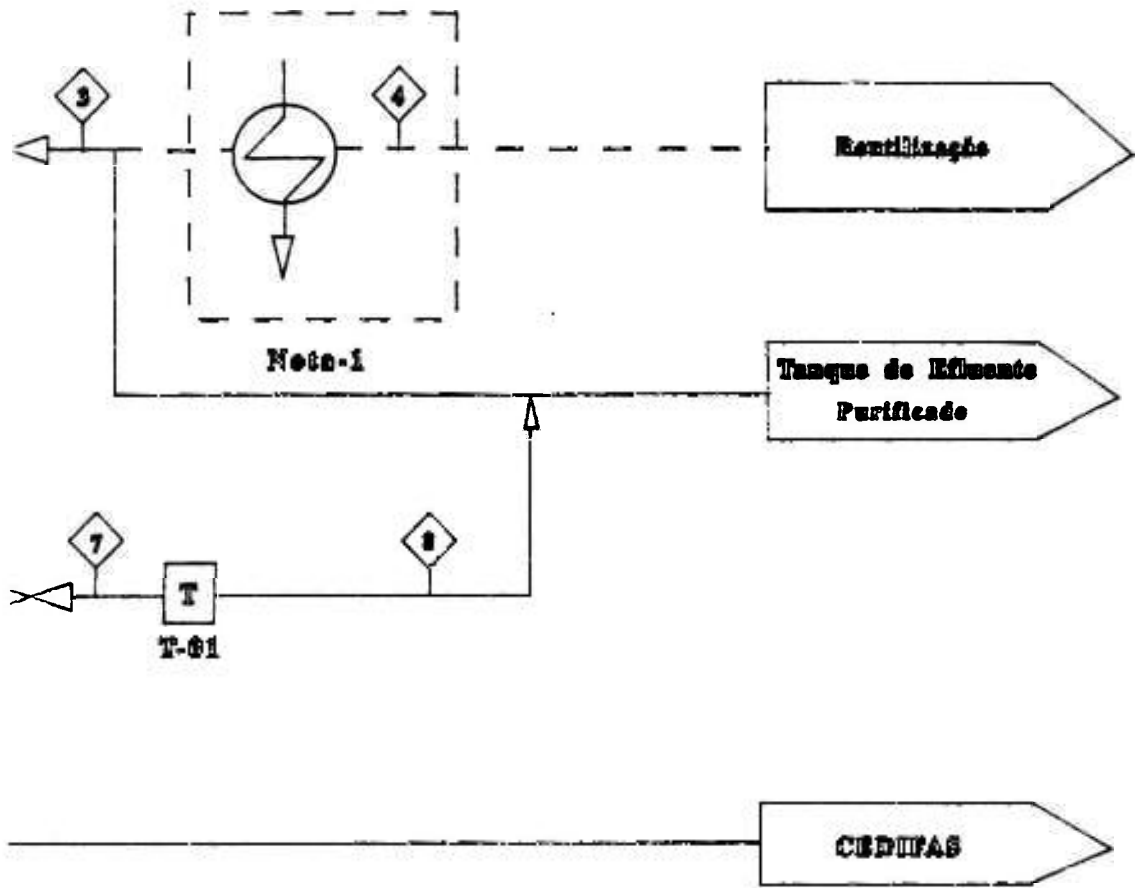
O evaporador dimensionado encontra-se em fase de desenvolvimento do projeto mecânico, que deverá ser concluído até Fevereiro de 1996, para posterior fabricação pelo próprio CTMSP.

Prasa
Oper
Tempo
da Op

LEGENDA:

- CON - Concentrado da Unidade de Osmose Reversa
- VEV - Vapor Gerado no Evaporador
- CEV - Condensado do Evaporador
- RES - Resíduo do Evaporador
- VPA - Vapor de Aquecimento
- CDC - Condensado da Camisa de Aquecimento do Evaporador
- TI - Medidor de Temperatura
- FI - Medidor de Vazão
- T - Purgador
- BD - Bandeja para coleta de concentrado do Evaporador
- ⊙ - Valor absoluto

NOTA 1: A utilização deste equipamento será avaliada após o início de operação do Sistema
 NOTA 2: Retorno para o tanque de concentrado da Unidade de Osmose Reversa, quando fora de especificação



IN
DESI
D/
TEC
MAI

Figura 6.4.F.2 - Projeto da Unidade de Evaporação do LABMAT			
		Título: Fluxograma de Processo do Sistema de Evaporação da Unidade Trat. Efluentes do LABMAT - B100	
		Página - 157	
Por:	De:	Revista:	
JCM/SMGB	12/02/94	Sem revisão	

Pela utilização deste equipamento, quando da sua implantação, será gerado um resíduo sólido, com um teor de umidade de até 50 % em peso, que em função das suas características deverá ser submetido a um processo de tratamento, visando a recuperação de algum elemento de interesse, ou então, imobilizado em cimento ou polímero, para a sua disposição final de forma segura, minimizando possíveis impactos negativos ao meio ambiente. Já o destilado obtido no processo de evaporação, em função de suas características, poderá ser reutilizado juntamente com a corrente de permeado da unidade de osmose reversa, ou caso necessário, ser submetido ao processo de tratamento por osmose reversa, juntamente com os demais efluentes.

6.5 - Comparação dos Custos do Processo de Evaporação e do Processo Combinado para o Sistema Integrado de Tratamento de Efluentes

Pelos resultados obtidos durante a realização dos ensaios de laboratório, verifica-se que o arranjo selecionado para o Sistema Integrado de Tratamento de Efluentes Químicos e Radioativos, visando a consolidação do conceito de Descarga Zero, é eficiente para o tratamento dos efluentes a serem gerados no CEA.

Desta forma, resta apenas avaliar se o sistema de tratamento que utiliza a combinação entre o processo de precipitação química, osmose reversa e evaporação, é economicamente viável, quando comparado com o um sistema de tratamento que utiliza apenas o processo de evaporação.

A fim de facilitar os cálculos, será apenas considerado na comparação, o custo dos principais equipamentos utilizados, bem como o custo operacional de cada um destes sistemas de tratamento, obtidos em literatura.

6.5.1 - Sistema de Tratamento por Evaporação

Como o volume diário de efluente a ser processado é de 150 m³ (ver item 4.2), será considerado um equipamento de evaporação do tipo "Wiped Film", com esta capacidade, operando 24 horas por dia.

Custo do Equipamento de Evaporação

Com base na referência 25 e ainda, considerando-se uma inflação média nos Estados Unidos, de 5,17% ao ano, no período de 1968 a 1991^{36 e 37}, o custo de um equipamento de evaporação do tipo "Wiped Film" corrigido para o ano de 1991 é da ordem de US\$ 24.202,05/(ton/dia).

Admitindo-se que a densidade do efluente é de 1000 kg/m³, o custo do Evaporador será de US\$ 3.630.307,50.

Custo Operacional

Também com base na referência 25, admitindo-se a mesma taxa de inflação que a adotada para o custo do equipamento, obtém-se que o custo de operação de um evaporador "Wiped Film" é da ordem de US\$ 55,17/ton.

Como é necessário evaporar 150 m³ (150 toneladas), de efluente por dia, o custo operacional diário para esta unidade é de US\$ 8.275,50.

6.5.2 - Sistema Combinado de Tratamento

Para o sistema combinado serão considerados os custos dos seguintes equipamentos:

- Separador Centrífugo para Separação de Sólidos Gerados na Etapa de Precipitação Química;
- Unidade de Osmose Reversa, com capacidade de 150 m³/dia;
- Evaporador "Wiped Film" com capacidade de 15 m³/dia.

A capacidade do evaporador é equivalente a 10% do volume alimentado na unidade de osmose reversa, uma vez que com o processo de osmose reversa obtém-se 90% de recuperação de água.

Custo dos Separadores Centrífugos

Em função da segregação mantida entre efluentes químicos e radioativos, serão considerados dois equipamentos de separação de sólidos, sendo um com capacidade de 145 m³/dia (6,04 m³/h) e outro com capacidade de 25 m³/dia (1,04 m³/h).

Através da empresa PROQUIP S/A, foi encaminhada para a CTMSP, uma proposta com os custos para os dois equipamentos de separação sendo os mesmos equivalentes a **US\$ 53.654,00** e **US\$ 103.624,00** para as vazões de 2,0 m³/h e 6,5 m³/h respectivamente^{38/}.

Custo da Unidade de Osmose Reversa

Pela referência 14 e ainda, considerando-se a taxa de inflação anual nos Estados Unidos no período de 1982 a 1991 de 3,8 % ao ano^{/36/} o custo de implantação de um sistema de osmose reversa, corrigido para o ano de 1991, varia de **US\$ 0,18 a US\$ 1,48/(Litro/dia)** de água purificada.

Considerando-se a média entre os valores apresentados acima e ainda, que a unidade de osmose reversa deverá processar 150 m³/dia de efluente, com uma recuperação de 90%, o custo da unidade de osmose reversa é de **US\$ 112.050,00**.

Custo do Evaporador

Considerando-se que o custo de um evaporador é da ordem de **US\$ 24.202,05/(ton/dia)** e ainda, que o volume de concentrado proveniente da unidade de osmose reversa é de 15 m³/dia, o custo do evaporador é de **US\$ 363.030,75**.

Custo de Operação dos Separadores Centrífugos

Pela proposta comercial encaminhada pela empresa PROQUIP S/A, obteve-se que o custo operacional dos separadores centrífugos são de aproximadamente **US\$ 0,94/m³** e **US\$ 0,35/m³**, para as vazões de 2,0 m³/h e 6,5 m³/h.

Considerando-se que o separador centrífugo com vazão de 2,0 m³/h, irá operar a cada 20 dias, para o processamento do efluente proveniente da lavanderia da INAP, será adotado uma vazão diária para processamento deste efluente, a fim de padronizar os dados referentes aos custos operacionais do separador centrífugo, com o custo operacional dos demais equipamentos considerados nesta análise. Com base nesta

consideração, os custos de operação dos separadores centrífugos são de **US\$ 1,18/dia e US\$ 50,75/dia**, para as vazões de 2,0 m³/h e 6,5 m³/h respectivamente.

Custo de Operação da Unidade de Osmose Reversa

De acordo com a referência 14, o custo de operação de uma unidade de osmose reversa é de **US\$ 0,36 a US\$ 1,85/m³** de efluente a ser tratado.

Considerando-se um valor médio entre os valores apresentados acima, obtém-se que o custo de operação da unidade de osmose reversa é de **US\$ 165,75/dia**.

Custo Operacional do Evaporador

Como o custo operacional do evaporador é de **US\$ 55,15/tonelada**, obtém-se que o custo de evaporação é de **US\$ 827,25/dia**.

Na tabela 6.5.1, são apresentados os custos relativos à implantação e operação dos Sistemas de Tratamento de Efluentes em análise.

Tabela 6.5.1 - Comparação de Custos Entre o Sistema de Tratamento de Efluentes por Evaporação e Sistema Combinado de Tratamento de Efluentes

Tipo de Sistema	Custo de Equipamentos (US\$)	Custo Operacional (US\$/Dia)
Sistema de Tratamento por Evaporação	3.630.307,50	8.275,50
Sistema Combinado de Tratamento	632.358,75	1.044,93

Como pode ser verificado na tabela acima, o Sistema Combinado de Tratamento de Efluentes, apresenta um custo para os equipamentos e operacional, muito inferiores ao Sistema de Tratamento por Evaporação, mostrando que o Sistema Integrado de Tratamento de Efluentes proposto e avaliado experimentalmente neste trabalho é o que mais se adequa às necessidades do Centro Experimental ARAMAR, em função das restrições impostas pela legislação ambiental, bem como pela escassez de recursos hídricos na região onde o mesmo está sendo implantado.

Deve ser observado que o Sistema Integrado de Tratamento de Efluentes Químicos e Radioativos proposto neste trabalho, onde é introduzido e validado o conceito de Descarga Zero, pode e deve ser utilizado por qualquer instalação industrial, seja ela ligada ou não a área nuclear, que tenha uma preocupação na conservação ambiental.

CAPÍTULO 7

CONCLUSÕES

Através do desenvolvimento deste trabalho verifica-se que em função das características hidrológicas da região onde o CEA encontra-se instalado, bem como em função das restrições impostas pela Legislação Ambiental brasileira, no que se refere aos efluentes químicos e radioativos, há uma obrigatoriedade para utilização do conceito de Descarga Zero de efluentes.

A partir de dados disponíveis em literatura, bem como através da seleção de um caso de estudo, foi verificada a viabilidade de utilização de dois arranjos, para compor o Sistema Integrado de Tratamento de Efluentes Químicos e Radioativos, sendo um deles composto por uma unidade de evaporação e o outro por uma unidade de precipitação química, osmose reversa e evaporação (evaporador "Wiped Film"), sendo este, o arranjo avaliado experimentalmente.

Com a utilização de efluentes sintéticos, foram desenvolvidos os ensaios de laboratório, para o processo de precipitação química e osmose reversa, obtendo-se resultados que demonstram que com o sistema proposto é possível obter-se uma água com um alto grau de qualidade, possibilitando a sua reutilização.

No processo de precipitação química, verificou-se que para algumas correntes pode-se apenas utilizar o processo de coagulação/floculação para o tratamento da mesma, minimizando-se a possibilidade de adição de outros elementos químicos na corrente a ser submetida ao processo de osmose reversa, para outras correntes é necessária a utilização de

um pré tratamento, a fim de viabilizar a redução de contaminantes altamente tóxicos, como por exemplo o cromo hexavalente.

O processo de osmose reversa mostrou-se eficiente para o tratamento de efluentes com contaminantes inorgânicos, obtendo-se uma recuperação de água de 90%, concentrando os contaminantes presentes em um volume equivalente a 10% do volume alimentado ao sistema.

A eficiência do processo de osmose reversa, para a redução dos contaminantes químicos e radioativos, foi superior a 95% para a maioria dos elementos analisados, obtendo-se uma concentração final dos contaminantes tanto radioativos quanto químicos no permeado da unidade de osmose reversa, dentro dos padrões estabelecidos para a qualidade de água de um rio classe 2^{4/}.

Embora não tenham sido realizados ensaios com o processo de evaporação, pode-se afirmar, com base em dados de literatura^{16, 25 e 26/}, que este processo é muito eficiente para o tratamento de efluentes com contaminantes dissolvidos, podendo-se obter um resíduo praticamente seco, e um destilado de boa qualidade.

O resíduo gerado no processo de evaporação/cristalização, deverá ser submetido a um processo de tratamento, visando a recuperação de algum elemento de interesse, ou então, imobilizado com a utilização de alguma técnica já desenvolvida ^{13, 14, 16/}, a fim de minimizar a possibilidade de danos ao meio ambiente, quando da sua disposição final.

Através de uma comparação econômica, verifica-se que o processo combinado de tratamento de efluentes é mais atrativo que o processo que utiliza apenas o processo de evaporação, resultando em um custo para implantação do sistema combinado equivalente a 17,42% do custo para implantação e 12,63% do custo operacional diário, do sistema de tratamento só por evaporação.

Além dos benefícios obtidos com relação a minimização de efluentes liberados ao meio ambiente, a reutilização da água obtida através do Sistema Integrado de Tratamento de Efluentes Químicos e Radioativos proposto para o CEA, trará como benefícios, a minimização da geração de efluentes e custos operacionais, uma vez que a água obtida neste sistema apresenta melhores características que a água utilizada em processos industriais no CEA.

Como um exemplo pode-se citar o sistema de produção de água desmineralizada para a INAP, que está previsto para ser alimentado com água industrial, com uma condutividade elétrica em torno de 130 $\mu\text{mhos/cm}$ (medida proporcional a concentração de SDT), devendo este sistema ser submetido a um processo de regeneração diariamente ¹³⁰, com a utilização da água produzida no Sistema Integrado de Tratamento de Efluentes Químicos e Radioativos, com uma condutividade elétrica em torno de 23,0 $\mu\text{mhos/cm}$, o intervalo entre regenerações passaria de diário, para cinco dias, reduzindo o consumo de produtos químicos para regeneração dos leitos, bem como minimizando o volume de efluente gerado pelo sistema de produção de água desmineralizada por troca iônica.

Um sistema de tratamento piloto, que deverá ser constituído pelo processo de precipitação química, osmose reversa e evaporação foi desenvolvido e está sendo implantado no CEA, para o tratamento dos efluentes a serem gerados no LABMAT, onde será possível, obterem-se mais dados com relação ao tratamento de outros efluentes, que não foram abordados neste trabalho, bem como para os efluentes aqui estudados, alterando-se os parâmetros e condições do sistema de tratamento.

Com base nos resultados obtidos neste trabalho, pode-se afirmar que o conceito de Descarga Zero proposto neste trabalho é viável, podendo ser utilizado não apenas por instalações ligadas área nuclear como no caso do Centro Experimental ARAMAR, mas em qualquer outra instalação industrial, preocupada com a integração entre desenvolvimento tecnológico e preservação ambiental, visando principalmente a qualidade de vida e bem estar das presentes e futuras gerações.

Como sugestão de um trabalho futuro, poderá ser feita a avaliação do desempenho do equipamento de evaporação proposto e dimensionado para o tratamento do concentrado da unidade de osmose reversa, que após a conclusão do projeto mecânico, deverá ser instalado no Sistema Piloto de Tratamento de Efluentes do LABMAT.

BIBLIOGRAFIA

- 1 - MULTISERVICE ENGENHARIA S/A. *Centro Experimental ARAMAR - EIA - Relatório de estudos de impacto ambiental.* Rio de Janeiro, 1994 (Relatório Preliminar)
- 2 - COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. *Legislação estadual: controle da poluição ambiental.* São Paulo, 1992 (Série documentos).
- 3 - GOMES, C. *Sistema de abastecimento de água de ARAMAR - Plano Diretor - Memorial Descritivo.* São Paulo: COPESP, 1989.
- 4 - COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. *Legislação federal: controle da poluição ambiental.* São Paulo, 1992 (Série documentos).
- 5 - BRASIL. *Constituição. Constituição da República Federativa do Brasil: promulgada em 05 de outubro de 1988.* 6. ed. São Paulo: Saraiva, 1992.
- 6 - MACHADO, P. A. L. *Direito ambiental brasileiro.* 4. ed. São Paulo: Malheiros, 1992.
- 7 - FARIA, N. G. M. DE. *Aspectos jurídicos e institucionais dos rejeitos radioativos.* Rio de Janeiro: 1986 Tese (Doutoramento) Universidade Federal do Rio de Janeiro.

- 8 - COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR. *Diretrizes Básicas de Radioproteção*. 01 de Agosto de 1988 (CNEN-NE-3.01).
- 9 - COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR. *Gerência de Resíduos Radioativos em Instalações Radiativas*. 17 de Dezembro de 1985 (CNEN-NE-6.05).
- 10 - COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR. *Licenciamento de Instalações Nucleares*. 14 de Dezembro de 1984 (CNEN-NE-1.04).
- 11 - SÃO PAULO (Estado). *Constituição. Constituição do Estado de São Paulo: promulgada em 05 de outubro de 1989*. São Paulo: IMESP, 1989.
- 12 - SÃO PAULO (Estado). *Leis, decretos, etc. Legislação Básica Sobre Recursos Hídricos*. Conselho Estadual de Recursos Hídricos - CRH: São Paulo, 1992.
- 13 TANG, Y.S.; SALING, J. H. *Radioactive waste management*. New York: Hemisphere, 1990.
- 14 - MARTIN, E. J.; JOHNSON, JR, J. H. *Hazardous waste management engineering*. New York: Van Nostrand, 1987.
- 15 - KIANG, YEN-HSIUNG; METRY, A. A. *Hazardous waste processing technology*. Ann Arbor: Ann Arbor Science, 1982.

- 16 - IDAHO NATIONAL ENGINEERING LABORATORY. *Mixed and Low-Level Waste Treatment Facility Project. V. 3: Waste treatment technologies.* Idaho Falls, Idaho, Apr. 1992. (EGG-WMO-10244).
- 17 - SANKS, R. L. *Water treatment plant design for the practicing engineer.* Ann Arbor: Ann Arbor Science, 19
- 18 - AZEVEDO NETO, J. M. de, coord. *Técnica de abastecimento e tratamento de água - V. 2: Tratamento de água.* 3. Ed. São Paulo: CETESB/ASCETESB, 1987.
- 19 - ASHLEY N. V.; POPE N. R.; ROACH D. J. W. *Feasibility study of the application of biotechnology to nuclear waste treatment.* London: Department of the Environment, 1987. (DOE/RW/88008).
- 20 - WILDE, E. W.; BENEMANN, J. R. . *Heavy metal removal and recovery using microorganisms.* Aiker: Westinghouse Savannah River Co., Feb. 1992. (WSRC-TR--90-175.Vol.1).
- 21 - DEL CUL, G. D.; OSBORNE, P. E.; BECK, D. E. *Evaluation of alternatives for best available technology treatment and retreatment of uranium-contaminated wastewater at the Paducah Gaseous Diffusion Plant C-400 Facility.* Oak Ridge: Oak Ridge K-25 Site, Jan. 1991. (K/QT--394-Pt.1 - DE91 009877).
- 22 - BUCKLEY, L. P.; VIJAYAN, S.; MCCONEGHY, G. J.; MAVES, S. R.; MARTIN, J. F. *Removal of soluble toxic metals from water.* Ontário: Chalk River Nuclear Lab. May 1990. (AECL-10174).

- 23 - EMPRESAS DOW - *A Tecnologia de membranas de osmose reversa*. São Paulo.
- 24 - PLOCK, C. E.; TRAVIS, T. N. *Purification and decontamination of a caustic water by reverse osmosis*. Golden, Colorado: Rocky Flats Plant, 1981. (RFP-3103).
- 25 - INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. *Design and operation of evaporators for radioactive wastes*. Vienna, 1968. (Technical Report Series, 87).
- 26 - MATSUARA, H.; TOMURA, H.; TOMITA, T.; MINAMI, Y. *Drying Process for Simulated BWR Concentrated Wastes in Wiped Film Evaporator*. In: JOINT INTERNATIONAL WASTE MANAGEMENT CONFERENCE, Oct. 21-23, 1991, Proceedings. Seoul, Korea: Korean Nuclear Society, 1991.
- 27 - MIERZWA, J. C. *Compilação e levantamento de dados do lab. provisório de materiais nucleares*. São Paulo: COPESP, 1990. (Doc. RI53-0022-0004-423 - Relatório interno).
- 28 - MIERZWA, J.C. *Tratamento de efluentes do RENAP-11*. São Paulo: COPESP, 1991. (Doc. RI53-0017-0001-423 - Relatório interno).
- 29 - PERRY & CHILTON. *Manual de engenharia química*. 5. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Dois, 1980.
- 30 - SANDRA BELLO, M. G.; MIERZWA, J. C. *Memorial de cálculo do sistema de tratamento de efluentes da INAP*. São Paulo: COPESP, 1994. (Doc. RP11-03-5341-KS-03 - Documento interno).

- 31 - PETERS, R. W.; KU, YOUNG. *Batch precipitation studies for heavy metal removal by sulfide precipitation.* AIChE Symp. Ser., **243** (81) : 9-27, 1985.
- 32 - SORG, T. J. *Removal of uranium from drinking water by conventional treatment methods.* Cincinnati, OH: U.S. Environmental Protection Agency, Jan. 1989 (PB89-218259).
- 33 - AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. *Standard Methods for the Examination of Water and Waste Water.* 17. Ed. Baltimore, Maryland, 1989.
- 34 - BASSET, J.; DENNEY, R. C.; JEFFERY, G. H.; MENDHAM, J. *VOGEL Análise Inorgânica Quantitativa.* 4. Ed. Rio de Janeiro: Guanabara Dois, 1981.
- 35 - INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. *Advances in technologies for the treatment of low and intermediate level radioactive liquid wastes.* Vienna, 1994. (Technical Report Series, 370).
- 36 - BANCO MUNDIAL. *Relatório sobre o desenvolvimento mundial: 1985.* Washington, D.C.: Banco Mundial, 1985.
- 37 - THE WORLD BANK. *Annual Report: 1992.* Washington, D.C.: The World Bank, 1992.
- 38 - PROQUIP S/A PROJETO E ENGENHARIA INDUSTRIAL. *Proposta técnica e comercial: Decanter centrífugo Peralisi - Major 2/FP 600 RB/M e Baby 2.* São Paulo: Jan. 1996.