

# **Estudo do concreto armado em uma indústria de fertilizantes em situado em zona marinha.**

**Vilmar S. Felske<sup>1</sup>, José L. Guarenti<sup>2</sup>, Nádia D. Rodrigues<sup>3</sup> & André T. C. Guimarães<sup>4</sup>**

*<sup>1</sup>Especialista em Engenharia de Avaliações e Perícias – Rio Grande, RS – deltarg@brturbo.com.br.*

*<sup>2</sup>Engenheiro Civil – Rio Grande, RS – guarenti@terra.com.br.*

*<sup>3</sup>Estudante de Engenharia Química – FURG – Rio Grande, RS.*

*<sup>4</sup>Departamento de Materiais e Construção – FURG – Rio Grande, RS – atcg@mikrus.com.br.*

## **RESUMO:**

O trabalho consiste do estudo dos ataques sofridos pela estrutura de concreto armado, com aproximadamente 20 anos de idade, de uma indústria de fertilizantes, situada em zona marinha. Além de situar-se em ambiente marinho – influência da névoa marinha – a estrutura sofre ataques por carbonatação, cloretos e sulfatos, produtos estes que fazem parte do processo e ou são expelidos por suas chaminés. Foram efetuados análises visuais e ensaios químicos e ainda, também uma análise em relação a NBR 6118 [2]. Com os levantamentos e a análises realizadas conclui-se que o concreto a ser utilizado no ambiente pesquisado deve ter um melhor desempenho, tanto para obras novas e/ou de recuperação que venham a ser executadas, já que este ambiente é muito agressivo.

**PALAVRAS-CHAVE:** Indústria, fertilizantes, ataques, agentes e deterioração.

## **1. INTRODUÇÃO:**

O objetivo é analisar a estrutura de concreto armado de uma indústria de fertilizantes, que além do ambiente marítimo, sofre ataque por cloretos e sulfatos, produtos estes que fazem parte do processo e ou são expelidos pelas chaminés dessa indústria. Assim pretende-se definir os tipos e o grau de intensidade de ataque, que a estrutura de concreto armado sofre, já que os ataques por carbonatação, sulfatos e cloretos, causam respectivamente a diminuição do pH, abrem fissuras e levam a deterioração do concreto e a corrosão da armadura, diminuindo assim sua vida útil.

CARMONA FILHO [10], realizou estudos nesse sentido, porém, em um armazém localizado junto ao cais do porto de Santos o qual servia apenas de depósito de produtos de fertilizantes.

## 2. ESTUDO DE CASO:

### 2.1. Localização:

A indústria de fertilizantes localiza-se na BR-392 (Avenida Maximiano da Fonseca), lado oeste do canal, no distrito industrial da cidade do Rio Grande/RS, conforme Fig. 1.

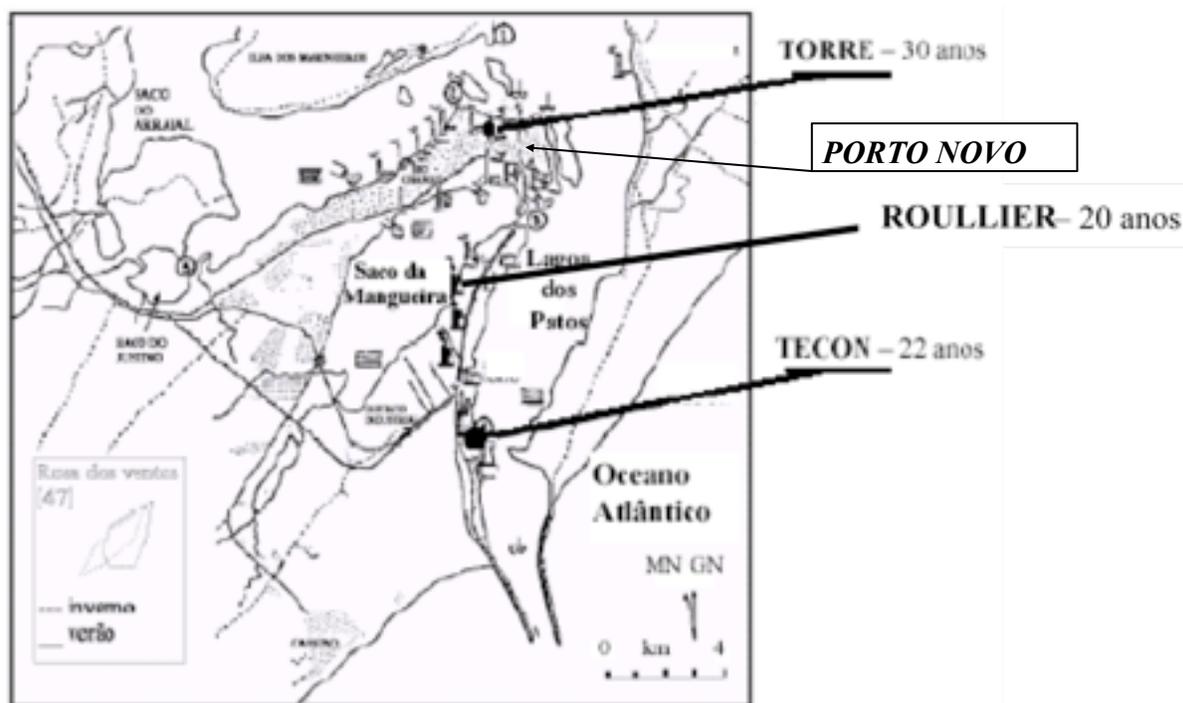


FIGURA 1 - Distrito Industrial - Barra/Rio Grande-RS

### 2.2. Tipo de Ambiente:

#### 2.2.1. Macro Ambiente

A região onde está localizada a indústria, conforme Fig. 1, caracteriza-se por ser névoa marinha e possuir várias indústrias de fertilizantes e de óleos vegetais, no seu entorno, as quais manipulam os mais diversos elementos químicos e que liberam parte deles para atmosfera, os quais acabam agredindo as estruturas de concreto armado.

A cidade do Rio Grande é um dos três maiores pólos de fertilizantes da América Latina, que, segundo o Sindicato das Indústrias de Adubos do estado - SIARGS (1991) apud

BAUMGARTEN et al. [5], produz anualmente 900.000 T de fertilizantes dos tipos superfosfatos simples e triplos, mono e diamônio fosfatos e complexos (NPK).

### *Atmosfera*

A atmosfera da região caracteriza-se por ser marítima e industrial. Verifica-se que os ventos predominantes, tanto no inverno como no verão, tendem a levar parte da poluição gerada no ar da região no sentido da indústria pesquisada, devendo incidir sobre essa uma parcela de elementos industriais agressivos, além da própria poluição causada por essa indústria (Fig.1).

Segundo LORA et al. (1978) apud BAPTISTA [4], as fábricas de fertilizantes normalmente lançam para atmosfera fumaça contendo  $\text{NH}_4\text{Cl}$ ,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$  e gases tais como  $\text{SO}_2$ ,  $\text{SO}_3$ ,  $\text{HF}$ ,  $\text{SiF}_4$ ,  $\text{HCl}$  e  $\text{NH}_3$ . Ainda, há as indústrias que usam como energia o carvão que, ao ser queimado, lança no ar fumaça com fuligem.

A atmosfera marítima da região caracteriza-se por uma umidade relativa do ar elevada, com média anual acima de 80%. Quando baixa de 80% é por um período normalmente curto [11].

As variações de temperatura durante o dia, assim como as temperaturas mínimas e máximas observadas na região, conforme dados dos relatórios da FURG/Estação Meteorológica, para no período 1993 - 1994, foram respectivamente de  $-0,5^\circ\text{C}$  e  $38,1^\circ\text{C}$ , sendo comum observar-se variações diárias entre 10 e  $15^\circ\text{C}$ , e até  $16,2^\circ\text{C}$  [11].

A média da salinidade da água do canal do Rio Grande próximo ao cais do TECON é de 9.71‰ e no canal do Porto Novo é de 7.16 ‰. Portanto, conclui-se que a média anual de salinidade do canal de acesso ao Porto do Rio Grande, próximo a indústria estudada, deve situar-se entre estas duas médias. A variação anual da salinidade no canal de acesso é de zero ‰ a 34 ‰, sendo esse último a salinidade da água do Oceano Atlântico. Esta salinidade é responsável pela névoa marinha [11].

Na região não há problemas de congelamento, pois temperaturas abaixo de zero são notadas esporadicamente e em um curto espaço de tempo (horas). O regime de chuvas é caracterizado por períodos de chuvas intensas (inverno e primavera) e períodos de pouca chuva (verão e outono) [11].

#### 2.2.2. Micro Ambiente da Indústria pesquisada:

O ambiente da própria indústria pode ser considerado como agressivo ao concreto armado, pelos produtos que são manipulados e ou expelidos pelas chaminés, tais como:

- Uréia;
- Rocha fosfática;
- Oxido de magnésio;
- Cloreto de potássio (KCl);
- Sulfato de amônia;
- Amônia anidra ( $\text{NH}_3$ );

- Acido fosfórico ( $H_3PO_4$ );
- Acido sulfúrico ( $H_2SO_4$ );
- Gás carbônico ( $CO_2$ ).

Sendo assim, os principais agentes encontrados nesse ambiente industrial, que normalmente são causa de ataque ao concreto armado, são o gás carbônico, os íons sulfato, os íons cloreto, as chuvas ácidas e a fuligem expelida pelas chaminés (Fig. 2).



FIGURA 2 – Vista Área da Indústria de Fertilizantes

Segundo KIND apud BICZÓK [6], quando o concreto executado com cimento Portland comum fica exposto a soluções que contêm sulfatos,  $MgCl_2$  e pequenas quantidades de  $CaCl_2$ , aumenta sua resistência ao ataque dos sulfatos, pois há uma diminuição de  $Ca(OH)_2$ . Assim como, estando o concreto em contato com uma solução contendo sulfato,  $CaCl_2$  e uma pequena quantidade de  $MgCl_2$ , também aumenta sua resistência ao ataque dos sulfatos, porque há uma formação pequena de sulfoaluminato de cálcio devido à transformação de aluminatos hidratados em cloroaluminatos.

BURY e DOMONE [7] pesquisando estruturas marítimas concluíram que o ataque por cloretos em ambiente marítimo é mais freqüente na armadura.

O cloreto de potássio ( $KCl$ ) atua de forma semelhante ao cloreto de sódio [6], ou seja ataca com mais intensidade o aço.

Os íons cloretos atacam o aço do concreto armado, atacando a capa passivante de forma pontual, corrosão essa conhecida como pite. Essa corrosão pode progredir e provocar a ruptura pontual da barra de aço [3].

Segundo ANDRADE [3] os sulfatos ao penetrarem através do concreto de cobrimento podem provocar em primeiro lugar uma certa expansão ao formarem os trissulfoaluminatos de cálcio. A fissuração superficial do concreto acarreta um aumento da permeabilidade e uma menor proteção da armadura que poderá corroer-se não só por uma despassivação do tipo produzida por cloretos, mas pelo efeito sinérgico de deterioração simultânea produzida no concreto de cobrimento.

KHAN e AL-TAYYIB [13], analisando concreto armado em meios agressivos sulfatados, chegaram a resultados de que o concreto sofre imensa deterioração e sua armadura sofre intensa corrosão.

Segundo RÜSCH [15], para haver a corrosão deve existir um eletrólito, uma diferença de potencial, oxigênio e podem ter presença de agentes agressivos do tipo íons cloreto.

Podemos concluir que a expansão causada pelo sulfato provoca fissuração do concreto, aumentando sua permeabilidade e facilitando a penetração de agentes agressivos como os cloretos e sulfatos.

### 2.2.3. Caracterização dos Elementos Estudados:

Os elementos estruturais utilizados nesta pesquisa foram:

#### *Elemento 1*

Pilar de concreto armado, face para o Saco da Mangueira, lado oeste, que compõem a estrutura de sustentação da esteira transportadora de matéria prima (Fig. 1/2).

A distância desse elemento estrutural até o canal de acesso é de 700 metros, e do saco da mangueira é de 450 metros (Fig.3).

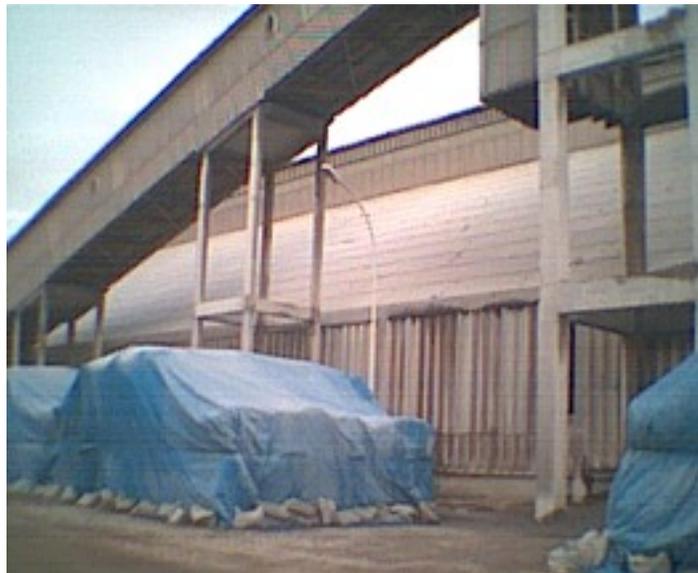


FIGURA 3 – Pilar da Esteira

### *Elemento 2*

Pilar do canto, face para o canal, lado leste, de concreto armado da unidade NPK (Fig. 1/2).

A distância desse elemento estrutural até o canal de acesso é de 650 metros, e a distância ao saco da mangueira é de 500 metros (Fig.4).



FIGURA 4 – Pilar de Canto do NPK

### *Elemento 3*

Parede de concreto armado, face sul, do prédio da CIPA e vestiários (Fig. 1/2).

A distância desse elemento estrutural até o canal de acesso é de 600 metros, e ao saco da mangueira é de 550 metros (Fig.5).



FIGURA 5 –Parede de Concreto Armado - CIPA

#### *Elemento 4*

Parede e Pilar de concreto armado, face para o canal, lado leste, do prédio da Administração (Fig. 1/2).

A distância desse elemento estrutural até o canal de acesso é de 580 metros, e ao saco da mangueira é de 570 metros (Fig.6).



FIGURA 6 - Parede de Concreto Armado - Administração

### **2.3. Caracterização do concreto:**

Os concretos, conforme dados de projeto e inspeção visual, foram executados para resistência esperada de 20 MPa e cobrimento 3.5cm a 4.0cm, utilizando-se como agregado

gráudo seixos rolados, com grande variação de diâmetro. Os Elementos 1 e 2 foram moldados no local, com cobrimento da armadura variando de 1,5cm a 3,0cm, e os Elementos 3 e 4 são pré-moldados com cobrimento da armadura variando de 0,5cm a 2,5cm, conforme observado na inspeção visual dessa estrutura (Fig.7).



FIGURA 7 – Concreto – Armadura – Seixo Rolado

## 2.4. Ensaio realizados:

### 2.4.1. Inspeção visual:

#### *Elemento 1*

Verificou-se que esta estrutura de concreto armado, de sustentação da esteira transportadora de matéria prima, apresenta em vários de seus elementos, alto grau de deterioração, destacamentos e expansão do concreto, e ainda corrosão na armadura com perda de seção, provavelmente, comprometendo a estabilidade da estrutura (Fig 8/9).



FIGURA. 8 - Deterioração do Concreto e Corrosão da Armadura



FIGURA 9 – Destacamento do Concreto

### *Elemento 2*

Pilar de concreto armado, de canto, da unidade NPK, apresenta deterioração, expansão e destacamento do concreto, e ainda corrosão da armadura (Fig.10).



FIGURA 10 - Deterioração do Concreto e Corrosão da Armadura

### *Elemento 3*

Nesta estrutura, de concreto armado, percebeu-se fissuras superficiais em forma de rede, caracterizando ataque por sulfato, destacamento e expansão do concreto, e armaduras, com pouco cobrimento, em adiantado estado de corrosão (Fig.11).



FIGURA 11 – Expansão do Concreto por Sulfato

### *Elemento 4*

Nesta estrutura de concreto armado, perceberam-se fissuras superficiais em forma de rede, destacamento do concreto, armaduras em adiantado estado de corrosão, principalmente, as ferragens com pouco cobrimento (Fig.12).



FIGURA 12 – Pouco Recobrimento e Concreto Fissurado

#### 2.4.2. ENSAIOS QUÍMICOS:

##### *Solução de fenolftaleína e timolftaleína*

Em um meio de pH inferior a 8,3 a solução de fenolftaleína é incolor e para um pH superior a 10,0 a solução apresenta-se na cor vermelho carmin (Fig.13).

A solução de timolftaleína, em um meio de pH inferior a 9,3 apresenta-se incolor, e para um pH superior a 10,5 , a solução apresenta-se na cor azul (Fig.13).

Nos testes realizados no local, em cada Elemento, com timolftaleína e fenolftaleína foi encontrado um pH baixo (carbonatação), para profundidades médias apresentadas a seguir:

TABELA 1 – Profundidades Médias

Elementos	Fenol	Timol
1	9,0mm	15,0mm
2	8,0mm	9,0mm
3	9,0mm	12,0mm

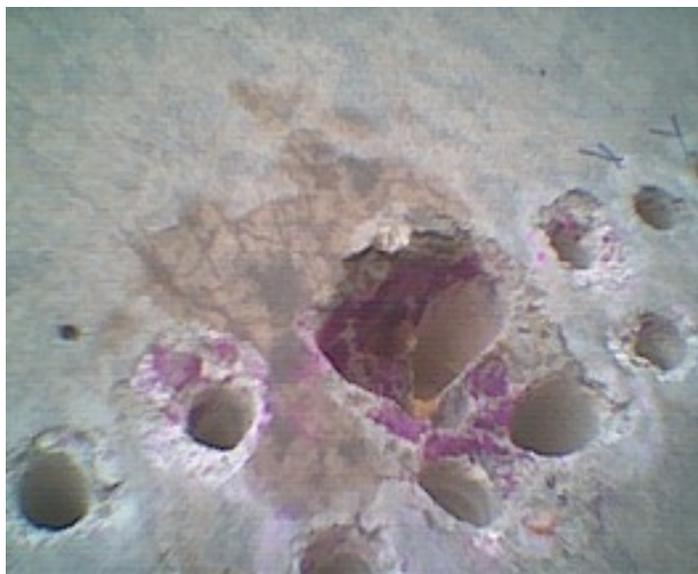


FIGURA 13 – Profundidade de Carbonatação

### *Teor de cloretos*

Estes Ensaios foram realizados de acordo com a ASTM C – 1152-90 [1], ensaios executados no Laboratório de Química dos Materiais – DCM/FURG.

Perfil do ELEMENTO – 1( Pilar da Esteira):

Obteve-se o perfil de teor de cloretos com material extraído com auxílio de uma furadeira, tendo sido efetuados 10 furos até uma profundidade de 20mm, sendo cada amostra composta de material coletado a cada 10mm, portanto, o perfil, abaixo mostrado caracteriza-se por 2(dois) pontos médios.

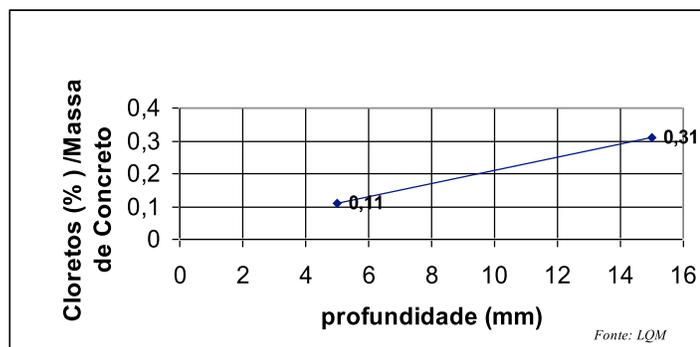


FIGURA 14 – Perfil da Esteira - Concentração Média de Cloreto

Verifica-se que o ataque por cloretos é muito intenso até a profundidade de 16mm.

### Perfil do ELEMENTO – 2 - Pilar da unidade NPK:

Para esta estrutura obteve-se o perfil de teor de cloretos com material extraído a cada 5mm de profundidade, tendo sido efetuado 20 furos até uma profundidade de 40mm, sendo descartados dois furos, por ter sido encontrada armadura, a profundidades de 30mm e 35mm respectivamente (Fig.15), portanto, o perfil da Fig. 16, mostrado à seguir caracteriza-se por 6 (seis) pontos médios. Obteve-se um pico 0.2% de cloreto na profundidade entre 10 à 15mm (Fig.16).



FIGURA15 – Retirada da Amostra

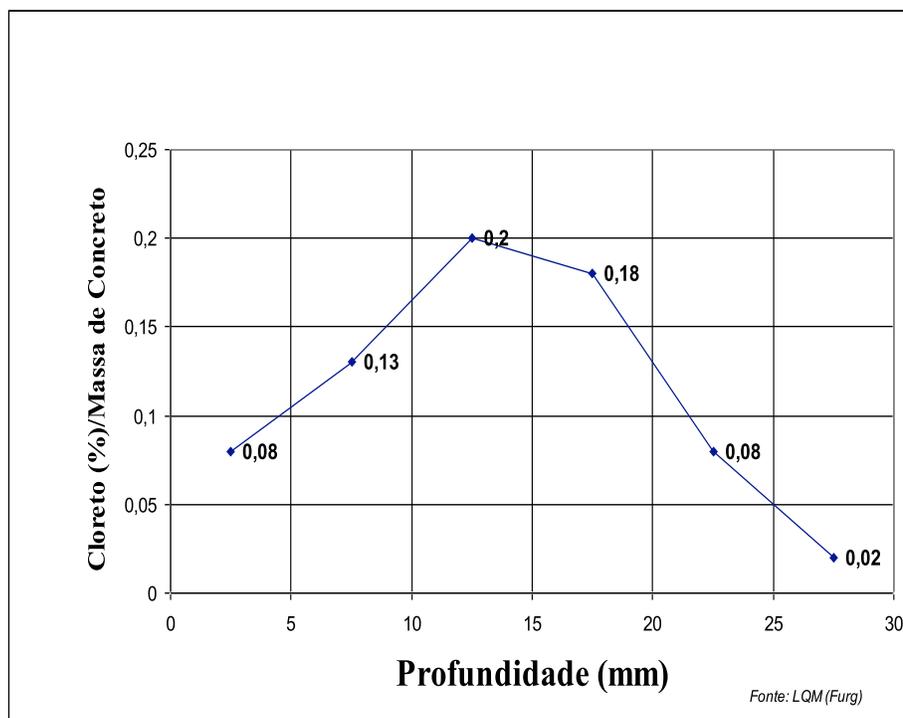
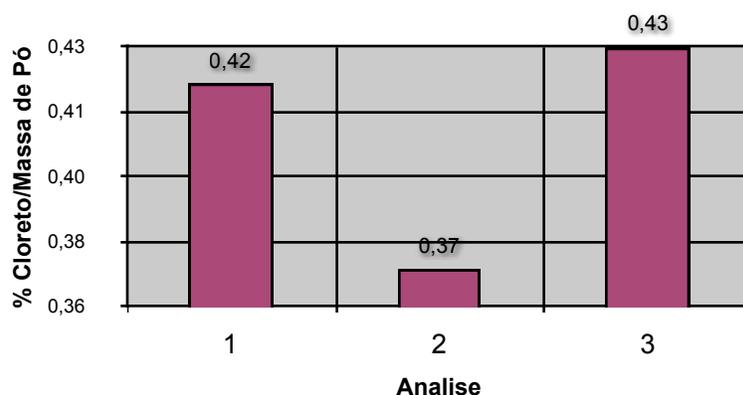


FIGURA 16 – Perfil RNPK - Frente de Ataque por Cloreto

Verifica-se que em 20 anos de vida, desse elemento estrutural, a frente de ataque por cloretos encontra-se entre 20 e 25 mm de profundidade, considerando um teor de cloretos em relação a massa de concreto, capaz de despassivar o aço, entre 0,05 % e 0,10% de .

#### Análise de Cloretos dos Resíduos – Calhas:

Foi coletado pó proveniente das chaminés da indústria, no interior das calhas dos telhados. Na análise desse pó obteve-se em três amostras, as concentrações mostrada na Fig.17, resultando em um valor médio de 0,41% de cloretos, indicando uma alta concentração desse elemento, nos resíduos que são lançados no ar pelas chaminés.



fonte: LQM (Furg)

FIGURA 17 – Análise de cloretos das calhas

## 2.5. ANÁLISE DOS RESULTADOS

Verificou-se, pela análise visual, o forte ataque por sulfatos que sofre, em vários pontos, as estruturas pesquisadas (Fig. 11/12).

CASTRO et al. [8] realizaram ensaios em corpos de prova de 7,5 cm de diâmetro e 15 cm de comprimento, expostos em zonas de névoa a 50 m, 100 m e 780 m, de distância da água do mar, por 24 meses, observando uma grande diminuição da intensidade de penetração de cloretos de 50 m para 780 m.

COSTA [9] realizou ensaios com corpos de prova de argamassa de 50 mm de diâmetro e 100mm de comprimento, expostos de 72 m a 4705 m em relação à água do mar, por cinco meses, observando que a intensidade de penetração de cloretos diminuiu muito de 72 m até 532 m. Salienta-se que esses corpos de prova estavam expostos sob uma cobertura, diminuindo drasticamente o efeito de secagem e molhagem.

Portanto, as pesquisas de CASTRO et al. [8] e COSTA [9] relacionando a intensidade de ataque à distância horizontal da água do mar em estrutura de concreto, mostram que a intensidade de ataque da névoa marinha é baixa a partir de 500 m.

O estudo feito por GUIMARÃES, et al.[12], em estruturas de concreto armado em ambientes marítimos, sendo uma no TECON – junto ao mar e, a outra a Torre de Telecomunicações da Praça Tamandaré – lado com menor distância do canal, 450 m, concluiu que as intensidades do ataque por cloretos são muito diferentes entre os ambientes, sendo muito menor o ataque quanto maior a distância do mar.

Portanto podemos concluir que os ataques sofridos na estrutura de concreto armado dessa indústria, provavelmente sejam mais influenciado por agentes agressivos processados e ou expelidos pela própria indústria do que pela névoa marinha.

O ensaio de Carbonatação, na realidade indica a faixa (profundidade) com baixo pH, que pode ser tanto por ataque de CO<sub>2</sub>, como de sulfatos, ácidos ou pela fuligem expelida.

O cobrimento da armadura é variável para as mesmas peças, sendo que em muitos pontos são menores do que consta no projeto.

A corrosão é mais visível onde a armadura tem pouco cobrimento, com exceção do, pilar da esteira, ELEMENTO – 1, onde o ataque por cloretos é muito intenso.

## **2.6. ANÁLISE DA NBR 6118/2003**

Conforme as Tabelas da NBR 6118 [2] são indicadas abaixo as características para concreto localizado no ambiente pesquisado.

Tabela 6.1- Classes de agressividade ambiental: a indústria está enquadrada na classe IV; agressividade muito forte, classificação indústria; risco de deterioração elevado.

Tabela 7.1 – Correspondência entre classe de agressividade e qualidade do concreto: relação água/cimento em massa  $\leq 0.45$  e classe de concreto NBR 8953  $\geq C 40$

Tabela 7.2 – Correspondência entre classe de agressividade ambiental e cobrimento nominal para  $\Delta c = 10\text{mm}$ : para classe de agressividade ambiental IV, temos cobrimento nominal de 45 mm para laje e 50 mm para viga e pilar.

Por tanto, em ambientes do tipo pesquisado, em função da nova NBR 6118 [2], atualmente, o concreto a ser utilizado deveria ser de melhor desempenho, para isto seria necessário uma menor relação água/cimento e o cobrimento nominal da armadura ser maior.

## **3. CONCLUSÃO**

Onde há pouco cobrimento, ocorre ataque tanto por sulfatos como por cloretos, e a corrosão da armadura é intensa.

Na estrutura da esteira (Elemento 1), onde o ataque por cloretos é maior, há uma deterioração maior do concreto armado e alto grau de corrosão da armadura. Por este local, passa a matéria prima que faz parte do processo de produção, inclusive o KCl(Cloreto de Potássio), tendo sido observado o acúmulo de produto, na estrutura de concreto armado, que caem da esteira.

A alta umidade e os ventos predominantes no local e na região favorecem à penetração dos agentes agressivos nas estruturas de concreto armado.

Faz-se necessário a curto e médio prazo, a recuperação e/ou reforço da estrutura de concreto armado da esteira, Elemento 1 analisado.

Os estudos realizados demonstram que qualquer obra nova a ser realizada nessa indústria deve ser executada, de preferência com pré-moldadas fabricados em outro local, para evitar-se a contaminação, pelos agentes agressivos existentes na planta industrial e no seu entorno.

O ataque sofrido pelas estruturas de concreto armado é causado muito mais pelos produtos manipulados e ou processados pela indústria, do que pela névoa marinha, proveniente do canal.

CARMONA FILHO [10], em um estudo realizado junto ao um armazém de depósito de fertilizantes do Porto de Santos, obteve resultados muito próximos dos aqui apresentados, em estruturas que tinham contado direto com os produtos fertilizantes, no que se refere aos ataques por cloretos e sulfatos.

Esta pesquisa terá continuidade, para que se possa analisar um maior número de elementos, e também a realização dos perfis de sulfatos, para melhor estabelecer os mecanismos de ataques que estão sujeita, as estruturas de concreto armado, em uma indústria de fertilizantes que situa-se em ambiente marítimo.

#### 4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. AMERICAN SOCIETY FOR TESTING OF MATERIALS. Standart test method for acid-soluble chloride in mortar and concrete - ASTM C 1152-90. In: Annual Book of ASTM Standard. Philadelphia, 1990.
2. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Projeto de Estruturas de Concreto - NBR 6118. 2003.
3. ANDRADE, M. C., *Manual para diagnóstico de obras deterioradas por corrosão de armaduras*. Trad. e Adap. de Antônio Carmona e Paulo Helene. São Paulo, Pini, 1992.
4. BAPTISTA, J. R. *Flutuações diárias e horárias dos elementos dissolvidos, material em suspensão e características da água na parte sul do estuário da Lagoa dos Patos e Praia do Cassino (RS\_Brasil)*. Rio Grande, 1984. Tese (Mestrado), Fundação Universidade do Rio Grande, Oceanografia Biológica.
5. BAUMGARTEN, M. G. Z.; NIENCHESKI, L. F. H.; KUROSHIMA, K. N. *Qualidade das águas estuarinas que margeiam o Município do Rio Grande (RS): nutrientes e detergentes dissolvidos*. Revista Atlântica, v.17, p.19-36, Rio Grande, FURG, 1995.
6. BICZÓK, I. *Corrosion y proteccion del hormigon*. Trad. Emilio J. Dócon Asensi. Bilbao, Ediciones Urmo, 1972.

7. BURY, M.R.C.; DOMONE, P.L. The role of research in the design of concrete offshore structures. In: ANNUAL OFFSHORE TECHNOLOGY. New Jersey, Institute of Electronics Engineers. V.1, p. 155-68
8. CASTRO, P.; DE RINCÓN, O. T.; PAZINI, E. Chloride penetration profiles in Marine environments. In: II International Conference on High-Performance Concrete, and Performance and Quality of Concrete Structures, Gramado, ACI SP-186, p. 371-389, 1999.
9. COSTA, E. A. L. *Determinação do potencial de agressão dos sais marinhos sobre as argamassas de revestimento na região metropolitana de Salvador*. Porto Alegre, 2001. Tese (Mestrado), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Engenharia Civil.
10. CARMONA FILHO, A. *Corrosão de armaduras em estruturas de concreto contaminados por cloreto de potássio e sulfato de amônia*. São Paulo, 1996. Tese (Mestrado), Universidade Mackenzie, Engenharia de materiais.
11. GUIMARÃES, A. T. C. *Vida útil de estruturas de concreto armado em ambientes marítimos*. São Paulo, 2000. Tese (Doutorado), Universidade de São Paulo, Engenharia Civil.
12. GUIMARÃES, A. T. C.; CASTAGNO JR., R.; HELENE, P. R. L. Intensidade de ataque de cloretos: considerações sobre a distância do concreto em relação à água do mar. Teoria e Prática na Engenharia Civil (<http://www.revistatpec.hpg.ig.com.br>), n.3, p. 73-79, Junho, 2003.
13. KHAN, M. S.; AL-TAYYIB, A. H. J. Long-Term Corrosion Resistance of Reinforcing Steel in Sulfur Concrete. ACI Materials Journal. V. 87, n o 1, Janeiro/Fevereiro 1990. Pg. 20-24.
14. NEVILLE, A. M. \_\_\_\_\_. *Propriedades do concreto*. Trad. Salvador E. Giammusso. São Paulo, Pini, 1982.
15. RÜSCH, H. *Hormigón armado y hormigón pretensado: propiedades de los materiales y procedimientos de calculo*. Trad. Departamento Técnico C.E.C.S.A., barcelona, Compañia Editorial Continental. 1975.