

TRATAMENTO DO EFLUENTE DA LAVANDERIA QUENTE DA INAP, ATRAVÉS DOS PROCESSOS DE PRECIPITAÇÃO QUÍMICA E OSMOSE REVERSA

Mierzwa, José Carlos* Riella, Humberto Gracher

* Centro Tecnológico da Marinha em São Paulo
Av. Prof. Linco Prestes, 2242 - Cidade Universitária - São Paulo - Brasil
CEP 05508-900

** Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares - IPEN-CNEN/SP
Travessa R nº 400 - Cidade Universitária - São Paulo - Brasil
CEP 5508-900

RESUMO

Entre os diversos tipos de efluentes e rejeitos a serem gerados na Instalação Nuclear de Água Pressurizada (INAP), em desenvolvimento pelo Centro Tecnológico da Marinha em São Paulo (CTMSP), existe um efluente específico, proveniente da Lavanderia Quente desta Instalação. Neste trabalho, a partir de uma solução sintética, preparada com base em dados disponíveis em literatura e nos documentos de concepção da Lavanderia Quente da INAP, estudou-se o tratamento deste efluente utilizando-se o processo de precipitação química com óxido de cálcio e o processo de osmose reversa. Os resultados obtidos durante a realização dos ensaios de tratamento mostraram que os processos utilizados são eficientes para o tratamento do efluente a ser gerado na Lavanderia Quente da INAP. Obtém-se assim, uma corrente purificada que representa 90% do volume alimentado ao sistema de tratamento, com qualidade superior a da água utilizada em processos industriais, possibilitando desta forma a reutilização desta corrente na própria INAP, minimizando-se possíveis impactos negativos ao meio ambiente.

INTRODUÇÃO

Entre os diversos efluentes e rejeitos a serem gerados na Instalação Nuclear de Água Pressurizada (INAP), em desenvolvimento pelo Centro Tecnológico da Marinha em São Paulo (CTMSP), existe um efluente específico, proveniente da Lavanderia Quente desta Instalação.

Além deste efluente apresentar traços de materiais radioativos, o mesmo contém uma quantidade significativa de surfatantes (detergente), dificultando o seu tratamento pelas técnicas normalmente utilizadas nos sistemas de tratamento de efluentes radioativos de instalações nucleares e conseqüentemente sua liberação para o meio ambiente.

A partir de dados de literatura e nos documentos de concepção da Lavanderia Quente da INAP, foi preparada uma solução sintética, com a qual foi avaliada a eficiência dos processos de precipitação química e osmose reversa, para o tratamento desta corrente.

Nos itens que se seguem são apresentados os procedimentos adotados durante a realização dos ensaios de laboratório, bem como os resultados nos mesmos, com os quais poderá ser verificado que o tratamento do efluente da Lavanderia Quente da INAP, proposto neste trabalho, é eficiente.

ENSAIOS DE LABORATÓRIO

Preparação do Efluente Sintético. O efluente sintético utilizado nos ensaios de laboratório foi preparado com base em uma estimativa da característica para o efluente radioativo da Lavanderia da INAP⁽¹⁾. Foram preparados 50 litros de efluente, utilizando-se água deionizada, tensoativo a base de Alquil Benzeno Sulfonato de Sódio Comercial (Detergente) e reagentes químicos de grau analítico, em função da dificuldade de obtenção de traçadores radioativos.

O efluente preparado foi submetido a uma caracterização química, obtendo-se os resultados apresentados na Tabela 1.

TABELA 1. Caracterização do Efluente Radioativo da Lavanderia Quente da INAP

Contaminante	Concentração (mg/L)
Fósforo	N/A
Cromo	12,73
Manganês	13,20
Ferro	14,43
Prata	1,48

TABELA 1. Continuação

Contaminante	Concentração (mg/L)
Céριο	5,96
Molibdênio	13,13
Iodo	N/A
SDT	971
Surfactantes	1500
DQO	541,3
pH	9,80

N/A - Não analisado

SDT - Sólidos Dissolvidos Totais

DQO - Demanda Química de Oxigênio

Ensaio de Precipitação Química. Os ensaios de precipitação química foram realizados utilizando-se o floculador automático apresentado na Figura 1, com o objetivo de se obter os parâmetros ótimos para este processo.

Este ensaio tem por objetivo, remover as substâncias químicas precipitáveis principalmente os íons metálicos e surfatantes. 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.^[2 e 3]

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.

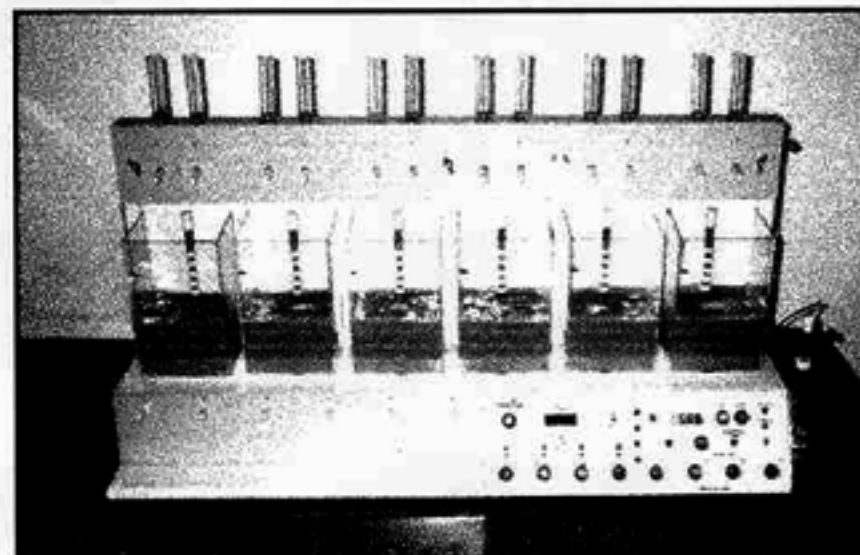


Figura 1. Aparelho de "Jar-Test" Utilizado nos Ensaio de Precipitação Química.

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

Dosagem Ótima do Agente de Precipitação (CaO). Para a obtenção da dosagem ótima do agente de precipitação e respectiva faixa ótima do pH de precipitação, foi utilizado o aparelho apresentado na Figura 1, 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.

Foram realizadas duas séries de ensaios, obtendo-se os dados apresentados na Tabela 2. A avaliação da eficiência do processo de precipitação foi feita com base na redução da DQO do efluente, uma vez que este parâmetro está diretamente relacionado com a quantidade de detergente presente no efluente, obtendo-se os resultados apresentados na Tabela 3.

TABELA 2. Resultados dos Ensaio 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 Ensaio						
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 Ensaio						
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

TABELA 3. 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 Ensaio	Segunda Série de Ensaio
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

Pela análise dos dados obtidos, verifica-se que nas dosagens 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.

Determinação do Tempo Ótimo de Mistura entre o Efluente e o Agente de Precipitação. Para a determinação do tempo ótimo de mistura entre o agente de precipitação química e o efluente, utilizou-se uma dosagem do agente de precipitação de 1500 mg/L, e variou-se o tempo de mistura de 10 a 100 minutos, sendo os resultados obtidos apresentados na Tabela 4.

TABELA 4. 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

Pelos resultados apresentados acima, verifica-se que 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 no intervalo de tempo estudado, indicando que as reações químicas envolvidas no processo de precipitação ocorrem em um intervalo de tempo inferior a 10 minutos.

Desta forma, adotou-se para o processo de precipitação do efluente radioativo da INAP, um tempo de mistura entre o efluente e o agente de precipitação, igual a 20 minutos.

Dosagem Ótima do Auxiliar de Coagulação/Floculação.

Os ensaios relativos à 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 5.

TABELA 5. Resultados dos Ensaios 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

Pelos resultados obtidos, 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.

Para as dosagens do auxiliar de coagulação/floculação a partir de 2,0 mg/L, houve uma separação mais eficiente do precipitado formado, o que indica que a dosagem do auxiliar de coagulação/floculação a ser utilizada deve ser próxima deste valor ou seja, 2,0 mg/L.

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 a obtenção de qualquer melhora no Processo de Tratamento.

Ensaio Completo de Precipitação Química. 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.

Este ensaio de precipitação foi realizado utilizando-se os parâmetros apresentados na Tabela 6.

TABELA 6. Parâmetros de Processo para o Tratamento do Efluente Radioativo da INAP por Precipitação Química

Dosagem de CaO	1500 mg/L
Tempo de Mistura	20 minutos
Velocidade de Mistura	180 rpm
Dosagem do Auxiliar de Coagulação/Floculação	2,0 mg/L
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 2, 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 7, são apresentados os resultados obtidos após o teste de precipitação química.



FIGURA 2. Centrífuga Utilizada para Separação dos Sólidos Formados Durante a Etapa de Precipitação Química

TABELA 7. 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 e do surfatante deste efluente, apresentando uma redução próxima 90 %.

Ensaio com a Unidade de Osmose Reversa. Após a realização do tratamento do efluente, utilizando-se o processo de precipitação química, a corrente clarificada foi submetida ao processo de tratamento por Osmose Reversa, que consiste na purificação de uma corrente, através de membranas semipermeáveis, onde são obtidas duas

correntes, ou seja, o permeado (corrente purificada) e o concentrado (corrente rejeitada)^[4 e 5].

Todos os ensaios de tratamento foram realizados no equipamento apresentado na Figura 3

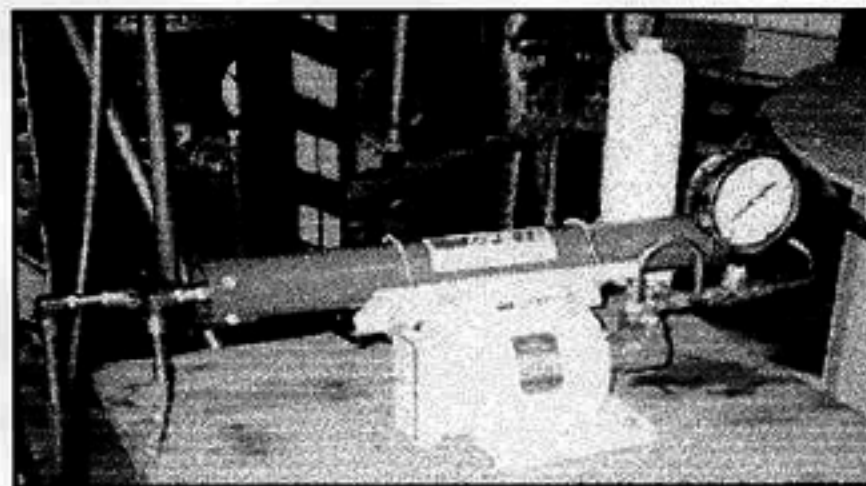


FIGURA 3. Unidade de Osmose Reversa Utilizada para O Tratamento dos Efluentes

Antes de ser iniciado o tratamento, foi feita a lavagem da membrana de Osmose Reversa, com água deionizada.

Para o tratamento do efluente, 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, sendo a unidade operada a uma pressão de 15 bar, processando um volume de 20 litros.

Na Figura 4 é apresentado um diagrama esquemático do arranjo utilizado para a realização dos ensaios de tratamento dos efluentes através da unidade de osmose reversa.

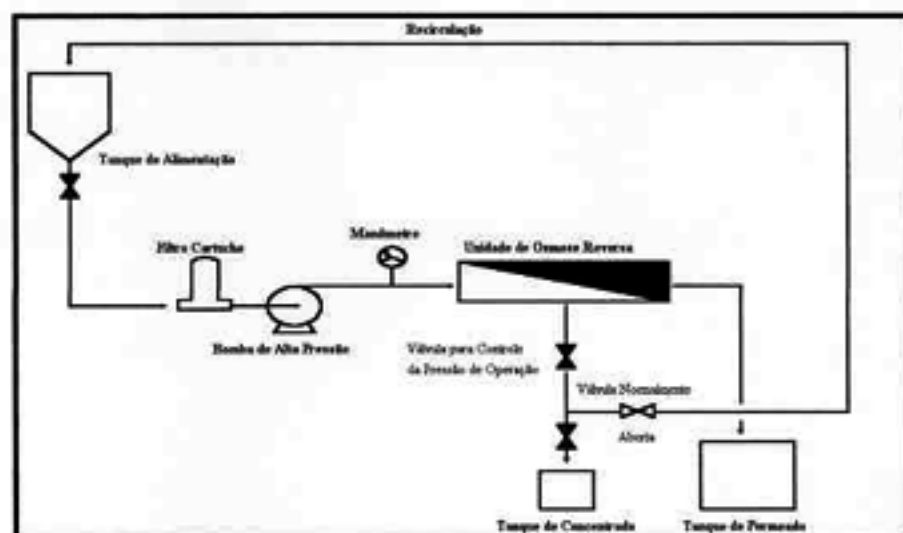


FIGURA 4. Representação Esquemática do Arranjo Utilizado para a Realização dos Ensaio de Tratamento por Osmose Reversa

A medida da vazão do permeado foi realizada utilizando-se uma proveta de um litro e um cronômetro, para marcar o tempo gasto para que a proveta fosse preenchida.

Foram realizadas três medidas da vazão, sendo uma no início do processo e as outras compreendendo os intervalos de 30% a 40% e 70% a 80% de recuperação de água, obtendo-se desta forma, um valor médio para a vazão de permeado igual a 11,92 L/h.

Durante o processo de tratamento, foram retiradas amostras do permeado no intervalo de 20%, 40%, 60% e

80%, para análise de condutividade elétrica e DQO das mesmas. Para o permeado final (recuperação de 90%), foi

feita uma caracterização completa. Os resultados obtidos são apresentados nas Tabelas 8, 9 e 10.

TABELA 8. 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	67,70	98,52 %	0	100,0

TABELA 9. 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
Iodo	N/A	---x---
DQO	0,0	100,0
Condutividade	67,7 $\mu\text{mho/cm}$	98,52
pH	~ 6,0	---x---

TABELA 10. 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

Na Tabela 11 é apresentada uma comparação entre as características do efluente radioativo da Lavanderia da INAP após tratamento e os padrões estabelecidos para um rio de Classe 2^[6]. A comparação com os padrões de um rio Classe 2 é em função do local onde se prevê a implantação da INAP e da existência neste local de um rio

com esta classificação, de onde será captada água para esta instalação ou para o qual será liberado o efluente da mesma.

TABELA 11. 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 da INAP	Padrão da Legislação de um Rio Classe 2
Nitrato	---x---	10,0 (em N)
Sulfato	---x---	250 (em SO_4)
Cloreto	---x---	250 (em Cl)
Sódio	---x---	---x---
Cálcio	7,86	---x---
Cromo (+3)	---x---	0,5
Cromo (+6)	< 0,05	0,05
Fluoreto	---x---	1,4
Amônio	---x---	1,0 (em N)
Manganês	< 0,07	0,5
Ferro	< 0,05	5,0 (Solúvel)
Prata	0,003	0,05
Cério	< 0,05	---x---
Molibdênio	0,18	---x---
Magnésio	---x---	---x---
Urânio	---x---	0,02 (Total)
Condutividade	67,7 $\mu\text{mhos/cm}$	500 (SDT) (250 $\mu\text{mhos/cm}$)
pH	~ 6,0	6,0 a 9,0
Volume (m^3/dia)	22,5	---x---

Como ilustração, 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 Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (SABESP), obtendo-se os valores apresentados na Tabela 12.

TABELA 12. 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	67,7

CONCLUSÃO

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

Tal expectativa, baseia-se no fato do iodo pertencer à mesma família na classificação periódica que o cloro, para o qual consegue-se obter uma redução de aproximadamente 99%^[4].

No caso do fósforo é esperada uma boa eficiência de redução, uma vez que este elemento estará presente no efluente, na forma do íon fostato, que na presença de íons cálcio dá origem ao fosfato de cálcio, que é um composto insolúvel^[7], sendo removido principalmente na etapa de precipitação química.

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 na própria INAP, 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.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] MIERZWA, J.C. **Tratamento de efluentes do RENAP-11**. São Paulo: COPESP, 1991 (Doc. RI53-0017-0001-423 - Relatório interno).

[2] KIANG, YEN-HSIUNG; METRY, A. A. **Hazardous waste processing technology**. Ann Arbor: Ann Arbor Science, 1982.

[3] PETERS, R.W.; KU, YOUNG. **Batch precipitation studies for heavy metal removal by sulfide precipitation**. AIChE Symp. Ser., 243 (81): 9-27, 1985.

[4] EMPRESAS DOW - **A Tecnologia de membranas de osmose reversa**. São Paulo.

[5] PLOCK, C.E.; TRAVIS, T.N. **Purification and decontamination of a caustic water by reverse osmosis**. Golden, Colorado: Rocky Flats Plant, 1981. (RFP-3103).

[6] COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. **Legislação federal: controle da poluição ambiental**. São Paulo, 1992 (Série documentos).

[7] Perry & Chilton. **Manual de engenharia química**. 5. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Dois, 1980.

ABSTRACT

Among the many types of radioactive effluents which will be generated at the Instalação Nuclear de Água Pressurizada (INAP), that is in development by the Centro Tecnológico da Marinha em São Paulo (CTMSP), there is a specific one, arising from the laundry of this facility.

Besides the presence of traces of radioactive materials in this effluent, it is present in its composition a significant quantity of detergent, difficulting its treatment by the techniques usually employed in the effluents treatment systems of nuclear facilities and consequently its release to the environment.

In this work, a synthetic solution was prepared based on data available in literature and project documentation of the laundry of INAP. It was studied the treatment of this effluent by chemical precipitation with calcium oxide and reverse osmosis treatment.

The results got during the treatment assays showed that the used processes are efficient to treat the effluent that will be generated at the laundry of INAP, obtaining a purified stream, that represents 90% of the effluent fed at the treatment system, with a higher quality than the water used for industrial processes, becoming its reutilization in the INAP feasible, minimizing any negative impact to the environment.